

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7079

EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DE LOS FLUJOS DE DETRITOS DEL 26/02/2020 OCURRIDO EN LAS LOCALIDADES DE SAMEGUA Y MOQUEGUA

Región Moquegua
Provincia Mariscal Nieto
Distritos Moquegua - Samegua



**EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DE LOS FLUJOS DE DETRITOS DEL
 26/02/2020 OCURRIDO EN LAS LOCALIDADES DE SAMEGUA Y MOQUEGUA**

**(Distritos de Samegua y Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, departamento de
 Moquegua)**

CONTENIDO

	RESUMEN	2
1.	INTRODUCCIÓN	3
	1.1 Objetivos	3
	1.2 Antecedentes y trabajos anteriores	3
2.	ASPECTOS GENERALES	6
	2.1 Ubicación y accesibilidad	6
	2.2 Clima e hidrografía	7
	2.3 Población	11
3.	GEOLOGÍA	12
	3.1 Unidades litoestratigráficas	12
4.	GEOMORFOLOGÍA	18
	4.1 Pendientes	18
	4.2 Unidades Geomorfológicas	20
	4.2.1 Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional	20
	4.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional	22
5.	PELIGROS GEOLÓGICOS - CONCEPTOS GENERALES	31
	5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa	31
	5.1.1 Caídas	31
	5.1.2 Deslizamiento	33
	5.1.3 Flujos	34
	5.1.4 Reptación	37
	5.1.5 Movimiento complejo	38
	5.2 Otros peligros geológicos	38
	5.2.1 Erosión de laderas	38
	5.2.2 Erosión fluvial	39
	5.3 Peligros geohidrológico	40
	5.3.1 Inundación fluvial	40
6.	MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE MOQUEGUA Y SAMEGUA	41
7.	EROSIÓN DE LADERAS EN MOQUEGUA Y SAMEGUA	56
8.	EROSIÓN E INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL VALLE DEL RÍO TUMILACA	56
9.	FACTORES CONDICIONANTES DE LA INESTABILIDAD DE LAS LADERAS Y DESENCADENANTES	101
10.	EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD	103
	10.1 Susceptibilidad a los movimientos en masa	103
	10.1.1 Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa	104
	10.2 Susceptibilidad a la inundación y erosión fluvial	105
	10.2.1 Grados de susceptibilidad a la inundación y erosión fluvial	106
11.	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA	110
	CONCLUSIONES	119
	RECOMENDACIONES	120
	BIBLIOGRAFÍA	121

EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DE LOS FLUJOS DE DETRITOS DEL 26/02/2020 OCURRIDO EN LAS LOCALIDADES DE SAMEGUA Y MOQUEGUA

(Distritos de Samegua y Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua)

RESUMEN

El día 26 de febrero del 2020 a horas 17:00, se produjo entre las localidades de Samegua y Moquegua, del departamento de Moquegua una lluvia extraordinaria, que saturó los terrenos, concentró escorrentía pluvial, hasta generar flujos de detritos y agua, que causó daños en viviendas, vías e infraestructura diversa de la zona.

El presente informe técnico es resultado de la inspección de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos realizado en un área aproximada de 93,5 km², que comprende territorio de los distritos de Moquegua y Samegua de provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, que fueron afectados por los flujos de detritos ocurridos el 26 de febrero. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades litológicas que afloran en la zona evaluada corresponden en mayor proporción a rocas de origen volcano-sedimentario (Formación Moquegua superior), también se tienen rocas volcánicas (formaciones Huaylillas y Huaracane), rocas sedimentarias (Formación Sotillo); además se tiene grandes extensiones de depósitos superficiales de origen aluvio-proluvial, fluvial y deluvial. Los movimientos en masa identificados en la zona, están relacionados principalmente a la intensa erosión de suelos que afecta los conglomerados, areniscas y tobas de la Formación Moquegua superior, que se presentan poco consolidadas.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (colinas y lomadas en rocas volcánicas; colinas y lomadas disectadas en rocas volcano-sedimentarias y sedimentarias) y geoformas de carácter depositacional y agradacional, donde se tienen las unidades de piedemontes (de origen deluvial, aluvio-torrencial y vertiente con depósito de deslizamientos); planicies (altiplanicie volcano-sedimentaria, varios niveles de terraza aluviales, llanura inundable, cauce de río y quebradas estacionales) y geoformas antropogénicas (cauce de quebrada antropogenizada, cantera de áridos y relleno sanitario).

Los procesos identificados en la zona evaluada corresponde a los denominados movimientos en masa, entre los que se tienen principalmente flujos de detritos, algunos de estos activados con las precipitaciones pluviales del 26 de febrero; así también se presentan derrumbes y deslizamientos rotacionales activos; se identificó además dentro de la tipología de otros peligros geológicos una intensa erosión de laderas (surcos y cárcavas); finalmente se tienen procesos de inundación y erosión fluvial en los valles de los ríos Tumulaca y Moquegua.

Se elaboró un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa aplicando el método geomorfológico, donde se obtuvo cinco rangos con los siguientes porcentajes de área que ocupan: muy alta 23.27%, alta 46.29%, media 22.40%, baja 5.55%, muy baja 2.5%. Así también, se elaboró un mapa de susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial, donde se obtuvo los siguientes cuatro rangos: alta 2.55%, 17.5% media, 31.29% baja y 48.86% muy baja a nula.

Finalmente, en el presente informe se brindan recomendaciones que se consideran importantes, para que las autoridades las pongan en práctica, para reducir la vulnerabilidad de personas y sus bienes, y por tanto reducir el riesgo a los peligros geológicos identificados en las localidades de Samegua, Moquegua y alrededores. Estas recomendaciones se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias y los daños que pueden ocasionar los procesos identificados.

1. INTRODUCCIÓN

En el departamento de Moquegua el día 26 de febrero del 2020, a horas 5:00 pm se produjo una lluvia intensa focalizada, cuyos mayores volúmenes de agua cayeron en el límite de las cabeceras de las torrenteras de corto recorrido que drenan hacia la localidad de Samegua y la quebrada Panteón (también conocida como quebrada cementerio); esta precipitación produjo la generación de flujos de detritos y lodo, que causaron daños en varios sectores de los distritos de Samegua y Moquegua.

Es así que, ante la presencia de este escenario, el INGEMMET que es el 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 (ACT. 7), contribuyendo de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico por movimientos en masa en zonas que tengan elementos vulnerables, realizó un estudio de peligros por movimientos en masa en la zona afectada por el flujo de detritos ocurrido. Para ello la DGAR designó a los ingenieros Manuel Vílchez M., Griselda Luque P. y Briant García F. y las practicantes Sheyla Fonseca y Flor de María Zanini para que realicen la evaluación técnica respectiva.

Los trabajos de campo se realizaron entre los días 28 de febrero y 04 de marzo del 2020 (seis días). Se inició los trabajos realizando las coordinaciones respectivas con el Ing. Luis Conejo F., Mod. Evaluador del Centro de Operaciones de Emergencia Regional de Moquegua (COER) y el Ing. Melvin Rodríguez M., Gerente Regional de Recursos Naturales y Ambiente, del Gobierno Regional de Moquegua, con quienes se recabó información de las zonas donde se produjeron eventos, así como de zonas afectadas.

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

Este informe se pone en consideración de instituciones encargadas de realizar la gestión del riesgo de desastres (CENEPRED e INDECI), Gobierno Regional de Moquegua y gobiernos locales con injerencia en el ámbito de la municipalidad provincial de Moquegua, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1 Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos que ocurrieron en la ciudad de Moquegua el día 26 de febrero del 2020; así también, identificar las zonas afectadas y la magnitud de daños.
- Determinar si los eventos identificados en la zona evaluada pueden comprometer la seguridad física de las personas y sus bienes.
- Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos por movimientos en masa identificados.

1.2 Antecedentes y trabajos anteriores

Como antecedente reciente de ocurrencia de movimientos en masa y peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) en la ciudad de Moquegua tenemos lo sucedido el día 26 de febrero

del 2020, donde se produjo una lluvia intensa que provocó la activación de la quebrada Panteón (Cementerio) y de todas las torrenteras secas de corto recorrido que se ubican en la localidad de Samegua.

Es importante señalar que, a lo largo de su historia, la ciudad Moquegua ha sido afectada en varias oportunidades por fuertes lluvias extraordinarias y en algunas ocasiones por sismos, los que causaron serios daños materiales y en muchas ocasiones han cobrado vidas humanas. Toda esta información sobre acontecimientos desastrosos ocurridos en la región fue recopilada de los compendios estadísticos del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), en sus programas de planificación y atención de desastres en el Perú (1995-2013), donde se registra la ocurrencia de inundaciones fluviales, deslizamientos, derrumbes, huaicos, entre otros. También se tomó como referencia para la elaboración de este acápite la información bibliográfica de los informes técnicos realizados por el Ingemmet (1962-2014), de empresas públicas y privadas. En cuanto a la historia sobre acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, ha sido descrita con detalle por Silgado (1978); toda la información se consigna en forma resumida en tabla 1.

Tabla 1: Cronología de peligros que afectaron la zona evaluada.

Fecha	Evento y descripción
02, 03/03/1997	Se produjeron dos avenidas en el río Moquegua, ocurridas a principios de marzo, ocasionaron serios daños a la agricultura y a estructuras viales; el río Tumulaca en ese mes alcanzó los 11.03 m ³ /s diario; alcanzando los 130 m ³ /s. Destruyó el puente de la carretera Samegua-Tumulaca.
20/02/1999	Inundación afecta el distrito de Moquegua, en la provincia de Mariscal Nieto. Se registró 12 damnificados y 5 viviendas afectadas.
08/12/2000	Inundación en el distrito de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, debido a las intensas lluvias en el distrito de Moquegua resultaron dañadas alrededor de 55 viviendas y dejó 300 damnificados.
23/06/2001	Terremoto en el sur de país, siendo las 15:33 horas del 23 de junio, la región sur del país fue sacudida por un violento movimiento sísmico que causó daños en 4 departamentos: Arequipa Moquegua, Tacna y Ayacucho. Como consecuencia al sismo se produjo un tsunami en Camaná (Arequipa). El sismo tuvo 6,9 escala de Richter (Magnitud) e intensidad VII escala modificada de Mercalli en Arequipa, VI en Moquegua, V en Tacna y IV en Ayacucho. Su epicentro ubicado a 82 km al noroeste de Ocoña, con 33 km de profundidad. Se registró 219 420 personas damnificadas, 83 personas fallecidas, 2812 personas heridas, 37 576 viviendas afectadas y 22 052 viviendas destruidas.
26/08/2003	Sismo en Moquegua, con fecha 26 de agosto, a horas 16:11, en la ciudad de Moquegua se registró un movimiento sísmico, con 5,8 grados en la escala de Richter (magnitud) y de intensidad VI en la ciudad de Moquegua, localizado a 32 km al suroeste de Moquegua. Los daños reportados fueron 104 personas damnificadas, 67 personas afectadas, 11 personas heridas, 22 viviendas afectadas y 2 viviendas destruidas.
20/01/2006	Derrumbe en el distrito de Moquegua, se produjo un derrumbe que tuvo como consecuencia el colapso de una vivienda ubicada en el Jr. Moquegua N° 380 de la localidad de Moquegua, provincia Mariscal Nieto. Se registró 5 damnificados y una vivienda destruida.
02/2015	El río Moquegua alcanzó picos de caudal de 120 m ³ /s, el doble del valor normal (60 a 80 m ³ /s), produjo colapso de defensas riverieñas (enrocado de mampostería) y socavamiento de estribos de puentes El Rosal y La Villa.
02/2016	El río Moquegua alcanzó picos de caudal de 117 m ³ /s, esto causó afectación de puente, defensa riverieña de enrocados de mampostería, pérdida de terrenos de cultivo, afectó también el Malecón riverieño Moquegua.

08/02/2019	En el distrito de Moquegua y Samegua, provincia de Mariscal Nieto, debido a lluvia intensa se incrementó el caudal del río Moquegua, que afectó vías de comunicación, servicios básicos y viviendas (120 viviendas), una institución educativa, 30 hectáreas de terrenos de cultivo, siete puentes vehiculares.
23/02/2019	A causa de fuertes lluvias en los poblados de San Antonio y Chen se produjo filtración e inundaciones. Caída de muros y techos de una vivienda de adobe en el sector de Mariscal Nieto. El río Moquegua destruyó defensa riveriega a la altura del Puente La Villa, afectando el comercio en feria agraria “Chacra a la Olla”.

Fuente: Elaboración propia de la base de datos del Ingemmet, compendios estadísticos de INDECI 2006-2013, Ministerio de Agricultura y la Autoridad Nacional del Agua.

En referencia a los trabajos anteriores realizados por el Ingemmet en la zona evaluada, en temas de geología, geodinámica y prevención de desastres se tienen las siguientes publicaciones:

En el “Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 1” (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000), refieren los sectores críticos por peligros entre los paralelos 16° 00’ y 18° 00’ de latitud sur, se analizó a escala regional la problemática de los peligros geológicos y se señalaron 10 zonas críticas por este tipo de procesos para toda la región Moquegua.

El estudio de “Zonas críticas por peligros geológicos en la región Moquegua” (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2014), enfocado a la identificación de las zonas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por eventos geológicos de diversa índole, determinó 40 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos del departamento Moquegua, identificadas en el 2013 durante los trabajos de inspección e inventario de peligros geológicos en campo en la región Moquegua del proyecto GA45: Estudio de riesgo geológico por regiones: Arequipa y Moquegua. El informe determinó que el peligro predominante en estas zonas críticas son los flujos, seguido por las caídas-derrumbes y en menor proporción erosión de laderas; finalmente se debe mencionar que el resto de zonas críticas resultan de la combinación de más de dos peligros.

El Boletín N° 75 de la Serie C “Peligro geológico en la región Moquegua” (Luque & Rosado, 2020), evalúa los factores condicionantes y detonantes de la ocurrencia de peligros, entre ellos la geología, geomorfología, pendientes, hidrogeología y cobertura vegetal; elabora mapas de susceptibilidad a movimientos en masa y erosión e inundación fluvial; se realizó un inventario de peligros geológicos, de donde se identificaron 1007 eventos (según su origen se tienen por movimientos en masa (79.3 %), peligros geohidrológicos (4.5 %) y otros peligros geológicos (16.2 %), finalmente se identificaron 40 zonas críticas susceptibles a dichos procesos.

El Boletín N° 15 de la Serie A “Geología del cuadrángulo de Moquegua”, trabajo que abarca un área de 3000 km², describiendo la geología de parte de los departamentos de Moquegua y Tacna; así se tiene que las rocas más antiguas que afloran en el cuadrángulo son los volcánicos del Grupo Toquepala, que se divide en las siguientes formaciones: Quellaveco, Paralaque, Inogoya y Toquepala. Los volcánicos Toquepala sobreyacen con fuerte discordancia a la formación Moquegua cuyo espesor varía de 550 a 600 m, se le ha dividido en dos miembros: Moquegua inferior de composición arcillo-arenosa y Moquegua superior areno-conglomerádica. Continúa Formación Huaylillas, compuesta principalmente de tufos riolíticos que sobreyacen con discordancia al Grupo Toquepala y la Formación Moquegua. La Formación Capillune, compuesta de conglomerados con intercalaciones de areniscas-tufáceas, sobreyace con discordancia a las tobas Huaylillas. A la Formación Capillune se sobrepone el volcánico Barroso, compuesto principalmente de derrames andesíticos. También se encuentran acumulaciones morrénicas, depósitos aluviales del Cuaternario. Las rocas ígneas afloran en forma dispersa en la parte septentrional del cuadrángulo, a lo largo del flanco andino. Los cuerpos mayores son de composición diorítico-granodiorítico y al lado de ellos existen pequeños stocks de granitos,

monzonitas y dacitas. El rasgo estructural más importante en el sistema de fallas Incapuquio, de orientación NW-SE. Estas fallas en cierta forma han controlado el emplazamiento de los cuerpos monzoníticos y dacíticos, así como la formación de las chimeneas de brecha, con las cuales se asocian los yacimientos de cobre de Toquepala, Quellaveco y Cuajone.

El mapa geológico del cuadrángulo de Moquegua (Martínez & Zuloaga, 2017), realiza una revisión de la geología de zona a una escala de trabajo 1: 100 000.

Desde el punto de vista geodinámico, también se utilizó la base de datos sobre peligros de geodinámica externa preparada por la antigua Dirección de Geotecnia del Ingemmet (1997), que utilizó información de diversos estudios técnicos, tesis de universidades, información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, reportes periodísticos, etc.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona evaluada corresponde a un área aproximada de 92 km², ubicados dentro de los distritos de Samegua y Moquegua (ciudad de Moquegua), provincia de Mariscal Nieto, región de Moquegua (figura 1); las respectivas localidades se encuentran localizadas en coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S) tabla 2.

Tabla 2: Coordenadas centrales de ubicación de las localidades evaluadas.

Coordenadas centrales de zonas evaluadas			
Localidad	Norte	Este	Altitud
Moquegua	8897977	294259	1428
Samegua	8099322	297936	1585

El acceso a la zona de estudio, desde la ciudad de Lima, se puede realizar de las siguientes formas:

Vía aérea: Vuelo Lima-Arequipa, para después de esta última continuar por vía terrestre siguiendo la carretera Panamericana Sur (carretera S1), pasando por los sectores de La Repartición, La Joya, El Fiscal y Moquegua; haciendo un recorrido de 223 km, en un tiempo de viaje de 3 horas y 21 minutos.

Vía terrestre: Iniciando el recorrido en la ciudad de Lima, pasando por las localidades de Pisco, Ica, Nasca, Atico, Ocoña, Mollendo, Cocachacra, hasta llegar a Moquegua; siguiendo la carretera Panamericana Sur (carretera 1S); haciendo un recorrido de 1098 km, en un tiempo de viaje de 16 horas con 56 minutos.

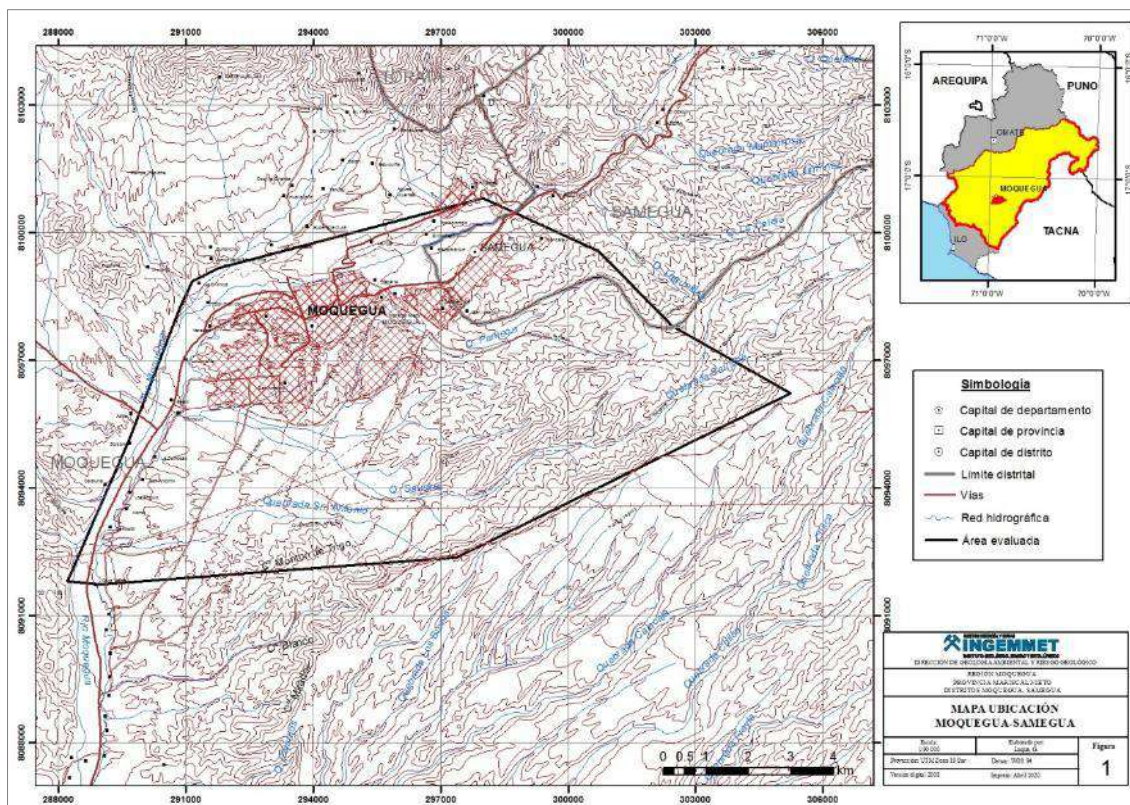


Figura 1: Mapa de ubicación del área evaluada.

2.2 Clima e hidrografía

De acuerdo con los datos climáticos (clasificación climática por el método de Thornthwaite), en la zona evaluada (localidades de Moquegua y Samegua) se tienen los siguientes tipos climáticos (figura 2):

E(d) B'1 H3: Zona de clima árido, con deficiencia de lluvia en todas las estaciones; semicálido, con humedad relativa calificada como húmedo. Este clima corresponde a las zonas comprendidas entre los 0 a 1000 m s.n.m., en las localidades de Moquegua y Samegua.

D(o,i,p)B'2H2: Clima del tipo semiárido, templado, seco en otoño, invierno y primavera. Este tipo de clima corresponde a las zonas comprendidas entre los 1000 m s.n.m. y 2500 m s.n.m., abarcando las partes altas de la quebrada Panteón y quebradas que cruzan la localidad de Samegua. Este clima se caracteriza por tener una temperatura máxima promedio mensual de 27°C en diciembre y de 25°C en julio, siendo el rango anual de 2°C, lo que nos indica una variación pequeña, tipificado como un clima confortable.

La característica principal de la precipitación en zonas áridas es la alta variabilidad de la poca cantidad de lluvia recibida, con alta tasa de variabilidad en el tiempo y el espacio tanto en tormentas, así como de totales anuales y valores cíclicos; el régimen pluvial en la zona es la corta duración de la estación lluviosa, que se presenta solo en los meses de verano. La aridez extrema en la zona evaluada se debe mayormente a la presencia de la Corriente Oceánica Peruana o de Humboldt que circula de sur a norte paralela al litoral y está constituida por masas de agua fría que afloran desde niveles marinos más profundos. La corriente Peruana ejerce una acción refrigerante en el litoral costero, restringiendo la evaporación marina y ocasionando la deficiencia de lluvia. Otro factor climático importante es el centro de alta presión atmosférica denominado Anticiclón del Pacífico Sur (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 1998).

Según SENAMNHI los valores de precipitación en la zona evaluada para un periodo lluvioso normal (setiembre-mayo), está entre 5 y 10 mm; durante periodos donde se presenta el fenómeno El Niño (1997), se pueden acumular valores de precipitación de hasta 200 mm.

La luminosidad en la zona es alta según los registros del observatorio de Moquegua, tiene una media anual de 3212 horas de sol que equivale a un promedio diario de sol de 9 horas. La sequedad, la luminosidad y la baja nubosidad determinan una alta tasa de evaporación con un valor medio de 8 mm diarios (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 1998).

En cuanto a las características fluviales, se puede decir que el caudal de los ríos de la costa en el departamento de Moquegua, descarga en los años de sequía extrema entre el 28 y 55% del caudal promedio. En los años húmedos, el caudal aumenta considerablemente y la mayor parte del agua se vierte al mar. Durante los periodos muy húmedos, como el ocurrido el verano de 1997, se presentan avenidas extremas de corta duración, cuyas riadas colmatan y destruyen estructuras de riego, inundan y dañan sembríos, erosionan tierras y ocasionan averías de consideración en estructuras viales (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 1998).

El sector evaluado (ciudad de Moquegua y Samegua), se ubica dentro de la cuenca del río Ilo-Moquegua, de régimen temporal. El río Moquegua tiene sus orígenes en los nevados Huailao, Arundaya y Chuquiananta, a una altitud de más de 5100 m s.n.m; los cursos se alimentan de la precipitación que cae en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes y en menor proporción provenientes de los deshielos de nevados. En las nacientes toma el nombre de río Asana y en su recorrido adopta los nombres de Coscori y Tumilaca, a la altura de la ciudad de Moquegua, toma el nombre de río Moquegua, luego adopta el nombre de Osmore en la localidad de Ilo hasta su desembocadura. Los principales afluentes del río Moquegua son Torata (410 km² de área), Huaracane (505 km²) y la quebrada Guaneros (935 km²) en la margen derecha y el río Tumilaca (625 km²) en la margen izquierda. El área total de la cuenca del río Moquegua es de 3480 km², con una longitud de 139 km, la pendiente promedio es de 3,6%; su régimen es irregular y de carácter torrencioso, con diferencias extremas entre sus descargas. La descarga anual de los ríos Tumilaca y Torata es de 1,56 m³/seg y 1,32 m³/seg, respectivamente; siendo entre los meses de enero y marzo los de mayor descarga, disminuyendo marcadamente entre julio y setiembre (ANA, 2016).

Las localidades de Moquegua y Samegua (zona evaluada), se ubican dentro de cuenca del río Tumilaca, que es el tributario principal del río Moquegua; este inicia su recorrido con el nombre de río Asana, con una dirección suroeste, para luego tomar dirección oeste hasta alcanzar el sector de Tumilaca; en este sector, el río discurre en una bastante profunda y de laderas empinadas. La corriente es torrenciosa y el volumen de agua normalmente es muy pequeño con relación a la profundidad del valle; en este recorrido recibe aportes por su margen derecha de las quebradas que provienen de los nevados Arundane y por la margen izquierda las aguas temporales del río Capillune, que tiene su origen en el flanco sur del volcán Chuquiamanta y después de un corto recorrido, con dirección sur, gira con dirección oeste-noreste, hasta alcanzar el río Asana (2016) (ANA, 2016). Se tiene un valor de caudal medio mensual del río Tumilaca de 11,03 m³/seg, obtenido con valores de dos avenidas ocurridas en la cuenca en el mes de marzo del año 1997.

La red hidrográfica comprendida dentro de la zona evaluada, corresponde a un tramo aproximado de 8.5 km de longitud del río Tumilaca, 6.8 km del río Moquegua, y las quebradas tributarias por la margen izquierda de este río principal, entre ellas se tiene a las quebradas Panteón, Sausine, San Antonio y las torrenteras de corto recorrido del sector de Samegua (figura 3), cuyas características se presentan en la tabla 3. Es importante señalar que, si bien se hizo trabajos de evaluación en toda el área de trabajo, estos se desarrollaron con mayor detalle en las quebrada Panteón (cruza por el lado este de la ciudad de Moquegua) y las torrenteras que bajan hacia el

sector de Samegua, las mismas que se activaron el día 26 de febrero, con la caída de flujos de detritos.

Tabla 3: Características de las quebradas comprendidas en la zona evaluada.

Nombre de quebrada	Diferencia de cotas (naciente y desembocadura) (m)	Longitud de cauce (m)	Pendiente de la quebrada (°)
Panteón (Cementerio)	800	2910	8
Sausine	2150	26141	4.7
San Antonio	750	8712	4.92
Sector de Samegua	400	2910	8

Fuente: Elaboración propia.

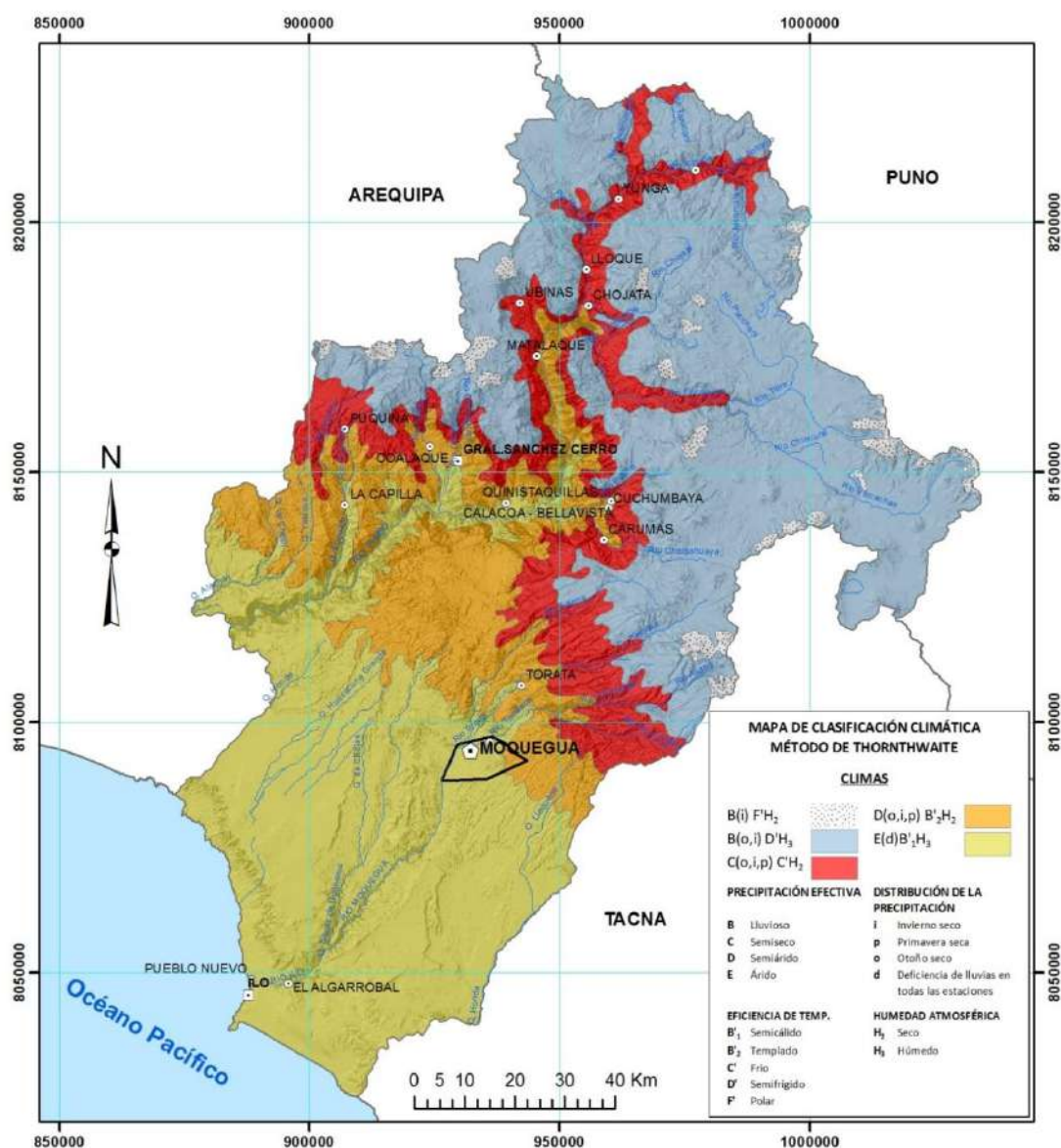


Figura 2. Mapa climático del área evaluada. Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010.

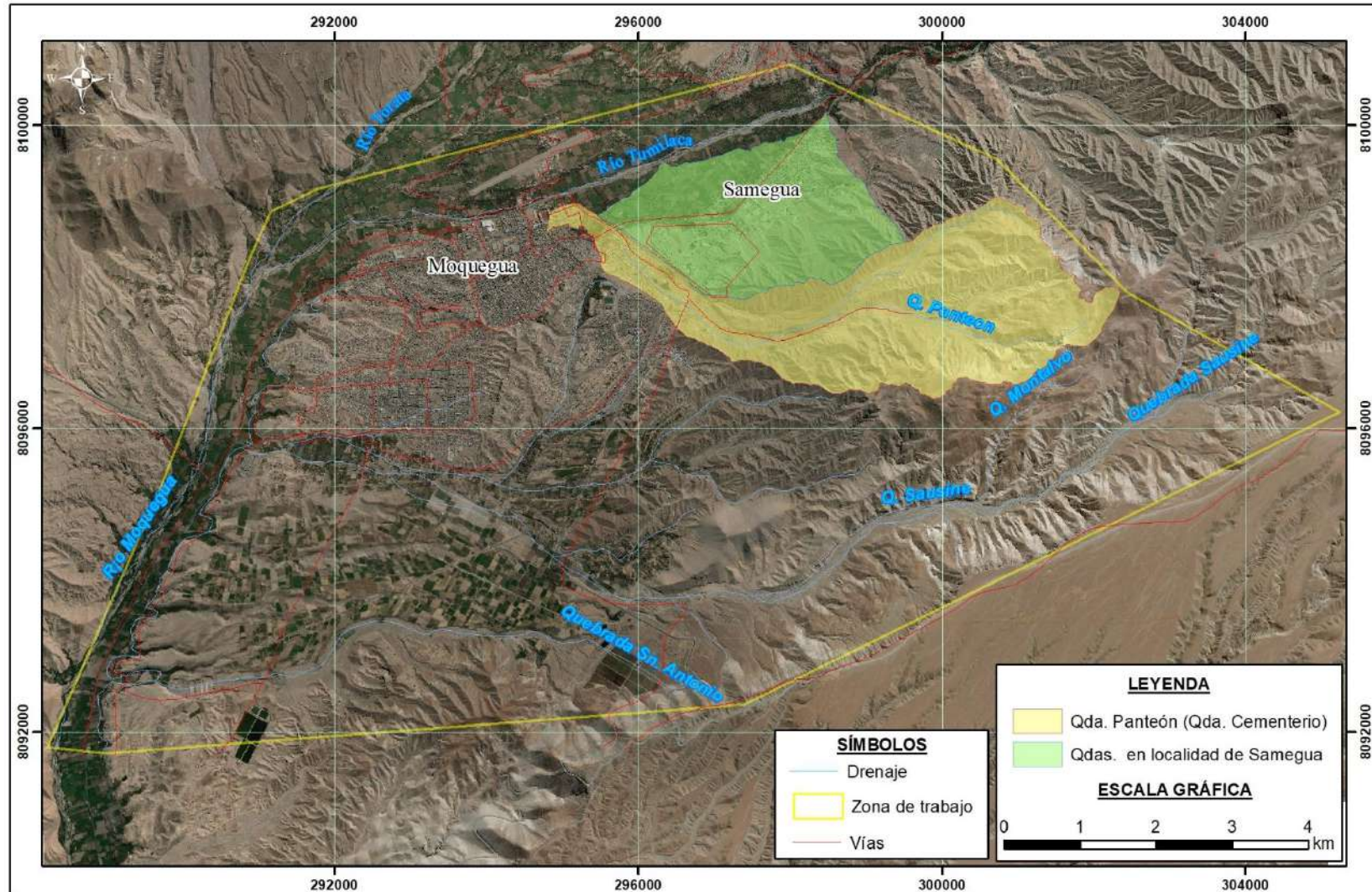


Figura 3: Microcuencas comprendidas dentro de la zona evaluada.

2.3 Población

La información del número de habitantes en la zona evaluada no se encuentra disponible a nivel de centros poblados y ciudades; por lo que, considerando que la zona de estudio comprende parte de la ciudad de Moquegua y gran parte del distrito de Samegua, presentaremos los datos de población y su distribución a nivel de distritos, para tener un estimado del número de habitantes en esta zona.

Según información del INEI (Censos nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas), se tienen un total de 68 273 habitantes en el distrito de Moquegua y 8 924 en el distrito de Samegua (tabla 4).

Tabla 4: Número de habitantes según sexo a nivel de distrito.

Distrito	Masculino	Femenino	Total
Moquegua	34 010	34 263	68 273
Samegua	4660	4264	8 924
Total			77 197

Fuente: INEI.

En cuanto al área donde vive la población, se tienen que en zonas urbanas de los dos distritos se tienen 74 665 habitantes, mientras que en zona rural solo se tienen 2 532 habitantes (tabla 5).

Tabla 5: Distribución de la población en los distritos de Moquegua y Samegua según su área de ubicación.

Distrito	Urbano	Rural	Total parcial
Moquegua	66 339	1 934	68 273
Samegua	8326	598	9 924
Total parcial	74 665	2 532	77 197

Fuente: INEI.

El número de viviendas en la ciudad de Moquegua y Samegua es de 28 227 y 4 128, respectivamente; de este número total, según su ubicación se tiene que 30 539 viviendas se encuentran zona urbana y solo 1816 viviendas se ubican en zona rural (tabla 6).

Tabla: Total de viviendas en los distritos de Moquegua y Samegua; y su distribución según su ubicación geográfica.

Distrito	Urbano	Rural	Total Parcial
Moquegua	26 930	1 297	28 227
Samegua	3 609	519	4 128
Total parcial	30 539	1 816	32 355

Fuente: INEI.

La superficie del distrito de Moquegua es de 3 949 km² y una densidad poblacional de 16.66 hab/km², mientras que el distrito de Samegua tiene una superficie menor, de tan solo 62.55 km² y una mayor densidad poblacional de 135.57 hab/km².

Esta información de población y vivienda, así como su ubicación geográfica es importante para entender los conceptos de elementos vulnerables y su exposición dentro de la zona evaluada; ya que, si bien es cierto, las cifras presentadas corresponden a niveles de distrito, al estar la ciudad de Moquegua dentro de la zona evaluada, así como gran parte del distrito de Samegua, es de esperar que un importante número de población y sus viviendas se encuentren dentro de la zona de trabajo.

3. GEOLOGÍA

3.1 Unidades litoestratigráficas

La estratigrafía del área comprende unidades que van desde el Jurásico inferior hasta el reciente (figura 4). En más del 50% del área evaluada las secuencias son volcanoclásticas siendo además las más extensas (formaciones Moquegua y Sotillo). Los rasgos más resaltantes corresponden a los sistemas de Fallas de Incapuquio, Micalaco y Quellaveco, cuyas cizallas transversales albergan a los pórfidos cupríferos de Cuajones, Quellaveco y Toquepala.

La Formación Moquegua ha sido redefinida y diferenciada como formaciones Sotillo (antes Moquegua inferior) y Moquegua (antes Moquegua superior). La Formación Millo ha remplazado a secuencias cuaternarias y el Grupo Barroso ha sido subdividido de acuerdo a sus rasgos litomorfo-estructurales. A continuación, se describen las unidades estratigráficas presentes en área evaluada:

Formación Guaneros Miembro superior (Js-gu_s)

Los niveles superiores lo conforman lavas coherentes, porfiríticas con cristales de plagioclasas aciculares encerradas en una pasta afanítica oscura del Jurásico superior. Los afloramientos tienen tonalidades oscuras, no presentan estratificación evidente, infrayace disconforme a tobas rosadas asignadas al Grupo Toquepala (Hoja de Clemesi). Afloran en las cercanías de la ciudad de Moquegua (Cerro Trapiche, Aeropuerto Alto de Villa y Chimba).

Formación Huaracane Ks-hu/cz+fk)

Conocida anteriormente como Formación Toquepala (Bellido y Landa, 1965), donde se le ha dividido en un conjunto de siete unidades volcanoclásticas, estudiadas a lo largo del curso inferior del río Torata.

En el área evaluada aflora al noreste de Samegua, en la margen izquierda del río Tumilaca. Constituida por tobas bien soldadas dando la impresión de lavas coherentes, textura porfirítica, cristales de cuarzo-feldespatos y color gris-rojizo del Triásico, conforman estructuras macizas y farallones prominentes (fotografía 1).



Fotografía 1: Afloramiento de lavas muy fracturadas y alteradas de la Formación Huaracane, en la prolongación de la calle La Portada de la Asociación de Vivienda Prolongación.

Formación Sotillo (P-so)

Areniscas y arcosas (Jenks, 1948), volcanoclásticas, grises con tonalidades rojizas del Eoceno-Oligoceno, se encuentra disconforme sobre rocas volcánicas Jurásicas e intrusivos Cretácicos, presentan estratificación paralela y subhorizontal predominando las lodolitas en los niveles superiores, así como capas de yeso, las que se incrementan en su tercio superior, la transición con la Formación Moquegua está señalada por un banco de 15 a 20 cm de yeso. Estas facies se ubican al SO de la ciudad de Moquegua, quebradas seca y Santallana. En el Flanco oeste del cerro Cruz del Siglo y cerro Montón de Trigo.

Formación Moquegua miembro superior (PN-mo_s)

Este miembro está conformado por conglomerado, aglomerados polimícticos, con clastos de guijas y areniscas gruesas, medianamente estratificadas, intercalándose algunos niveles de tobas grises blanquecinas en las secuencias superiores (PN-mo_s). Es asignada al Mioceno.

El contraste de color y topografía entre los dos miembros de la Formación Moquegua es claro y visible a distancia y permite definir claramente el contacto. Su parte superior está parcialmente cubierta por un banco de tufo blanco del Volcánico Huaylillas, de 15 a 20 m. de grosor. La litología del Moquegua superior es principalmente areno-conglomerádica y secundariamente se intercalan tufos, areniscas tufáceas, arcillas, tufos redepositados. Los depósitos son ligeramente friables y/o deleznales. Su grosor, textura y estructura de los depósitos varían de un sitio a otro tal como se les observa en inmediaciones de la ciudad de Moquegua.

Ocupa gran parte del área evaluada, en ambas márgenes de las quebradas Montalvo, San Antonio, Panteón y torrenteras Samegua (fotografía 2).



Fotografía 2: Conglomerados inconsolidados de la Formación Moquegua, en Asociación Alto Solar, calle Puerto Solar.

Formación Huaylillas (NM-hu)

Se tienen en esta formación tobas-lapilli (Wilson y García, 1962) de composición química riolítica a dacíticas de color grises, blanco a rosadas, está compuesta por feldespatos fragmentados, biotitas con escasas hornblendas, fragmentos de pómez y líticos es frecuente, los rangos generales van desde tobas blancas friables hasta niveles altamente soldadas. Muchas de estas unidades presentan

estructuras en fiamme de pómez aplastada y alterada. Debido a su dureza forma farallones y en superficie formas elongadas y redondeadas. Se le asigna una edad Mioceno.

En el área evaluada aflora entre las cabeceras de la quebrada Montalvo y Panteón, en la cima del cerro Gordo y Colorado.

Formación Millo (Np-mi)

Secuencia de conglomerados (Vargas, 1969), intercalado con niveles de tobas-lapilli, de composición química riolítica, los aluviones consisten de clastos subangulosos polimícticos clasto soportado, ligeramente inconsolidado, de grosor variable (10-100 m), las tobas de coloración pardas a marrones presentan cristales (plagioclasas), y pómez, así como escasos líticos y lámelas de biotitas. Estas tobas fueron datadas en 8.9 (K-Ar); 142 (K-Ar); 12.5±0.6 (Tosdal, et.al, 1981), Ma. Es asignada a una edad Pliocena-Pleistocena. Aflora al sur del área evaluada en la cima del cerro Jaguay.

Depósito fluvial (Qh-f)

Constituyen los materiales ubicados en el cauce o lecho de los ríos y/o quebradas, en el área evaluada se encuentran a lo largo del fondo de los ríos Tumilaca, Moquegua y Torata, terrazas bajas inundables y llanura de inundación. Constituidos por bolones, gravas, arenas y arcillas que están en proceso de transporte y depositación por los ríos actuales. Durante las avenidas, parte de estos terrenos, que corresponden al piso del valle, son a veces parcialmente inundados por el río renovándose el transporte, la sedimentación y quedan expuestos estos depósitos en periodos cuando baja el nivel de las aguas. Generalmente, por encontrarse en constante dinámica, son depósitos inconsolidados hasta sueltos, fácilmente removibles y su permeabilidad es muy alta. Se forman islotes en el cauce del río (fotografía 3).



Fotografía 3: Vista al suroeste, depósitos fluviales en el río Moquegua, sector Malecón Ribereño.

Depósito aluvial (Qh-al)

Son depósitos inconsolidados constituidos por de gravas, arenas, en canales activos, polimícticos, con clastos subredondeados a subangulares, soporte de matriz areno-limoso asociado a flujos de barro y conos aluviales. Se encuentran semiconsolidados, que han sido acumulados por la combinación de procesos aluvionales y fluviales. Están ubicados fundamentalmente en las márgenes de ríos y quebradas principales formando terrazas a diferentes niveles ligeramente más

elevados, utilizadas como terrenos de cultivo. En el área evaluada se ha distinguido 3 depósitos aluviales:

Qh-al3: está compuesta de conglomerados inconsolidados de origen fluvial color gris y clastos subredondeados, se distribuye ampliamente como terrazas altas en el valle del río Moquegua. Localmente, en los tramos superiores de los valles de los ríos Torata y Moquegua se distinguen angostas franjas de terrazas aluviales formadas por conglomerados en matriz arenosa, que quedan entre 3 a 5 m sobre el lecho del río, las cuales son aprovechadas en la agricultura. En la margen derecha del río Moquegua, frente a Moquegua, se observa una terraza a unos 30 m, aproximadamente, sobre el lecho del río, la cual se encuentra parcialmente cubierta por los desbordes del acarreo del río Torata y por los materiales coluviales que provienen de los flancos del cerro Los Ángeles. Son susceptibles a la erosión fluvial (socavamiento en el pie de terrazas); se producen algunos derrumbes y hasta deslizamientos pequeños en márgenes de ríos y quebradas.

Qh-al4: consisten en conglomerados semiconsolidados de clastos angulosos ligera estratificación y algunos niveles de tobas blancas recicladas y deleznable, se distribuye ampliamente como terrazas medias en el valle del río Moquegua.

Qh-al5: sistema fluvio-aluviales de sedimentos activos compuestos de gravas, arenas gruesas, medias y niveles de limolitas producto de llanuras de inundación, aquí es donde se ha establecido la agricultura para la región, se distribuye como terrazas bajas en el valle del río Moquegua.

Depósito proluvial /aluvio torrencial (Q-at)

Son originados por las quebradas de régimen estacional o excepcional; forman abanicos o conos en las desembocaduras a corrientes mayores o confundiendo algunas veces con terrazas aluviales. Por la manera de transporte y depósito generalmente son mal clasificados con clastos de rocas subangulosos a subredondeados de diferentes dimensiones; pueden ser bloques, bolones y gravas con relleno limoarenoso-arcilloso depositados en el fondo de valles tributarios y conos deyectivos en la confluencia con un río.

En caso de un flujo de lodo hay un predominio de arena y/o limo. Estos depósitos se observan en la Pampa de San Antonio (Ciudad Nueva), Samegua, Chen Chen y áreas actualmente de expansión urbana regularmente pobladas. En algunos casos estos depósitos son originados por los acarreos de las quebradas de corto recorrido que se activan en lluvias excepcionales (quebradas Montalvo, San Antonio, y otras frente a Cerrillos y Samegua), por el lavado y erosión en las laderas de los cerros de Cruz del Siglo; están constituidos por clastos de rocas de la Formación Moquegua.

Estos depósitos pueden ser utilizados como material de agregados al extraer material de construcción (canteras) que son usados en terraplenes, diques para presas y bocatomas, etc. Sobre las superficies de estos terrenos en muchos casos se desarrollan zonas agrícolas y urbanas. Son susceptibles a procesos de remoción por huaicos. Se diferenciaron los siguientes depósitos aluvio-torrenciales.

Q-at1: sistema de piedemonte del mirador de Samegua, en forma de piedemonte se encuentran bien desarrollados en el valle de Moquegua.

Q-at2: sistema de pie de monte del cerro Huaracane y quebrada Capirus.

Q-at3: se distribuye ampliamente en las pampas de San Antonio y quebrada Seca.

Q-at: canales activos de las quebradas secas como Panteón, Montalvo y San Antonio. Depósitos similares se observan en las faldas de los cerros Pedregal, Baúl y sectores de Alto La Villa, aeródromo, Buena Vista, San Antonio y Moquegua (se presentan en la parte baja de la ciudad y

parte del asentamiento de San Francisco). Se ha observado en las laderas inferiores del cerro Cruz del Siglo al constituir parte de los terrenos del sector El Siglo, San Francisco y de la zona monumental de Moquegua.

Depósito antrópico (Q-ant)

Están constituidos por depósitos generados por el hombre, sin intervención de procesos de transformación industrial. En la parte media de la quebrada Panteón se aprecian canteras donde extraen grava y arena, así como desmonte y basura acumulada en el cauce y las riberas de la margen izquierda de la quebrada.

Depósito coluvial (Q-co)

Los depósitos coluviales están constituidos por escombreras con acumulaciones en la base de las laderas de los cerros compuestos de bloques angulosos con bastante matriz arenolimososa generados por desprendimientos, poco cohesivos, sueltos a muy sueltos; pero pueden presentarse algo compacto cuando son más antiguos. La acumulación más importante de esta clase de depósitos se encuentra, principalmente en la cabecera de la quebrada Panteón, en laderas del cerro Gordo, que están acumulados en forma muy caótica.

Depósito de deslizamiento (Q-d)

Son el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones al realizarse modificaciones en sus taludes naturales. Constituido por escombreras producto de mega deslizamientos en la margen izquierda de la quebrada Montalvo, cerro Jaguay.

Depósito deluvial (Q-de)

Formado por enormes depósitos de materiales, que han sido transportados pendiente abajo, en los que ha intervenido el agua, toman formas comparadas a conos que se encuentran sobreyaciendo a depósitos aluviales.

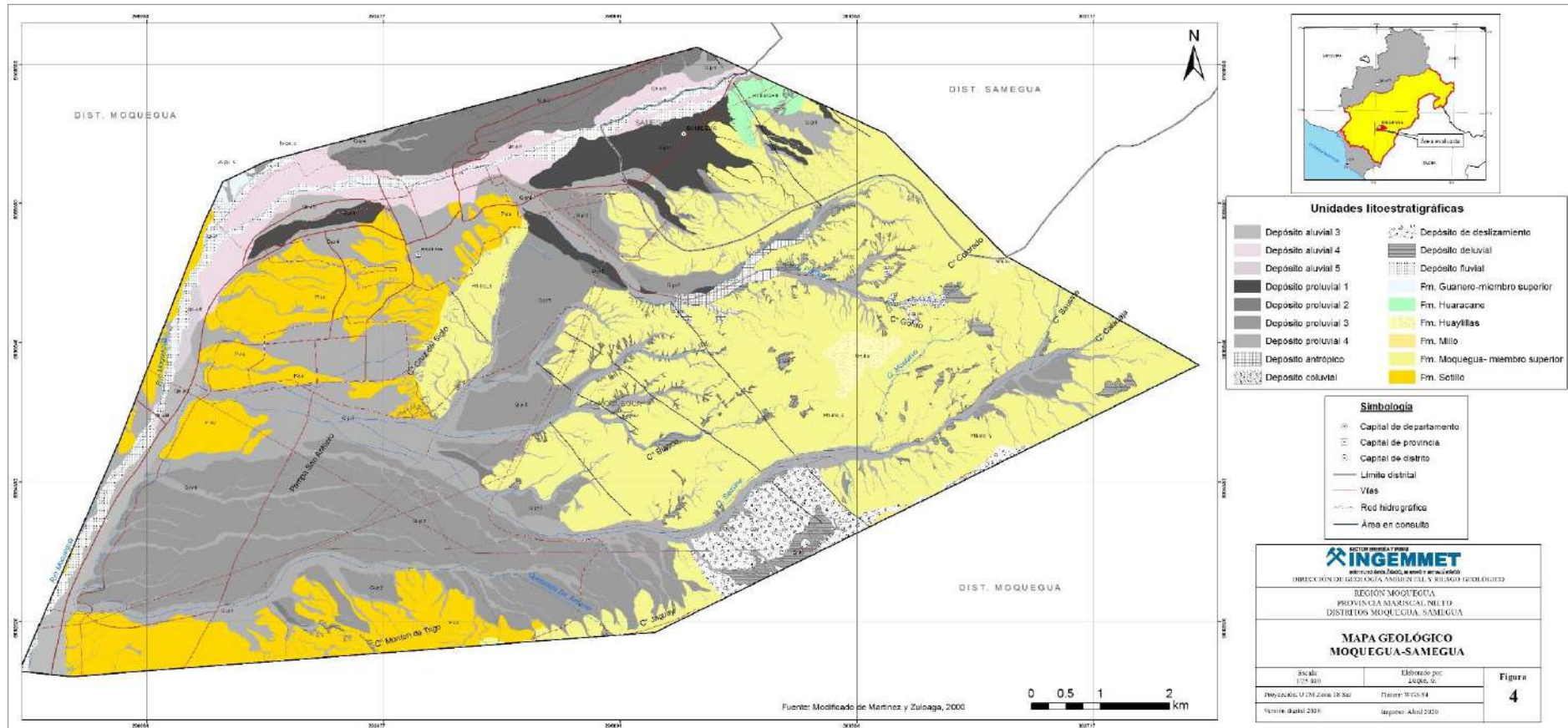


Figura 4: Mapa geológico de la zona evaluada.

4. GEOMORFOLOGÍA

4.1 Pendiente del terreno

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable. Es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa como factor condicionante y para el análisis de la susceptibilidad a estos procesos. Además, aparte del relieve, la pendiente de los terrenos es considerada un aspecto importante en la clasificación de las unidades geomorfológicas.

El mapa de pendientes de la zona evaluada fue elaborado a partir de un modelo digital del terreno (DEM) de 12 m de resolución de celda (Alos Palsar), este fue procesado con el software ArcGis, para ello se obtuvo primero un modelo raster de pendientes y, a partir de este, se obtuvieron polígonos de igual pendiente o inclinación en los diferentes sectores de la zona evaluada (figura 5).

Los rangos de pendientes que se presentan en la zona evaluada son los siguientes:

Pendiente muy baja (< 1°): Son terrenos que se distribuyen a lo largo de las zonas de valles fluviales (ríos Moquegua, Tumulaca y Torata) y planicies formadas por abanicos proluviales; dentro de estos terrenos se ha construido la carretera Panamericana Sur y se ubican algunas viviendas y locales comerciales. Son terrenos susceptibles a inundación fluvial, en estas zonas se acumulan los materiales acarreados por flujos de detritos originados en zonas más altas.

Pendiente baja (1° - 5°): En los terrenos ligeramente inclinados, con baja pendiente, se encuentran dentro de este rango el piedemonte aluvial y aluvio-torrencial, abanicos, terrazas aluviales, altiplanicie volcano-sedimentaria, conos de deyección, valles de quebradas (Sausine). Estos terrenos son zonas de depósito de material acarreado por los diversos agentes dinámicos. Sobre estos terrenos se desarrolla la ciudad de Moquegua, así como las localidades de Samegua y San Antonio. Son terrenos susceptibles a inundación y erosión fluvial, también sirven de depósito de materiales acarreados por flujos de detritos.

Pendiente media (5° - 15°): Se distribuyen principalmente en depósitos proluviales antiguos, laderas inferiores de los relieves de las colinas y lomadas, las cimas de cerros (cerros Gordo y Colorado). Dentro de este rango de pendiente se encuentran ubicados también la ciudad de Moquegua, las localidades de Samegua y San Antonio. Estos terrenos son susceptibles a procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas).

Pendiente fuerte (15°-25°): Se ubican indistintamente en las laderas medias de las colinas y lomadas en el extremo este de la zona evaluada. En este rango de pendiente se han desarrollado urbanizaciones. Estos terrenos con pendiente fuerte son susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos y movimientos complejos.

Pendiente muy fuerte (25°-45°): De regular distribución en la zona evaluada, se ubican principalmente en laderas superiores, cimas de colinas y lomadas y la zona de acantilados que limita la altiplanicie volcano-sedimentarias. Estos terrenos son susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos.

Pendiente abrupta (> 45°): Presentan distribución reducida, localizados en laderas y cimas de colinas, así como en el acantilado que limita la altiplanicie volcano-sedimentaria. Estos terrenos son susceptibles a la caída de rocas, derrumbes y avalanchas de rocas.

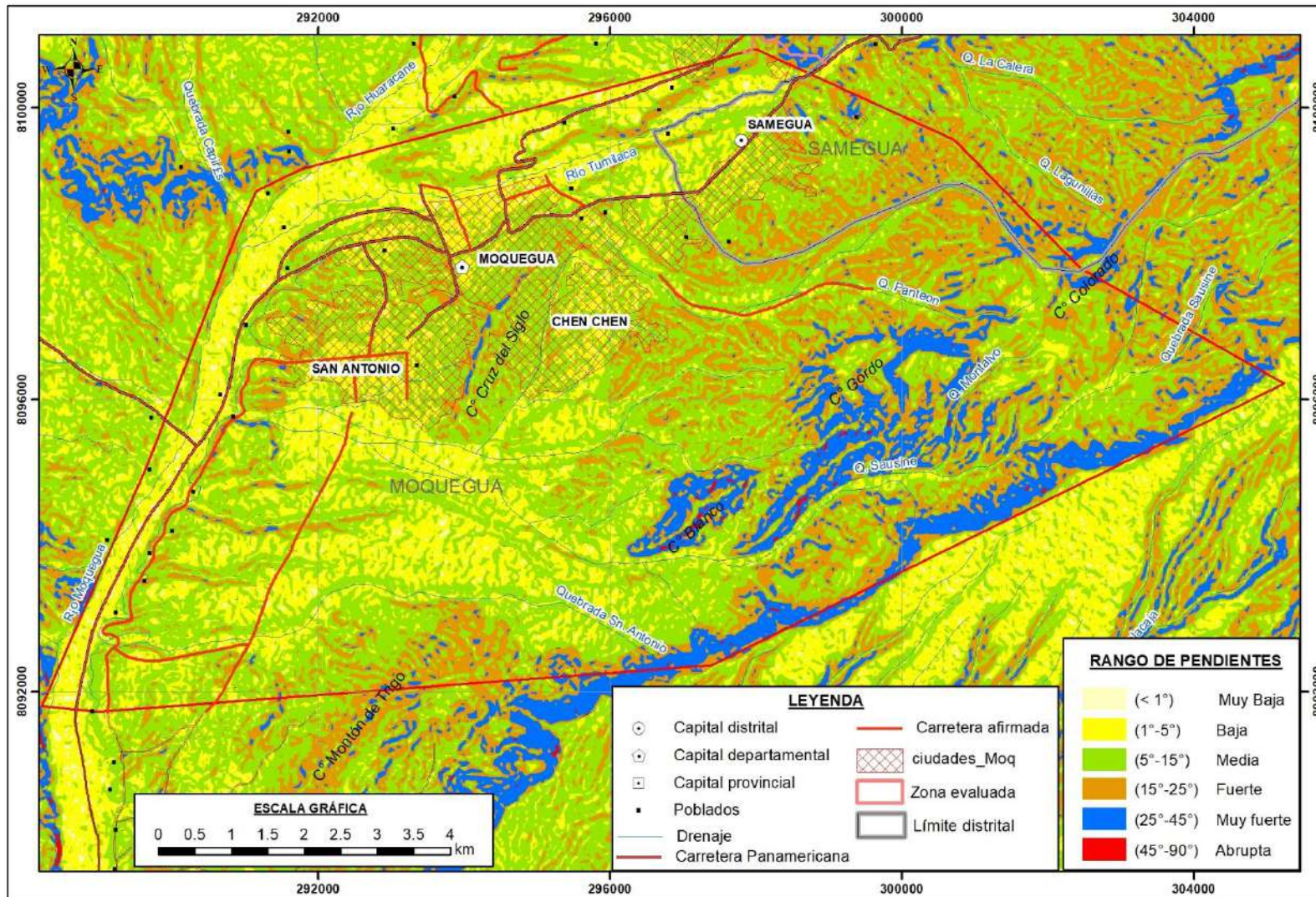


Figura 5: Mapa de pendientes de la zona evaluada.

4.2 Unidades geomorfológicas

La configuración geomorfológica de la región Moquegua está relacionada con los procesos geológicos, el relieve y la variedad de microclimas asociados a su territorio. Todas estas geoformas diferenciadas en la región se han producido por agentes tectónicos, erosionales y depositacionales ocurridos a lo largo de su historia geológica. El origen de estos ambientes geomorfológicos está muy ligado al proceso del levantamiento andino (profundización y ensanchamiento de valles), asociado a eventos de glaciación y deglaciación, procesos de movimientos en masa, etc.

La elaboración del mapa geomorfológico de la zona evaluada se tuvo como base el mapa geomorfológico a escala 1:300 000, elaborado en el estudio de “Peligros geológicos en la región Moquegua” (Luque et. al, 2020), imágenes satelitales disponibles de las plataformas Google Earth y SasPlanet. Así se tiene, en la zona evaluada agrupadas según su origen, las siguientes unidades geomorfológicas (figura 11).

4.2.1 Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional

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). Los paisajes morfológicos resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas; así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades:

Unidad de colinas y lomadas: Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 16 % (como se cita en Villota, 2005, p. 64); conforman alineamientos de carácter estructural y denudativo. Esta unidad se ubica próxima a la de montañas y forma parte de las estribaciones andinas. En la zona evaluada se asocian litológicamente a rocas de tipo volcánico, volcánico-sedimentario y sedimentario. Se identificaron las siguientes subunidades:

Subunidad de relieve de colinas y lomadas en roca volcánica (RCL-rv):

Geoformas de este tipo corresponden a afloramientos de rocas volcánicas de las formaciones Huaylillas y Huaracane (tobas, piroclásticos y derrames lávicos), distribuidos en pequeñas áreas a lo largo del territorio de Moquegua; con laderas que varían entre 5° a 15° de pendiente, presentando formas subredondeadas producto de la erosión, se observan surcos o cárcavas en sistema dendrítica. Conformando la cima de los cerros Gordo y Colorado, así también se les encuentra conformando parte de los cerros ubicados al este de la localidad de Samegua (figura 6).

Esta subunidad está asociada geodinámicamente a caída de rocas, derrumbes, flujos de detritos (huaicos) y erosión de laderas (surcos y cárcavas).

Subunidad de relieve de colinas y lomadas disectadas en roca sedimentaria (RCLD-rs): Son relieves notablemente disectados por la erosión fluvial y pluvial; presentan laderas de baja a media pendiente, con cumbres subredondeadas. Litológicamente están conformadas por rocas areniscas y limolitas rojas (Formación Sotillo). En la zona evaluada esta subunidad se localiza en las inmediaciones de la ciudad de Moquegua y la localidad de San Antonio (flanco oeste del cerro Cruz de Siglo); estas se asientan sobre las laderas de estas colinas.

Esta subunidad está asociada geodinámicamente a la ocurrencia de flujos de lodo y procesos de erosión de laderas.

Subunidad de relieve de colinas y lomadas disectadas en roca volcano-sedimentaria (RCLD-rvs): Relieves suaves, disectados por múltiples cárcavas y cubierta ligeramente con material residual y eólico. Presentan media muy fuerte (15° - 45°), de forma subredondeada producto de procesos erosivos. Se encuentra conformado por rocas de la Formación Moquegua Superior, representa la mayor superficie de territorio en la zona evaluada y se localiza en el lado oeste principalmente, conformando el cerro Blanco, el flanco este del cerro Cruz del Siglo y las laderas medias e inferiores de los cerros Gordo y Colorado (figura 6 y fotografía 4).

Esta subunidad se asocia geodinámicamente a procesos de erosión de laderas intenso, flujos de detritos y lodo (huaicos) y derrumbes.

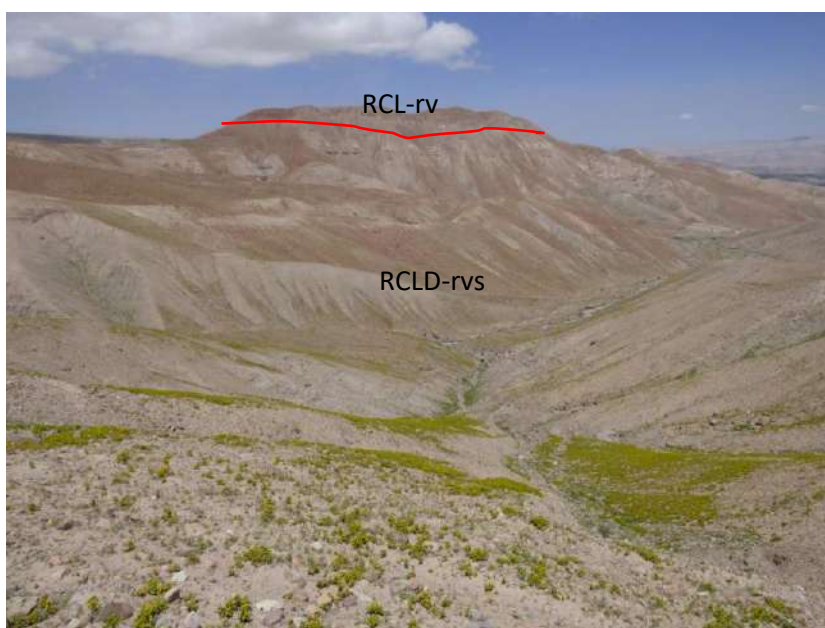


Figura 6: Vista con dirección hacia el sur donde se observa en la cuenca media de la quebrada Panteón, el relieve de colinas y lomadas disectadas en rocas volcánicas (Formación Huaylillas) en la cima del cerro Gordo y las colinas en rocas volcano sedimentarias conformadas por secuencias de la Formación Moquegua Superior.



Fotografía 4: Vista con dirección al oeste, donde se puede observar las colinas y lomadas en rocas volcano-sedimentarias (Formación Moquegua superior), afectadas por erosión de laderas; también es posible observar la aridez de la zona, con presencia de escasa vegetación.

4.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional

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

Unidad de piedemontes: Acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arena, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos pueden ocupar grandes extensiones. Para delimitar los depósitos de piedemonte se reconocieron aquellas características que los conforman, como el depósito y acumulación de material y las rupturas de pendiente.

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial reciente (P-at): Corresponden a planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y dimensiones variables, posicionadas al pie de las estribaciones andinas o los sistemas montañosos, formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter extraordinario, así como por lluvias ocasionales y extraordinarias que se presentan en la región. Algunos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas. Se asocian también al fenómeno de El Niño. Los piedemontes identificados en esta subunidad, corresponden al depósito más reciente que se pudo diferenciar a la escala de trabajo de detalle. Sobre este tipo de geoformas se encuentran asentadas la ciudad de Moquegua, las localidades de San Antonio y parte de Samegua (figura 7).

Esta subunidad se asocia geodinámicamente a la ocurrencia de flujos de detritos y flujos de lodo (huaicos).

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial antiguo (P-at1, P-at2 y P-at3): Esta subunidad corresponde a diferentes niveles de depósitos de flujos aluvio-torrenciales depositados a lo largo del tiempo geológico; también formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter extraordinario, así como por lluvias ocasionales extraordinarias que se presentan en la región, asociadas también al fenómeno EL Niño. Dentro

del para del estudio, se pudo identificar tres niveles de piedemontes aluvio-torrenciales designados con los números 1, 2 y 3, siendo el primero el depósito de piedemonte más antiguo que se identificó. Sobre estos depósitos se encuentran asentadas las nuevas zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua, San Antonio y la localidad de Samegua (figuras 7 y 8).

Esta subunidad se asocia geodinámicamente a la ocurrencia de flujos de lodo, erosión de suelo y procesos de inundación fluvial, por concentración y esorrentía formada durante periodos de lluvias extraordinarias.

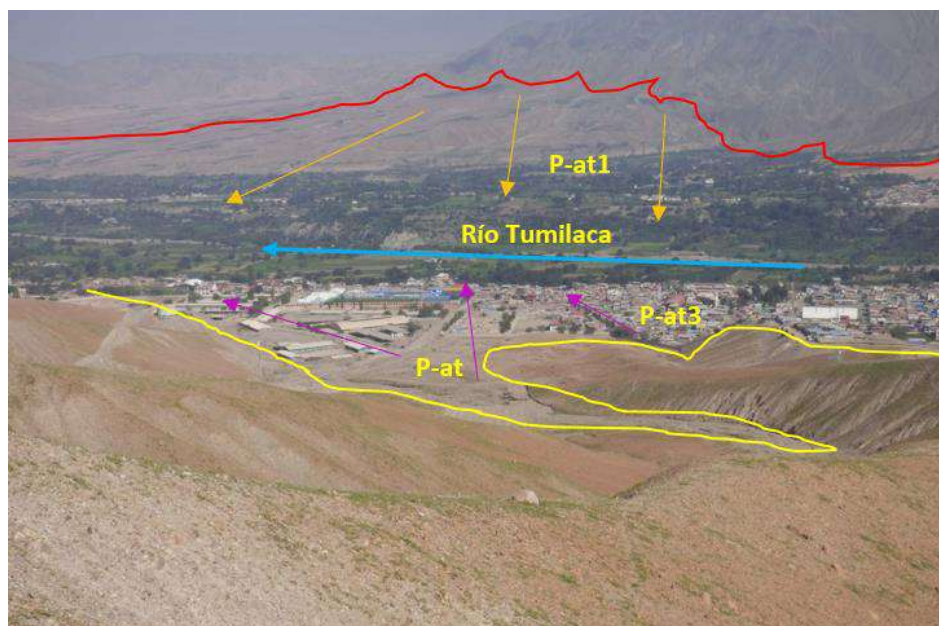


Figura 7: Vista con dirección al norte, donde se puede observar el valle del río Tumulaca, en su margen derecha se tiene los piedemontes aluvio-torrenciales antiguos (P-at1) y hacia la margen izquierda piedemontes aluvio-torrenciales recientes (P-at) y antiguos (P-at3), sobre los cuales se asienta la localidad de Samegua.



Figura 8: Vista con dirección al sur, donde se demarca parte del piedemonte aluvio-torrencial antiguo, ubicado en la cuenca media y margen derecha de la quebrada Panteón; este tiene una altura de 10 m aproximadamente.

Subunidad de vertiente o piedemonte deluvial (V-de): Sub-unidad conformada por la asociación de conos y abanicos de origen deluvial que se depositan de forma sucesiva al pie de laderas y acantilados, o son resultado de la acumulación de materiales sueltos acarreados por cursos de agua de corto recorrido con régimen estacional; estas han sido identificadas principalmente en las márgenes de las quebradas Panteón, Montalvo, Sausine y San Antonio. Se asocian a la ocurrencia de flujos de detritos y flujos de lodo de amplitud local, así como también a procesos de erosión de laderas (figura 9).

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, son depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles. Su morfología es usualmente convexa y con disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa. Esta unidad fue identificada dentro la subunidad de relieve de colinas y lomadas disectadas en roca volcano-sedimentaria, en las márgenes de las quebradas Panteón y Sausine; en esta última se encuentra limitando el borde noroeste de la altiplanicie volcano-sedimentaria (figura 10).

Se asocian geodinámicamente a la deslizamientos, derrumbes y procesos de erosión de laderas.

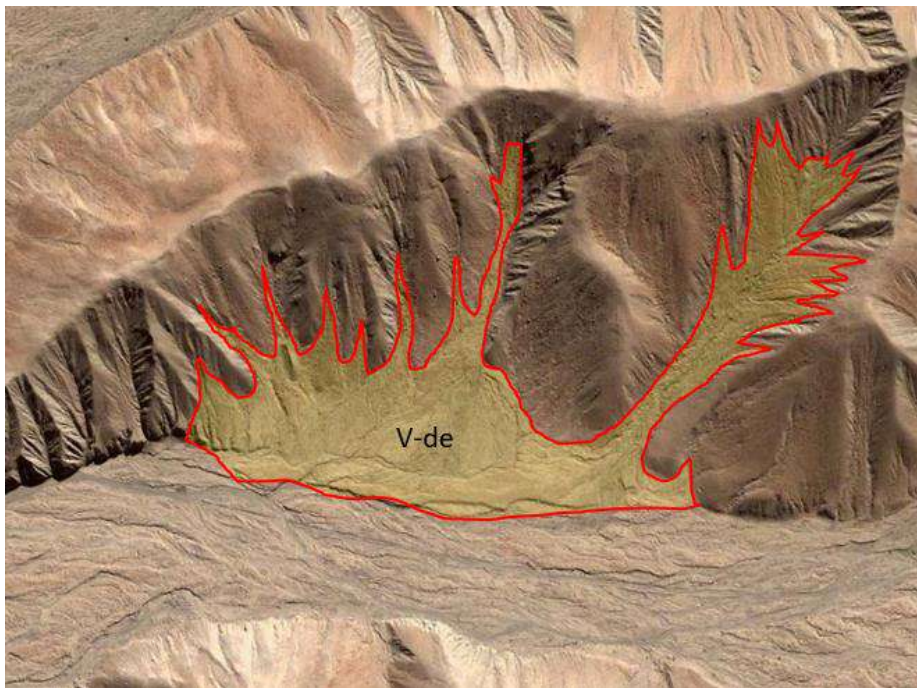


Figura 9: Imagen google earth del año 2005, donde se demarcó con línea color rojo un depósito de piedemonte deluvial (V-de), ubicado en la margen derecha de uno de los tributarios de la cuenca media de la quebrada Panteón, como resultado de la acumulación de material caído y lavado de la ladera, así como de material proveniente de quebradas de corto recorrido.



Figura 10: Imagen google earth del año 2005, donde se demarca con línea color rojo una vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) y su zona de arranque (ZA-dl), localizado entre la margen izquierda de la quebrada Sausine y la altiplanicie volcano-sedimentaria (Ap-vs).

Cono aluvio-torrencial (C-at): Sub-unidad que configura una morfología de cono, se forma por la acumulación de sedimentos que son acarreados por corrientes de agua de carácter excepcional y están relacionadas a lluvias ocasionales y extraordinarias que se presentan en la región. Pueden estar asociadas al fenómeno de El Niño. La pendiente de estos depósitos es suave a moderada (1-15°). Esta subunidad fue identificada a lo largo de la margen derecha de los ríos Tumilaca y Moqueguas, y están sujetos a la ocurrencia de nuevos flujos de detritos (huaicos).

Unidad de planicies, depresiones y otros: Están asociadas a depósitos aluviales recientes, aluviales antiguos y fluvio-glaciares limitados en muchos casos por altiplanicies, bofedales, depósitos antropógenos, faja litoral, mantos de arena, terrazas y valles; están sujetas a modificaciones físicas constantes o recurrentes, desarrolladas normalmente en cuencas, llanos andinos, faja costera. En la zona evaluada se identificaron las siguientes subunidades:

Altiplanicie volcano-sedimentaria (AP-vs): Son planicies o superficies suavemente onduladas en las regiones altas constituidas por roca volcano-sedimentaria, como son las tobas y sedimentos aluviales consolidados de la Formación Millo. Esta subunidad presenta cárcavas de disposición subparalela producto de la erosión producida por las aguas de escorrentía superficial. En la zona evaluada se presenta un área reducida de esta subunidad y se ubica en el extremo sureste (figura 10).

Cauce de río (Río): Se refiere a los cursos de agua que por lo general presentan caudales valorables durante todo el año como sucede en los ríos Tumilaca, Torata y Moquegua. Estos están sujetos a constantes procesos de erosión y transporte de material aluvial (fotografía 5 y 6).

Llanura o planicie inundable (PI-i): Son superficies bajas, con pendientes suaves adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales en máximas avenidas, lo cual provoca que, en los terrenos aledaños a los cauces de los ríos, al divagar en el tiempo, se formen cauces abandonados. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuestos por material no consolidado, removible. Esta subunidad fue reconocida a lo largo del valle de los ríos Tumilaca y Moquegua; estos están sujetas a procesos de erosión e inundación fluvial (fotografía 5).

Terraza aluvial alta, media y baja (T-a, T-m y T-b): Corresponde al depósito de materiales no consolidados acumulados por acción de los cursos hídricos. Generalmente presenta pendientes suaves y se ubica de forma adyacente al lecho de los cauces de ríos, formando plataformas de dimensiones variables. También se puede decir que son planicies adyacentes diferenciables de la llanura de inundación principal, con altura relativamente marcada; con frecuencia, acompañan el curso del valle por varios kilómetros y se encuentran más altas que el fondo del valle. Los materiales que lo componen son fundamentalmente cantos rodados, grava y arena, dispuestos en capas horizontales; corresponde a una antigua planicie de inundación levantada por movimientos tectónicos o la erosión de antiguos fondos de valles.

Esta es una unidad importante por constituir una evidencia de los pasados eventos de avenidas e inundaciones en la zona. En la zona evaluada fue posible identificar hasta tres niveles de terrazas aluviales, denominadas según su posición y altura con respecto al curso del río como terrazas bajas, medias y altas. Estas terrazas fueron identificadas a lo largo de los valles de los ríos Tumilaca y Moquegua, así como en curso de la quebrada Panteón (fotografía 6); Sobre estos terrenos se desarrollan extensas zonas de cultivo y redes viales. Están sujetos normalmente a erosión e inundación fluvial.

Cauce de quebrada estacional (C-q): Sub-unidad correspondiente a los cursos de quebradas de dimensiones variadas, que son resultado de la incisión producida por concentración de escorrentía pluvial, las cuales solo tienen caudales de agua durante los periodos de lluvia estacional anual (enero-marzo) ocasional y extraordinaria, estos cauces de quebradas forman parte de los tributarios de los ríos Tumilaca y Moquegua, entre ellos se tienen a las quebradas Panteón, Sausine y San Antonio (fotografía 7).

Es importante señalar que los largos periodos de sequía que presentan estas quebradas han hecho que sean fuertemente antropogenizados, en muchos casos los cursos de estas quebradas han sido desviados, estrechados, cerrados e incluso rellenados para realizar habilitaciones urbanas; así como también se realizan labores agrícolas dentro de estos cauces.

Estas quebradas están sujetas a reactivaciones con lluvias extraordinarias, por donde discurren flujos de agua, de lodo y detritos (huaicos).



Fotografía 5: Vista con dirección al oeste, donde se observa el cauce activo del río Tumilaca, encauzado con arrimado de material y enrocados, hacia ambas márgenes se alcanza a ver parte de la llanura inundable y terrazas aluviales.



Fotografía 6: Vista con dirección al sur, donde se puede observar el cauce del río Tumilaca y las terrazas aluviales, sobre las cuales se desarrolla actividades agrícolas.

Zona de arranque de derrumbe (ZA-dr): Dentro de esta sub-unidad se han agrupado las zonas de arranque de derrumbes, localizados a lo largo de valles que presentan vertientes de fuertes pendientes (quebrada Panteón). Estos están sujetos a reactivaciones retrogresivas del derrumbe.

Zona de arranque de deslizamiento (ZA-dl): Sub-unidad conformada por los planos de falla de deslizamientos, los cuales han podido ser identificados en la escala de trabajo; estos se encuentran principalmente en la margen izquierda de la quebrada Sausine y limitan a la subunidad de altiplanicie volcano-sedimentaria.

Cauce activo de quebrada antropogenizado (C-ant): En esta subunidad se ha considerado los tramos de quebradas que han sido reducidos por medio de trabajos de encausamiento realizado por el hombre por medio de muros de concreto, gaviones y mampostería; algunos tramos de estas han sido cubiertos por puentes vehiculares (fotografías 8 y 9). Estos cauces están sujetos a procesos de erosión fluvial, desborde e inundaciones con caudales extraordinarios que discurren por la quebrada.

Cantera de áridos (Cant): Dentro de esta sub-unidad se ha considerado los límites de actividades de explotación minera a cielo abierto, de la que se obtienen áridos para la construcción; también comprende montículos de acumulación de áridos en canteras, que pueden ser representados en la escala de trabajo; su ubicación y dimensiones son temporales, dependiendo esto del ritmo de trabajo en su extracción y venta final (fotografía 10). Estos se ubican principalmente dentro del cauce de la quebrada Panteón.

Relleno sanitario (Re-san): Dentro de esta sub-unidad se ha considerado los montículos o rellenos resultantes de la acumulación de basuras y residuos sólidos domésticos, industriales y médicos; estos materiales son depositados en zonas de laderas (tributario de la quebrada Panteón), sin ningún tratamiento previo, algunas veces son quemados y posteriormente son cubiertos con tierra (figura 11).



Fotografía 7: Vista con dirección al este, se puede observar el cauce seco de la quebrada Panteón (cuenca media).



Fotografía 8: Vista con dirección al noroeste, se puede observar el tramo encauzado de la quebrada Panteón por medio de gaviones; así también, el cauce es ocupado por viviendas.



Fotografía 9: Vista con dirección al sureste, se puede observar la ocupación del cauce seco de la quebrada Panteón con la construcción de viviendas.



Fotografía 10: Vista con dirección al sureste, donde se puede observar el trabajo de extracción de agregados para la construcción del mismo cauce de la quebrada Panteón (cuenca media).

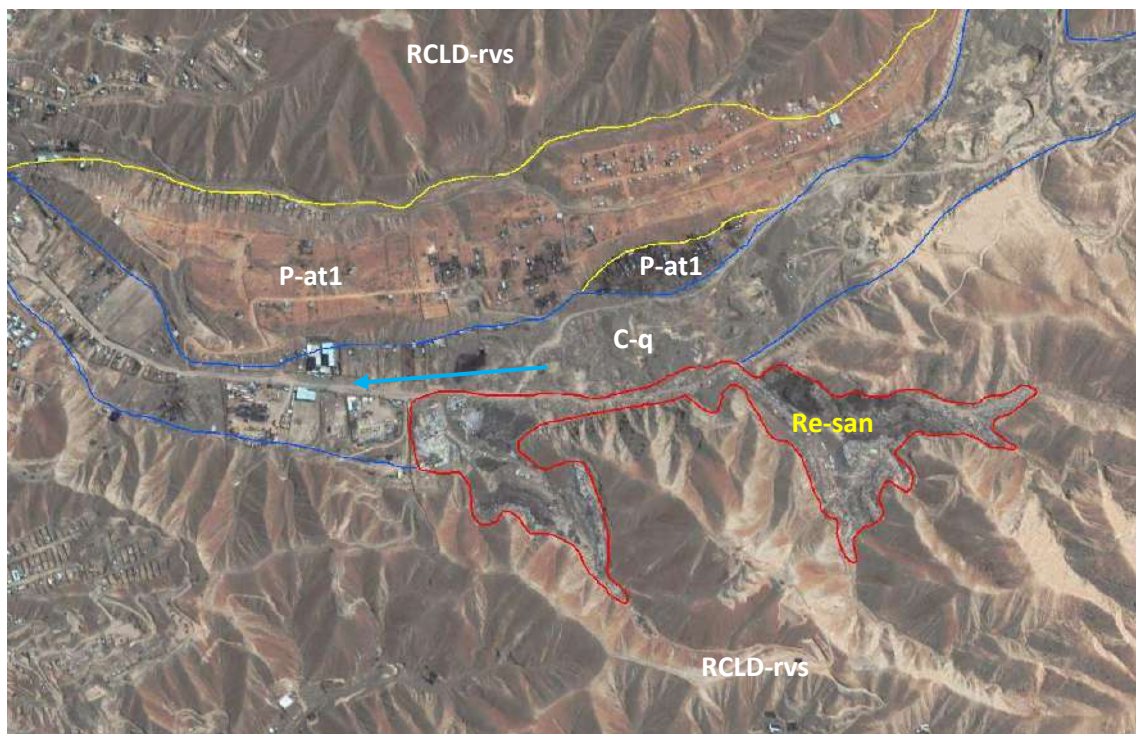
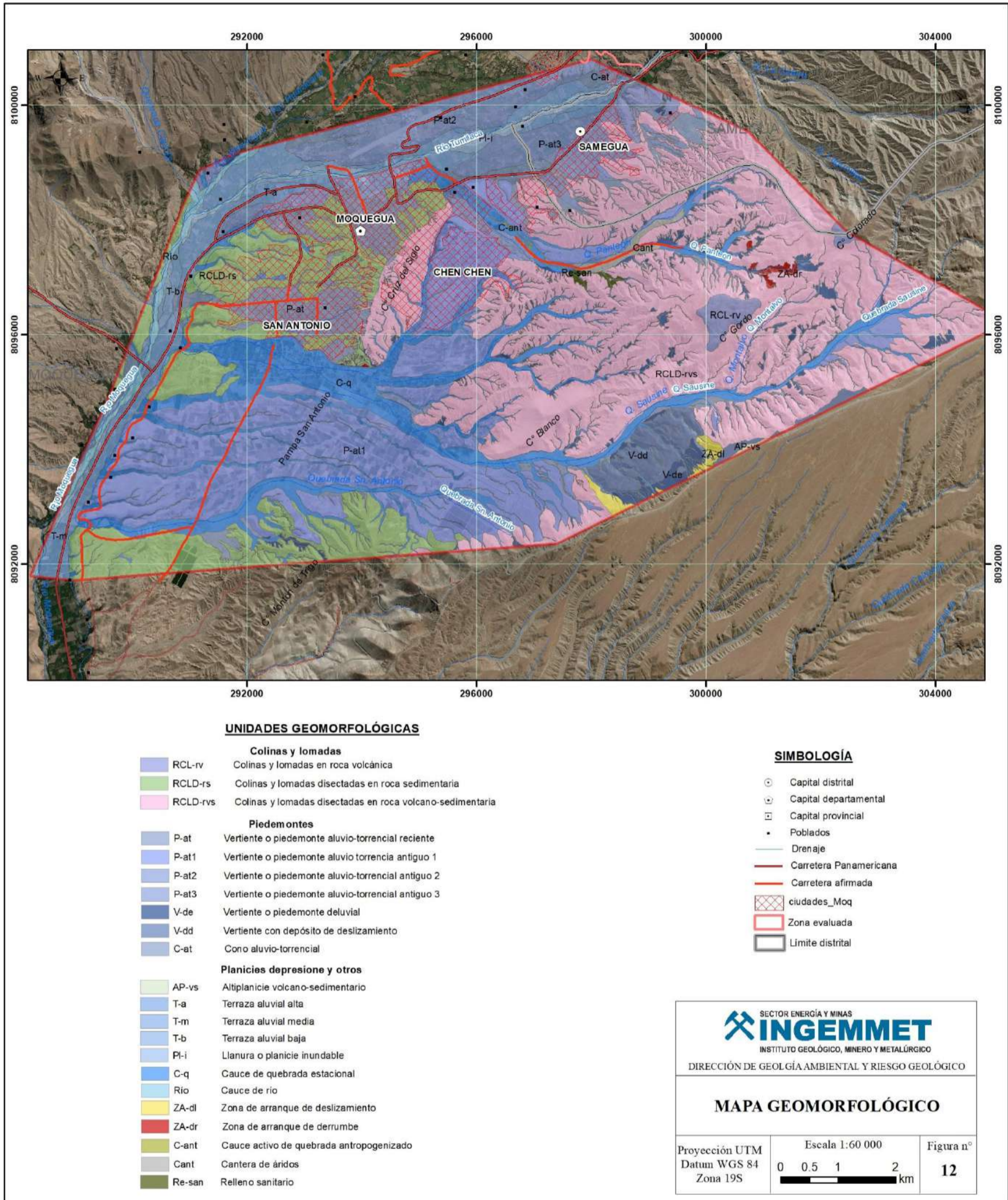


Figura 11: Imagen Google Earth donde se marcan los límites del relleno sanitario-botadero de basura ubicado en dos tributarios de la margen izquierda de la quebrada Panteón, muy cerca de la ciudad de Moquegua; también se delimitan los piedemontes aluvio-torrenciales antiguos (P-at1 y P-at3), las colias y lomadas disectadas en rocas volcano-sedimentarias (RCLD-rvs) y el cauce de quebrada estacional (C-q), en este último viene siendo ocupado por viviendas y se desarrolla la actividad de extracción de paridos para la construcción.



5. PELIGROS GEOLÓGICOS – CONCEPTOS GENERALES

Se define *Peligro o amenaza geológica* a “un 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” (Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Los peligros geológicos incluyen procesos terrestres internos (terremotos, actividad volcánica) y procesos terrestres externos afines como el de movimientos en masas. Los factores hidrometeorológicos son elementos que contribuyen considerablemente en alguno de estos procesos.

Así, la región Moquegua, debido a su ubicación geográfica, es afectada recurrentemente por peligros geológicos y sismos; esto aunado a la tendencia de expansión urbana, procedente de la migración rural a la capital de la región, ha traído como consecuencia la creación de nuevos asentamientos urbanos (invasiones) que ocupan zonas de peligro, que antes carecían elementos expuestos, por lo que, al ubicarse en estas zonas de peligro, nuevas viviendas y se desarrollan todo tipo actividades sociales y económicas, estos se transforman en nuevas zonas de riesgo.

Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada corresponden a subtipos agrupados en los denominados movimientos en masa, otros peligros geológicos y peligros geohidrológicos. Para tal efecto, la información que se consigna en este acápite se basa en la recopilación de información de peligros existentes (informes técnicos, boletines, tesis, etc.); así como información tomada en campo basada específicamente en un inventario de peligros geológicos y cartografiado geodinámico preliminar a escala 1:50 000, sobre una base topográfica actualizada del Instituto Geográfico Nacional, el cual fue detallado posteriormente con la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Toda esta información temática sobre peligros, generada como cartografía básica para cualquier análisis integral del territorio, se expresa en términos de mapas de procesos activos y susceptibilidad, que tiene como objetivo ayudar a las autoridades regionales, provinciales y distritales, en el conocimiento y comprensión de los peligros geológicos existentes en la zona evaluada.

Es preciso entonces tener una definición clara de los peligros identificados dentro de la zona evaluada, por lo que a continuación se realiza una breve descripción de los tipos y subtipos encontrados.

5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

Los movimientos en masa constituyen los procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos inconsolidados, o ambos por efecto de la gravedad; su ocurrencia está estrechamente ligada a intensas lluvias, sismos y modificaciones antrópicas (factores detonantes). También responde factores condicionantes o intrínsecos, tales como la litología, pendiente, morfología, cobertura vegetal, etc.

Los movimientos en masa identificados en la zona evaluada han sido descritos utilizando la clasificación de movimientos en masa adoptada por el Grupo de Estandarización de Movimientos en Masa (GEMMA) del Proyecto Multinacional Andino-Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA, 2007); así también, se diferencian procesos activos y antiguos (algunos reactivados). Así se tienen los siguientes tipos de movimientos en masa.

5.1.1 Caídas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el que 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, lo que

ocasiona golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978) (figura 13). 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 3 tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

- *Aludes*: Son desprendimientos violentos de un frente glaciar (hielo/nieve) que acompañan algunas veces el substrato rocoso y/o fragmento detrítico (morrenas), que ocurren en áreas de montañas glaciares.
- *Caída o desprendimiento de rocas*: Involucra la caída de unos cuantos bloques de roca; ocurre en laderas de montañas y colinas de moderada a fuerte pendiente, frentes rocosos escarpados, montañas estructurales asociadas a litologías de diferente naturaleza (sedimentarias, ígneas y metamórficas), sujetas a fuerte fracturamiento, así como en taludes al efectuarse cortes en laderas para obras civiles (carreteras y canales) (figura 14 a).
- *Derrumbes*: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. 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 rocas sedimentarias, esquistos y depósitos poco consolidados. También se presentan en rocas ígneas fracturadas (figura 14 b).

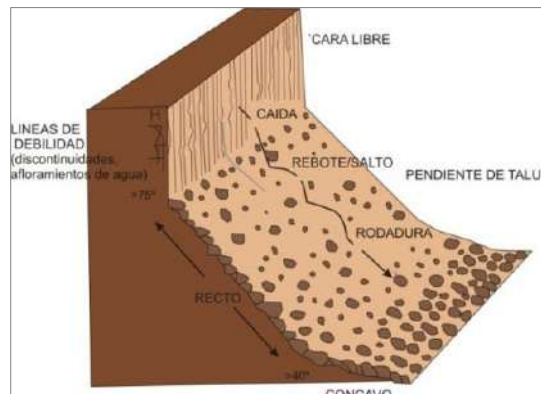


Figura 13: Tipo de movimientos seguidos por un bloque caído desde un talud o ladera. (Tomado de Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

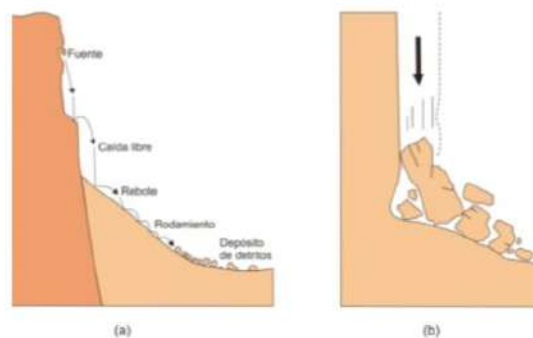


Figura 14: (a) Esquema de la caída de rocas. (b) Corominas y García Yagué (1997) denominan a este movimiento colapso (derrumbe).

5.1.2 Deslizamiento

Es un movimiento, ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales, a su vez, pueden ser planares y/o en cuña.

- *Deslizamiento traslacional:* La masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996) (figura 15 y 16). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia esta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek & Bray, 1981).

En los casos en que la traslación se realiza a través de un solo plano, se denomina deslizamiento planar (Hoek & Bray, 1981). El deslizamiento en cuña (wedge slide) es un tipo de movimiento en el que el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre sí e intersectan la cara de la ladera o talud. Así, el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos o el buzamiento de uno de ellos. La velocidad de los deslizamientos puede variar desde rápida a extremadamente rápida.

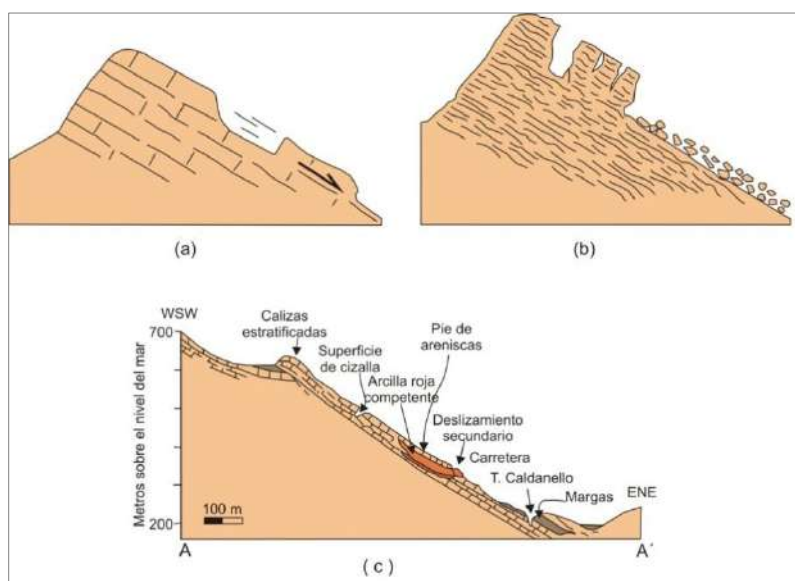


Figura 15: (a) y (b) Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento según Corominas y García Yagué (1997), (c) Esquema de un deslizamiento traslacional en roca en Cerchiaria di Calabria, sur de Italia, según Antronico *et al.* (1993), en Dikau *et al.* (1996) (Tomado de Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

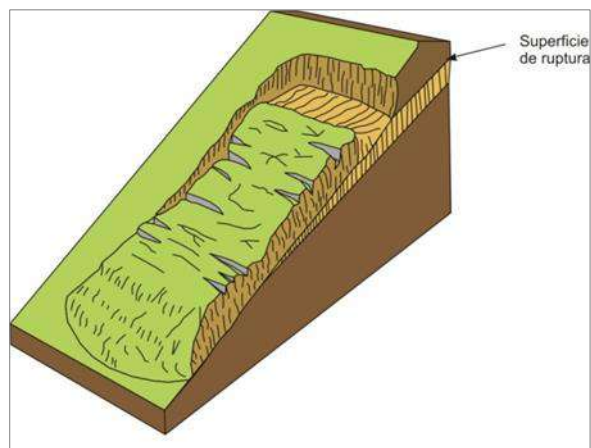


Figura 16: Esquema de un deslizamiento traslacional.

- **Deslizamiento rotacional:** En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (figura 17). La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es, con frecuencia, baja excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

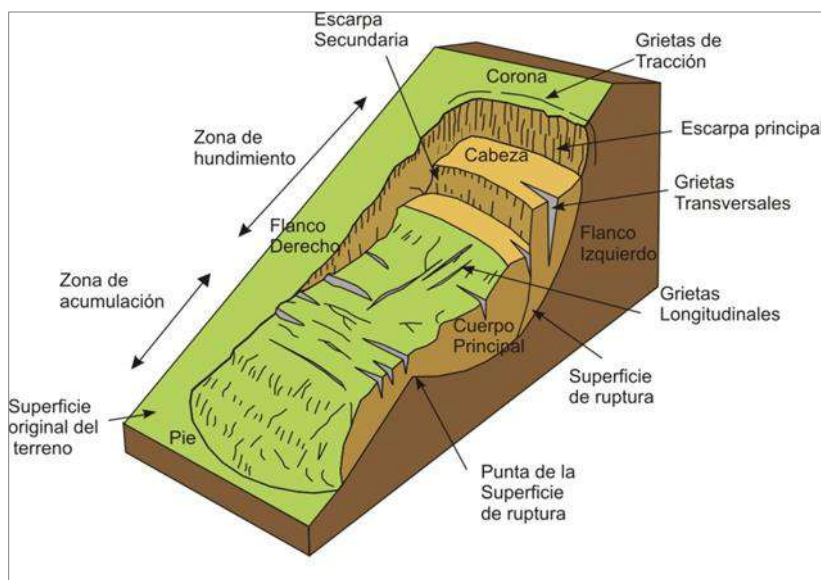


Figura 17: Partes de un deslizamiento rotacional.

5.1.3 Flujos

Es un tipo de movimiento en masa que, durante su desplazamiento, exhibe un comportamiento semejante al de un fluido. Puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se origina a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Se tienen los siguientes tipos según Varnes (1978), Hungr *et al.* (2001) y Hungr (2005):

- **Flujo de detritos:** Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurre principalmente confinado a lo

largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y, finalmente, los depositan en abanicos de detritos (figura 18). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “U”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.

La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido y, por naturaleza, es capaz de producir la muerte de personas (Hungr, 2005).

Hay un tipo de flujo de detritos de gran magnitud que ocurre en los volcanes, ya sea durante las erupciones o en el periodo entre estas. Por lo general, movilizan depósitos de material volcánico no consolidado. Estos son denominados usualmente *lahares*. Muchos de los desastres más devastadores en el mundo, en términos de pérdidas económicas, han sido atribuidos a flujos de detritos. Entre otros, se pueden mencionar los casos de Mayunmarca en Perú (1974), Vargas en Venezuela (1999), Taiwán (1996) y el lahar detonado por el derretimiento de nieve del volcán Nevado del Ruiz, Colombia (1985). Además, una fracción significativa de muertes, durante desastres regionales causados por tormentas o terremotos, se debe a la ocurrencia de flujos y avalanchas de detritos en zonas de topografía abrupta (Jakob & Hungr, 2005).

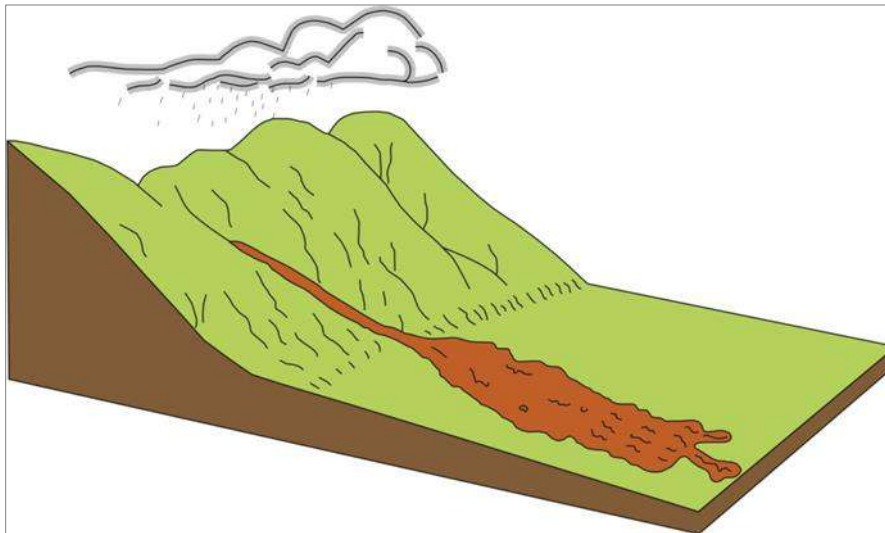


Figura 18: Esquema donde se muestra el depósito que forma un flujo de detritos.

- ***Crecida de detritos:*** Es un flujo muy rápido de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal, usualmente también llamados flujos hiperconcentrados (Hungr *et al.*, 2001). Es difícil distinguir entre un flujo de detritos y una crecida de detritos con base en la concentración de sedimentos, por lo que deben diferenciarse según el caudal pico observado o potencial. Las crecidas de detritos se caracterizan por caudales pico 2 o 3 veces mayores que el de una crecida de agua o inundación. De esta manera, la capacidad de daño de una crecida de detritos es similar a la

de una inundación y los objetos impactados quedan enterrados o rodeados por los detritos, con frecuencia sin sufrir daño. Sin embargo, pueden ocurrir eventos excepcionales por descargas de agua inusualmente altas, tales como las producidas por el rompimiento de presas naturales o artificiales (*outbursts*), la liberación súbita de agua de lagos glaciales (GLOFs) o subglaciales (*jökulhlaups*) (Hungr, 2005). Estos son denominados *aluviones* en el Perú, Chile y Argentina.

Los depósitos de crecidas de detritos están compuestos comúnmente por mezclas de arena gruesa y grava pobremente estratificada. Se diferencian de los depósitos de flujos de detritos en que las gravas que los forman presentan una textura uniformemente gradada sin matriz en todo el depósito e imbricación de clastos y bloques (Pierson, 2005).

- Flujo de lodo: Es un flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos. Su contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (índice de plasticidad mayor al 5 %). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material.

También se distingue de los deslizamientos por flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento por flujo ocurre por licuación *in situ*, sin un incremento significativo del contenido de agua (Hungr *et al.*, 2001). En algunos países de Sudamérica se denomina *flujo o torrente de barro*.

- Flujo de tierra: Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungr *et al.*, 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año. Sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1988). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.

Las velocidades medidas en flujos de tierra, generalmente, están en el intervalo de 10^{-5} a 10^{-8} mm/s y, por tanto, son casi siempre lentos o extremadamente lentos.

- Avalancha de detritos: Es un 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. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos, y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hungr *et al.*, 2001).

Las avalanchas, a diferencia de los deslizamientos, presentan un desarrollo más rápido de la rotura. Según el contenido de agua o por efecto de la pendiente, la totalidad de la masa puede licuarse, al menos en parte, fluir y depositarse mucho más allá del pie de la ladera (Varnes, 1978). Las avalanchas de detritos son morfológicamente similares a las avalanchas de rocas.

- Avalancha de rocas: Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hungr *et al.*, 2001). Pueden ser bastante móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria (figura 19). Algunos depósitos de avalanchas

pueden alcanzar volúmenes del orden de kilómetros cúbicos y desplazarse a grandes distancias. Con frecuencia son confundidos con depósitos morrénicos.

Las avalanchas de rocas pueden ser muy peligrosas, pero afortunadamente no son muy frecuentes, incluso en zonas de alta montaña. Algunas avalanchas de roca represan ríos y pueden crear una amenaza secundaria asociada al rompimiento o colmatación de la presa. Las velocidades pico alcanzadas por las avalanchas de rocas son del orden de 100 m/s y las velocidades medias pueden estar en el rango de 30-40 m/s.

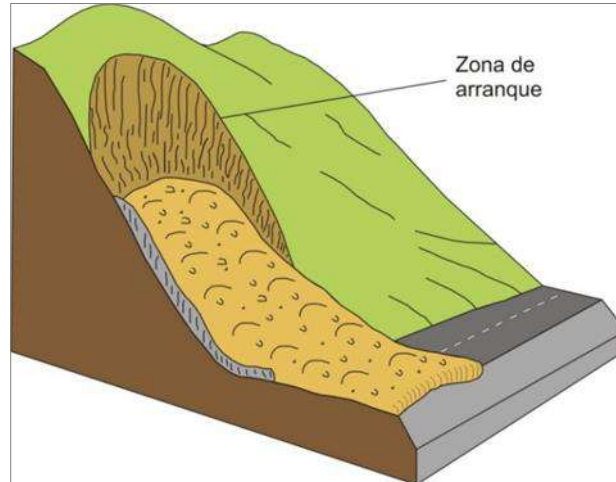


Figura 19: Esquema de una avalancha de rocas.

5.1.4 Reptación

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser estacional cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (figura 20).

Dentro de este movimiento se incluyen la solifluxión y la gelifluxión. Este último término está reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

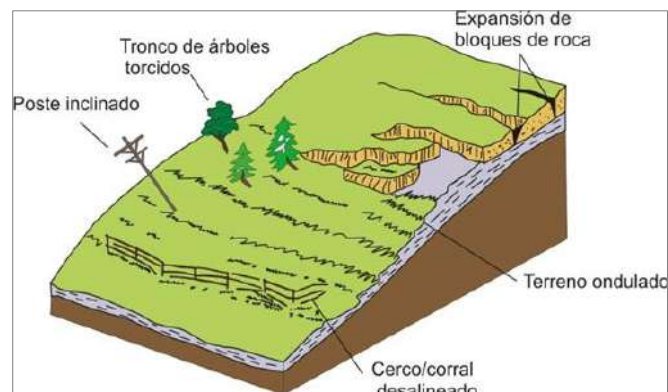


Figura 20: Esquema de una ladera afectada por reptación de suelos.

5.1.5 *Movimiento complejo*

Se produce por la combinación de uno o más de los tipos de movimientos en masa descritos anteriormente. A este tipo de evento que involucra varios tipos de movimientos, se le denomina “Complejo”. Adicionalmente, un tipo de proceso activo puede convertirse en otro, a medida que progresa el fenómeno de desintegración; es así como una inclinación puede terminar en una caída o en un deslizamiento en flujo.

5.2 **Otros peligros geológicos**

Dentro de esta clasificación se agrupan a los procesos que no han sido considerados como movimientos en masa, pero que en su origen y mecanismo de movimiento involucra material geológico, estos son la erosión de laderas, erosión fluvial, hundimiento y arenamiento. En la zona evaluada se identificaron los dos primeros procesos mencionados.

5.2.1 **Erosión de laderas**

Este tipo de movimientos es considerado predecesor de 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 debido a la presencia de agua en forma de lluvias y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo (figura 21). 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 y se generan los procesos de erosión (Duque et al., 2016).

La construcción de muchas obras de ingeniería, así como el asentamiento de centros poblados y la habilitación de muchas zonas como terrenos de cultivo, exige la remoción de la cobertura vegetal y excavaciones del suelo. Estas acciones conllevan a la generación de problemas en laderas y cursos de agua por la generación e incorporación de suelo removido a las corrientes, las cuales pueden alterar ecosistemas naturales y generar problemas de sedimentación.

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia se desarrolla a través de los siguientes procesos:

Saltación pluvial: El impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación ocasiona el arranque y arrastre de suelo fino. El impacto compacta el suelo, disminuye la permeabilidad e incrementa escorrentía.

Escorrimento superficial difuso: Comprende la erosión laminar sobre laderas carentes de coberturas vegetales y afectadas por saltación pluvial, que estimula el escurrimiento del agua arrastrando materiales finos.

Escorrimento superficial concentrado: Se produce en 2 formas: surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños, formados cuando el flujo se hace turbulento y la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos o anastomosados) y cárcavas (son canales o zanjas más profundos y de mayor dimensión, por las que discurre agua durante y poco después de haberse producido una lluvia). El proceso se da en 4 etapas: 1) entallamiento del canal, 2) erosión remontante o retrogresiva desde la base, 3) cicatrización y 4) estabilización (Duque et al., 2016).

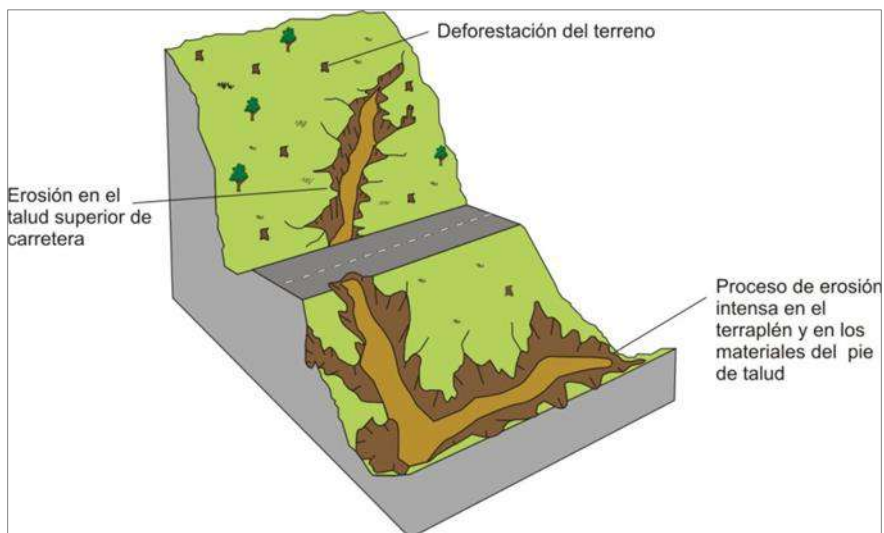


Figura 21: Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

5.2.2 Erosión fluvial

Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos, pues socava los valles, los profundiza, los ensancha y los alarga (Dávila, 1999). Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas lluvias, en las vertientes o quebradas, aumentan el caudal de los ríos principales o secundarios que drenan la cuenca. El aumento de volúmenes de agua y sólidos en los ríos, quebradas secas (provocada por flujos de detritos o huaicos), erosionan su lecho y márgenes, modificando lo que depositó o acumuló en el periodo precedente. Como proceso geohidrológico, normalmente acompaña a las inundaciones y muchas veces es la que antecede a esta. Este proceso desestabiliza los terrenos y condiciona la ocurrencia de los deslizamientos identificados en esta zona.

Se consideran como los factores más importantes que condicionan la ocurrencia de erosión fluvial, a la cobertura vegetal, la geomorfología, la naturaleza de los materiales y el clima.

La energía cinética del agua determina la intensidad de la erosión y depende de la energía potencial, que se debe a la diferencia de altura entre la zona donde discurre y el nivel del mar. La energía cinética no es uniforme a lo largo del curso del río y es mayor en el tramo alto de mayor pendiente y menor en la desembocadura. Ello determina una erosión diferencial que modifica el perfil longitudinal del curso del río, evolucionando hacia un modelo teórico, el denominado perfil de equilibrio, en el que cada punto del mismo recibe por sedimentación la misma cantidad de materiales que pierde por erosión (figura 22)

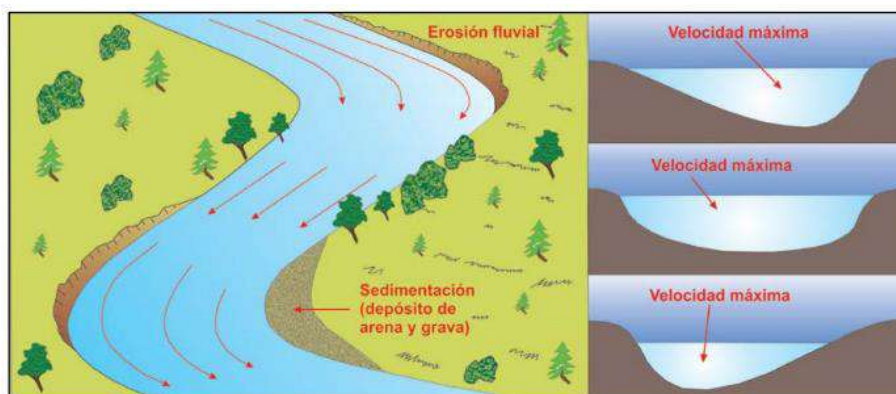


Figura 22: Esquema de erosión fluvial. Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007.

5.3 Peligros geohidrológicos

Dentro de este tipo de peligros se consideran a la inundación fluvial, lagunar y marina. Los procesos se originan en función a la pendiente y morfología del cauce fluvial (terrazas bajas y llanuras de inundación); son generalmente inundaciones de tipo fluvial, asociadas en muchos de los casos a erosión o socavamiento en las riberas o márgenes aluviales (terrazas). En la zona evaluada se identificó el siguiente proceso:

5.3.1 Inundación fluvial

La inundación fluvial se define como el terreno aledaño al cauce de un río, que es cubierto por las aguas después de una creciente (Dávila 2006). Las causas principales de las inundaciones son las lluvias intensas y las condicionantes principales son: las geoformas del terreno (presencia de terrazas bajas, llanuras inundables y forma del cauce), la dinámica fluvial y en algunos casos la deforestación.

Las zonas inundables son aquellas que durante sucesos normales a extraordinarios (lluvias promedio con avenidas estacionales y lluvias intensas con avenidas poco frecuentes) son anegadas o inundadas, siendo estas principalmente adyacentes a los ríos y cursos de aguas, conocida como llanura de inundación.

La llanura de inundación corresponde a aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia. Son, por lo tanto, “propensas a inundación” y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de estas excede un nivel aceptable. Esta se puede considerar desde perspectivas diferentes: como categoría topográfica es plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río; hidrológicamente, definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río. Una combinación de estas tres características cubre los criterios esenciales para definirla (Schmudde, 1968).

Los sectores donde se generan estos procesos son variables; la morfología es un factor fundamental en la determinación de zonas susceptibles. Para identificar las áreas de inundación se utilizan tanto criterios geológicos (tipo de lecho del cauce y márgenes) como hidrológicos (huellas de acontecimientos anteriores ya sea periódicos o excepcionales), geomorfológicos (altura de terrazas, divagación del cauce) y de vegetación (tipo y edad de vegetación presente en las márgenes).

Los desbordes y erosión en los lechos fluviales pueden ser generados también como procesos secundarios a un movimiento en masa tipo huaico, cuando este se canaliza por su lecho, en donde se originan desbordamientos o albardones de material de lodo y agua; como también por el embalse de su cauce por un deslizamiento o derrumbe que lo obstruye de forma natural, siendo en este caso afectado inicialmente aguas arriba (inundación), y posteriormente aguas abajo cuando se rompe el dique (de forma natural o inducida); en este caso se produce gran erosión.

6. MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE MOQUEGUA Y SAMEGUA

El 26 de febrero, al promediar las 14:30 horas, inició una lluvia focalizadas en el distrito de Samegua, ubicado en la provincia de Mariscal Nieto. Esto originó la activación de quebradas y la inundación de las principales vías de esta localidad, principalmente la ciudad de Samegua que fue la más afectada.

Los huaicos y el desborde del río Moquegua originaron que diversos colegios e instituciones de Estado terminen inundados como: el Gobierno Regional y la Municipalidad, así como el Hospital de Moquegua.

En Samegua, gran cantidad de viviendas se inundaron por el ingreso de agua y lodo. El tránsito vehicular fue cortado desde el ovalo del cementerio; ambientes del cuartel Los Ángeles, el instituto José Carlos Mariátegui y la Escuela de la Policía Nacional también fueron afectados. Se activaron todas las torrenceras que cruzan el poblado de Samegua las cuales discurrieron por la avenida Andrés Avelino Cáceres, cortando el tránsito vehicular a la altura del instituto superior tecnológico José Carlos Mariátegui y otro tramo desde el óvalo del cementerio, en la ruta que une Moquegua y Samegua (figura 43).

Los flujos de detritos (huaicos) y lodo son los movimientos en masa con mayor número de ocurrencias identificadas en las localidades de Moquegua, San Antonio, Samegua y sus alrededores (figura 44); así también se identificó los eventos denominados como otros peligros geológicos (erosión de laderas); se considera que estos eventos afectaron, afectan o pueden afectar en un futuro las actividades socio-económicas de la población, así como a sus bienes; en la tabla 7 se presenta una descripción de los eventos identificados dentro del área de estudio.

También se identificó dentro de la zona evaluada, derrumbes y deslizamientos, cuya ocurrencia no afectan directamente a la población, pero que si aportan material suelto hacia los cauces de las quebradas. Es importante tener en cuenta que no todos los eventos descritos en el cuadro se reactivaron con las últimas lluvias ocurridas en la zona.

Tabla 7: Inventario de movimientos en masa identificados en la zona de estudio.

Sector (coordenadas) (código)	Tipo de movimiento en masa (Fecha de Ocurrencia)	Descripción geomorfológica y actividad del evento	Daños
Carretera de acceso a la localidad Los Ángeles (8100773 298098) (Moq-01)	Flujo de detritos (huaico) (26-02-2020)	Las lluvias desencadenaron flujos de detritos que acarrearón material gravo-arenoso con arcilla; flujos erosionaron el suelo y acumularon el material transportado en el cono deyeectivo de la quebrada localizada a la margen derecha del río Tumilaca; la quebrada no tiene un cauce definido de desfogue hacia el río. Se presenta intensa erosión de laderas en las vertientes de la quebrada. El cauce de la quebrada se viene poblando, elevando los niveles de vulnerabilidad por la exposición de bienes y personas que ocupan las viviendas, y por ende aumenta el riesgo (fotografía 8).	Afectó carretera de acceso hacia la localidad Los Ángeles, produjo erosión y socavación en surcos en los bordes de la vía asfaltada, así como también en terrenos de cultivo. Pueden ser afectadas viviendas localizadas dentro del cauce de la quebrada.
Urbanización Country Club Villa (8100724 298286) (Moq-02)	Flujo de detritos	Viviendas ubicadas en el cono deyeectivo de quebrada seca sin nombre y la terraza aluvial de la margen derecha del río Tumilaca. Tramo final de la quebrada ha sido encauzada y cubierto por la construcción de un reservorio de agua, los flujos de agua que discurren por la quebrada son encauzados y desviados por un canal (fotografía 9). Intensa erosión de laderas en toda la cuenca de la quebrada.	La zona puede ser afectada con flujos de detritos de magnitud moderada a grande, procedentes de la activación de la quebrada. Puede comprometer la seguridad física de viviendas de la Residencial Country Club asentadas en la desembocadura de la quebrada y del reservorio construido dentro del cauce de la quebrada.
Quebrada Panteón (Cementerio) (8098591 295659) (Moq-03)	Flujo de detritos (26-02-20)	Para tener un mejor panorama de los procesos ocurridos durante el último evento, se analiza y describe la geodinámica de la quebrada en tramos, denominados como cuenca alta, media y baja. <i>Cuenca alta:</i> Considerada como la zona de mayor recepción de agua de lluvia, donde se produce erosión del suelo y substrato rocoso, formado principalmente por el nivel de conglomerados y areniscas de la formación Moquegua Superior, se observa en las vertientes de la quebrada una intensa erosión en cárcavas y surcos, que depositan los materiales que transportan en forma de conos y piedemontes al pie de las vertientes. En	Afectó viviendas ubicadas dentro del cauce de la quebrada Panteón; se produjo anegamientos entre las viviendas y el dique formado por el terraplén de la carretera de acceso a Samegua. Produjo la colmatación del cauce en la cuenca baja (tramo encauzada de quebrada Panteón).

		<p>este tramo superior de la cuenca de tienen dos tributarios principales, con anchos de cauce de hasta 150 m y depósitos de material gravo-arenoso con bloques, de alta permeabilidad. Se identificaron niveles de terrazas altas en ambas márgenes que aparecen de forma esporádica, estos niveles corresponden a antiguos flujos de detritos que discurrieron por la quebrada. Se desarrollan actividades de extracción de áridos para la construcción en parte de los dos cauces tributarios.</p> <p><u>Cuenca media:</u> Considerada como la zona de transición y transporte de los materiales que acarrear los flujos de detritos. Este tramo de la quebrada tiene un ancho de cauce máximo de 190 m y una longitud de cauce de 1890 m, medidos a partir de la confluencia de los dos tributarios principales, hasta donde se inicia la apertura o formación del abanico proluvial de la quebrada. En este tramo se puede observar tres quebradas tributarias de corto recorrido en la margen izquierda; también torrenteras de corto recorrido que depositan el material que acarrear en forma de abanicos y piedemontes. Se identificó en la margen derecha una terraza aluvial alta y un depósito de flujo antiguo, que alcanza una altura de hasta 15 m. Parte del cauce está siendo antopogenizado; este viene siendo ocupado por trochas, viviendas, depósitos de unidades de transporte y maquinaria pesada; en el cauce se realizan trabajos de extracción de áridos, así también se observa que dos de los tributarios de la margen derecha son utilizadas como botadero de basura y relleno sanitario.</p> <p><u>Cuenca baja:</u> También considerada como la zona de transporte final y acumulación de material acarreado por los flujos de detritos generados en la quebrada Panteón. Este tramo de la quebrada tiene anchos de entre 110 m a 270 m y una longitud total de hasta 2700 m, medidos desde donde se abren los abanicos proluviales de la quebrada y su confluencia en el río Tumilaca. El cauce principal de la quebrada Panteón permanece seco durante largos periodos de tiempo, su régimen es estacional y se presenta de forma extraordinaria; este cauce ha sido impactado por la actividad antrópica a través del tiempo, realizándose en parte de ella trabajos de</p>	<p>Produce socavación de bases de viviendas.</p> <p>Produce el socavamiento de la base del canal de Pasto Bueno que cruza la quebrada Panteón con la caída de agua formada.</p> <p>Parte del flujo de detritos y agua que bajo desde la zona de Samegua se encausó por la quebrada Panteón; otro volumen importante del flujo se encausó por la quebrada</p> <p>Entre los daños causados por los flujos de detritos y agua generados en la localidad de Samegua y que alcanzaron la ciudad de Moquegua, se tiene:</p> <p>Produjo inundación de avenidas y calles, así como su colmatación con material detrítico (arenas, lomos y gravas).</p> <p>Inundación y colmatación con sedimentos de viviendas en la Villa Hospitalaria.</p> <p>Inundo parte de las instalaciones del Hospital Regional de Moquegua y otras viviendas a lo largo de las avenidas Simón Bolívar, los Chirimoyos y Ancash.</p> <p>Inundo sótano del local del Gobierno Regional de Moquegua.</p> <p><u>Reporte de Daños INDECI</u></p>
--	--	--	--

		<p>encauzamiento con muros de gaviones por una longitud de 510 m a lo largo de la avenida El Sol, que estrechan el cauce principal hasta unos 6 m de ancho; el tramo final de la quebrada de aproximadamente 990 m de longitud, que confluye en el río Tumilaca a la altura del puente El Rosal, se encuentra colmatado (con arenas y grava) y está limitado por terrenos de cultivo, pistas y viviendas hacia ambas márgenes. Las viviendas se ubican a escasos 0.50 m del cauce de la quebrada, además se construyeron sobre el cauce de la quebrada, locales de universidad y campos deportivos. Por esta zona también cruza de forma perpendicular al curso de la quebrada el canal de concreto cubierto de Pasto Bueno, este es una suerte de obstáculo que detiene la profundización del cauce de la quebrada agua arriba y forma una caída de agua, produciendo el efecto de erosión de la base del canal.</p> <p>En este tramo de la quebrada se identificaron tres niveles de material proluvial depositados por flujos antiguos que discurrieron por la quebrada; el material proluvial más antiguo y ubicado a mayor altura, se denominó con el número 1, forma un cono propiamente dicho, es posible identificarlo en ambas márgenes de la quebrada; teniendo una mayor superficie en su margen izquierda, donde el abanico se desvía hacia una dirección sur, por tener como obstáculo en su avance al cerro Cruz del Siglo. Sobre este abanico proluvial se ubican viviendas de la localidad de Mariscal Nieto y nacen también quebradas tributarias de la quebrada Sausine. El material proluvial 2, se localiza en la margen izquierda, tiene una longitud de 825 m y un ancho de 120 m. El deposito proluvial 3, forma también una terraza en la margen izquierda de la quebrada Panteón, tiene una longitud de 1900 m y 300 m de ancho. Los depósitos de flujos antiguos están conformados por material gravo-arenosos con limos y bloques. (fotografías 13 a la 21).</p> <p>Los mayores daños ocurridos en la ciudad de Moquegua con las lluvias del 26 de febrero del 2020, fueron causados los flujos de detritos (huaicos) y agua que se originaron en la localidad de Samegua; así, el flujo constituido en un mayor porcentaje por agua y su parte solida conformada por arenas, limo y gravas en menor proporción, que se formaron en las</p>	<p>Samegua: Sectores de Nueva Samegua, Villa Tumbes, Los Angeles; Estadio Maracaná, Pasaje San Antonio, Costa Azul, Ciudad Hermosa, Arenales, Comité 5, La Portada, Pulpito, Mamarosa.</p> <p>Moquegua: Avenidas Andrés A. Cáceres, frente a Electro Sur, Av. 25 de Noviembre, Av. Simón Bolívar, FONAVI I, II y III.</p> <p>Se registraron en estas zonas en total 20 familias damnificadas, 869 familias afectadas, 20 viviendas inhabitables, 868 viviendas afectadas, 5 locales públicos afectados, 11 instituciones educativas afectadas, 4500 m de vía vecinal afectada y 5300 m de vía nacional afectada (INDECI, 2020).</p>
--	--	--	---

		<p>torreteras de Samegua, se encausaron por la Avenida Andrés A. Cáceres (Interoceánica Sur), llegaron hasta el óvalo El Ángel, donde parte del flujo ingresó al cauce de la quebrada Panteón y también bajo por la avenida Circunvalación con dirección hacia el noroeste, para luego encauzarse por las avenidas Simón Bolívar y discurrir paralelo al Malecón Ribereño por las Av. Circunvalación y Los Chirimoyos. La otra fracción del flujo siguió por la Av. Andrés A. Cáceres y a la altura de las oficinas de Electro Sur encontró un cambio positivo en la pendiente, que lo hizo virar al norte e ingresar a unas chacras, desde donde continuó avanzando y tomar las calles de la Villa Hospitalaria, para luego alcanzar también la Av. Simón Bolívar y juntarse con la parte del flujo que bajo por la Av. Circunvalación.</p> <p>El flujo de detritos ya canalizado por la Av. Simón Bolívar recorrió aproximadamente 1.37 km de longitud, ingresando en su recorrido por algunas calles perpendiculares, hasta llegar al Ovalo Mariscal Domingo Nieto, donde nuevamente cambia su dirección de recorrido hacia el norte avanzando por la Avenida Ancash, ingresando nuevamente a calles perpendiculares, para finalmente ingresar al río Tumilaca, por un corte en la defensa ribereña que se encuentra al final de esta avenida; parte del flujo discurrió por la Av. Los Chirimoyos hasta la altura del Poder Judicial y el puente El Rayo ubicado en el Malecón Ribereño (fotografías 22 a la 28).</p>	
Asociación de vivienda recreacional Viacava (8097687 296960) (Moq-04)	Flujo de detritos (26-02-2020)	<p>Quebrada seca tributaria por la margen derecha de la quebrada Panteón, se encuentra limitada al sur por el abanico aluvio-torrencial antiguo; la quebrada fue entallada en rocas volcano-sedimentarias de la Formación Moquegua Superior (conglomerados y areniscas). Ancho de cauce de la quebrada de 50 m, rellena con material gravo-arenoso con limos.</p> <p>El cauce de la quebrada ha sido ocupado con la construcción de viviendas y calles; se arrimó el material del cauce y se formó un dique de tierra transversal al curso de la quebrada.</p> <p>El 26 de febrero a consecuencia de la lluvia extrema ocurrida en la zona, el agua que discurrió por la quebrada se llegó a represar en el dique, este</p>	Flujo de detritos enterró viviendas y vía de acceso a la asociación de vivienda. También afectó locales de diversión nocturna ubicados en la confluencia con la quebrada Panteón.

		<p>elemento posteriormente se rompió y formo un flujo de detritos que alcanzó el cauce de la quebrada Panteón.</p> <p>Se observa en el cauce seco de la quebrada un nivel freático alto, que produce el afloramiento de agua subterráneas en viviendas ubicadas dentro de la quebrada. (fotografía 29)</p>	
<p>Quebrada sin nombre, km 1 de la carretera a Toquepala (afluente por la margen derecha de la quebrada Sausine) (8096145 295677)</p> <p>(Moq-05)</p>	Flujo de detritos	<p>Al sureste de la localidad de Mariscal Nieto, se tiene tres quebradas secas de corto recorrido que confluyen por la margen izquierda formando un solo cauce en uno de los tributarios de la quebrada Sausine. Estas quebradas inician su recorrido en unas colinas de baja altura y continúan disectando aguas abajo el abanico aluvial antiguo de la quebrada Panteón. Los cauces de las torrenteras han sido ocupados por viviendas y terrenos de cultivo; así también el canal Pasto Bueno, cruza la quebrada por medio de una tubería elevada; la carretera de acceso al centro minero de Toquepala, fue construida atravesando la quebrada de forma casi perpendicular, por lo que para nivelar la plataforma de carretera se levantó un terraplén y se colocó un pontón de concreto (fotografía 30).</p> <p>Dentro del cauce seco de la quebrada se observa material principalmente arenoso; y la activación de la misma seria de forma extraordinaria.</p>	<p>Cauce de la quebrada se encontró seco al momento de realizar la evaluación; no se vio ni reportaron daños ocasionados con las lluvias ocurridas el 26 de febrero último en la zona.</p>
<p>Quebrada sin nombre Chen Chen (8096525 295841)</p> <p>(Moq-06)</p>	Flujo de detritos	<p>Quebrada afluente de tributario principal por la margen derecha de la quebrada Sausine, se activa de forma extraordinaria; tiene un ancho de cauce máximo de 140 m, tiene sus nacientes en colinas y lomadas disectadas en rocas volcanico-sedimentarias, continúa cortando terrenos de pendiente baja del abanico proluvial antiguo de la quebrada Panteón. La quebrada está conformada por tres afluentes principales y en sus vertientes se observa intensa erosión de laderas que forma surcos. Tanto el cauce seco de la quebrada, así como las vertientes de la cuenca alta de su afluente principal, presenta intervención antropogénica; se observa la ocupación del cauce con la construcción de viviendas y la carretera que conduce hacia la mina Toquepala. Las vertientes superiores de la quebrada vienen siendo afectada por trabajos de explanación y cortes en las laderas para la construcción de nuevas viviendas; el material removido por esta actividad es arrojado a la ladera, tornándose en un material</p>	<p>No se registraron daños con las lluvias ocurridas el 26 de febrero de 2020. La activación de la quebrada puede afectar viviendas, terrenos de cultivo y carretera</p>

		susceptible de ser erosionado y transportado ladera abajo formando flujos de detritos. (fotografía 31)	
Quebrada sin nombre – Sector Chen Chen (8095465 294456) (Moq-07)	Flujo de detritos	Quebrada seca de régimen estacional, extraordinaria; afluente de la quebrada Sausine por su margen derecha, es el canal principal donde confluyen de las dos quebradas tributarios descritas anteriormente, así como un número importante de torrenteras de corto recorrido que bajan desde la ladera del lado este del cerro Cruz del Siglo. El cauce principal de la quebrada se entalló en el abanico proluvial antiguo de la quebrada Panteón y tiene un ancho máximo de 225 m. La quebrada ha tenido un alto nivel de intervención antropógena, manifestado en la ocupación total del cauce con la construcción de viviendas, pistas y terrenos de cultivo, haciendo que en muchos tramos el cauce de la quebrada no pueda ser reconocido (figura 23).	No se registraron daños con las lluvias ocurridas el 26 de febrero de 2020. La activación de la quebrada puede afectar viviendas, terrenos de cultivo y carretera.
Quebrada sin nombre – Asociación de criadores de porcinos Las Terrazas (8096253 296872) (Moq-08)	Flujo de detritos (2017) (26-02-2020)	Quebrada seca, de régimen estacional y extraordinario, alcanza un ancho de cauce máximo de 130 m; labrada en colinas y lomadas de rocas volcano-sedimentaria. Se observa erosión de laderas intensa en las vertientes de toda la microcuenca, estas acarrear flujos de detritos de volúmenes reducidos, las cuales forman conos con el material que acarrear en su confluencia con la quebrada principal. El cauce actual de la quebrada viene siendo ocupada por viviendas y asociaciones de criadores de porcinos, con lo cual los niveles de vulnerabilidad de la zona han aumentado en los últimos años (fotografía 32).	El flujo de detritos ocurrido el año 2017, produjo la pérdida de animales de corral. Durante el evento del 26 de febrero del 2020, la quebrada seca se activó y solo discurrió caudales de agua poco importantes, sin llegar a producir un flujo de detritos. Flujos de detritos (huaicos) que involucren grandes volúmenes de agua y material sólidos, pueden afectar viviendas, corrales y cultivos ubicados dentro del cauce.
Quebrada sin nombre (8095557 296518) (Moq-09)	Flujo de detritos (26-02-2020)	Quebrada seca de régimen estacional, que se activa de forma extraordinaria; el cauce tiene un ancho máximo de 120 m y presenta material arenoso. La quebrada forma parte de los tributarios que tiene por su margen derecha la quebrada Sausine; los cursos de las quebradas se han entallado en terrenos conformados por rocas volcano-sedimentarias, afectadas por una erosión en surcos intenso; las nacientes de estas quebradas se ubican en la ladera oeste del cerro Gordo.	La activación de la quebrada con flujos de detritos o agua de volúmenes grandes, pueden afectar viviendas y terrenos de cultivo.

		<p>Los cauces de estas quebradas vienen siendo ocupadas por algunas viviendas y terrenos de cultivo.</p> <p>Se han construido diques transversales a la quebrada, conformados por la acumulación del material suelto de la quebrada, con el objetivo de reducir el impacto de flujos de agua y detritos aguas abajo.</p> <p>Las lluvias del 26 de febrero del 2020 produjeron la rotura de los diques transversales (fotografía 33).</p>	
<p>Quebrada sin nombre (8095246 295270) (Moq-10)</p>	<p>Flujo de detritos (26-02-2020)</p>	<p>Quebrada seca de régimen estacional, que se activa de forma extraordinaria, colector principal de los tributarios descritos anteriormente; tiene un ancho de cauce máximo de 220 m y discurre principalmente por terrenos de pendiente baja, conformados por el abanico aluvial antiguo de la quebrada Panteón.</p> <p>Dentro del cauce de la quebrada se ubican cultivos, el canal Pasto Bueno y la carretera que conduce hacia el centro minero de Toquepala, cruzan de forma perpendicular la quebrada.</p> <p>La construcción de la carretera se realizó rellenando la quebrada con la construcción de un terraplén y se dejó un pontón para permitir el paso de los flujos de detritos; esta construcción estrecho el cauce de la quebrada.</p> <p>Los últimos flujos de detritos que discurrieron por la quebrada estaban conformados principalmente por arena y grava (fotografía 34).</p>	<p>No se reportaron daños con la última activación de la quebrada.</p> <p>Una activación que acarree grandes volúmenes de agua y sólidos puede afectar terrenos de cultivo, la carretera de acceso a la mina Toquepala y canal Pasto Bueno.</p>
<p>Quebrada Sausine (8095762 291415) (Moq-11)</p>	<p>Flujo de detritos (verano del 2017 15-02-2020)</p>	<p>Quebrada seca de régimen estacional y extraordinario, de mayor longitud ubicada dentro de la zona de estudio, cuyo curso se encuentra entallado en rocas volcánico-sedimentarias y limita el extremo noroeste de la altiplanicie volcánico-sedimentaria, desde donde bajan y se depositan grandes piedemontes en la margen izquierda de la quebrada.</p> <p>La quebrada presenta en sus vertientes erosión de laderas intensa a manera de surcos y cárcavas; su cauce alcanza un ancho de cauce máximo de hasta 820 m; en su tramo final, la quebrada se abre en dos brazos con los que confluye al valle del río Moquegua en los sectores de Montalvo y La Condesa.</p> <p>La quebrada presenta un alto nivel de impacto antropogénico, dentro del cauce se desarrollan terrenos de cultivo, se han construido viviendas y se</p>	<p>Flujo de detritos del año 2017 afectó terrenos de cultivo y una vivienda en el sector de Montalvo.</p> <p>Flujo de detritos del 15 de febrero afectó terrenos de cultivo ubicados dentro del cauce.</p> <p>La activación de la quebrada, que comprometa grandes volúmenes de material pueden afectar viviendas, terrenos de cultivo, el tramo de carretera que conduce hacia la mina Toquepala, así como otras vías que</p>

		<p>tiene el canal Pasto Bueno, así como varias carreteras y trochas que cruzan la quebrada.</p> <p>En el sector de Montalvo se viene depositando material de desmonte en el cauce de la quebrada, produciendo efectos de estrechamiento del cauce (fotografía 35 y 36).</p>	<p>cruzan la quebrada y el canal Pasto Bueno.</p>
<p>Quebrada San Antonio (8092668 289734) (Moq-12)</p>	<p>Flujo de detritos</p>	<p>Quebrada seca que se activa de forma extraordinaria; sus nacientes se localizan en los acantilados formados en el extremo noroeste de la altiplanicie volcano-sedimentaria. La actividad geodinámica de la zona se manifiesta en los piedemontes formados al pie del acantilado, y desde donde bajan sus tributarios, que de por cierto solo se ubican en la margen izquierda de la quebrada.</p> <p>La quebrada tiene un ancho de cauce máximo de 300 m, el cual se reduce a 110 m, en su desembocadura en el valle del río Moquegua en el sector denominado Zapata.</p> <p>En el cauce de la quebrada se tiene material gravo-arenoso; y dentro de este se tiene unos 1100 m de la carretera de acceso hacia la mina de Toquepala; también se ubican algunas viviendas, avícolas y terrenos de cultivo (fotografía 34).</p>	<p>Flujo de detritos con grandes volúmenes pueden afectar terrenos, viviendas y tramo de carretera que se encuentran dentro del cauce de la quebrada.</p>
<p>Centro urbano de Moquegua (8097597 294501) (Moq-13)</p>	<p>Flujo de detritos</p>	<p>En la ladera noroeste del cerro Cruz del Siglo, modelado en rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias, se encuentra asentada la ciudad de Moquegua, que ante la ocurrencia de lluvias extraordinarias, se puede concentrar escorrentía superficial, así también se saturan los suelos de la parte alta del cerro, hasta generar flujos de detritos y agua, que se encausarán por las calles de la ciudad hasta alcanzar las terrazas del río Tumilaca (figuras 24 y 25).</p>	<p>Los niveles de afectación en viviendas, pistas y la población de la ciudad de Moquegua, estará relacionado a los volúmenes de material y agua acarreado por los flujos de detritos que se formen en la zona.</p>
<p>San Antonio (8096681 293890) (Moq-14)</p>	<p>Flujo de detritos</p>	<p>Ladera oeste del cerro Cruz del Siglo, es cortada por varias torrenteras de corto recorrido, las cuales han sufrido modificación en sus cursos por medio de trabajos de explanación, estrechamiento o la construcción de viviendas de la localidad de San Antonio.</p> <p>La ocurrencia de lluvias extraordinarias pueden generar flujos de detritos y agua, que acarrearía material detrítico de la parte alta del cerro hacia la zona poblada (figuras 26 y 27).</p>	<p>El nivel de daños estará relacionado directamente a la formación de escorrentía superficial; pudiendo ser afectados viviendas, vías y la población.</p>

<p>Tributario de la quebrada Panteón (8097582 300743) (Moq-15)</p>	<p>Derrumbe</p>	<p>Evento ubicado en tributario de la cuenca alta de la quebrada Panteón, en la margen izquierda; compromete un substrato de rocas volcano-sedimentarias de la Formación Moquegua Superior; la zona de arranque tiene forma irregular y tiene una superficie de 10 988 m², el material removido se acumula al pie del derrumbe formando un piedemonte. La caída de volúmenes importantes de material hacia el cauce de la quebrada pueden obstruir el flujo de agua (figura 28).</p>	<p>No produce afectación directa sobre población o alguna infraestructura dentro de la zona evaluada; pero si aporta material suelto a la quebrada que puede ser removido con la generación de flujos de detritos.</p>
<p>Tributario de la quebrada Panteón (8097169 301252) (Moq-16)</p>	<p>Derrumbe</p>	<p>Zona de derrumbes ubicado en la cuenca alta y hacia ambas márgenes de un curso tributario de la quebrada Panteón; la zona de arranque es irregular, compromete secuencias de rocas volcano-sedimentarias de la Formación Moquegua Superior, conformada por niveles de conglomerados y areniscas poco consolidadas. La zona de derrumbe ocupa una superficie de 132 374 m²; los materiales caídos se depositan al pie de las zonas de arranque y el cauce de la quebrada, estos materiales pueden ser movilizados como la carga solida de un flujo de detritos (figura 29).</p>	<p>La actividad del derrumbe no afata directamente a la zona evaluada, pero si aporta material suelto q posteriormente será acarreado como flujo; también el material colapsado puede represar la quebrada.</p>
<p>Pampa de Jaguay Margen izquierda quebrada Sausine (8093684 299276) (Moq-17)</p>	<p>Deslizamiento rotacional</p>	<p>Deslizamiento ubicado en la margen izquierda de la quebrada Sausine, forma parte del límite escarpado de la altiplanicie volcano-sedimentaria. El evento tiene una escarpa de forma irregular-alargada, con una longitud de 2230 m y salto principal de aproximadamente 120 m; compromete secuencias de rocas volcánico-sedimentarias de las formaciones Moquegua Superior y Millo. El área del deslizamiento que se encuentra dentro de la zona de estudio es de 2 285 955 m². El cuerpo del deslizamiento se encuentra disectado por cárcavas, desde donde bajan flujos de detritos, que se acumulan en el cauce de la quebrada Sausine. También se puede observar la acumulación de material suelto a manera de piedemontes en la escarpa principal del deslizamiento. (figura 30)</p>	<p>No se han registrado daños; sin embargo, una reactivación importante del deslizamiento puede represar la quebrada Sausine y posteriormente generar flujo de detritos con fuertes lluvias. Se produce la pérdida de terrenos en la altiplanicie, esta puede comprometer la seguridad física de la carretera construida en la Pampa Jaguay a escasos metros de la escarpa del deslizamiento y el acantilado. El avance retrogresivo del deslizamiento puede afectar las viviendas asentadas en la altiplanicie, cerca de la escarpa principal del deslizamiento.</p>

<p>Pampa de Jaguay Margen izquierda quebrada Sausine (8094899 302359) (Moq-18)</p>	<p>Deslizamiento rotacional</p>	<p>Deslizamiento rotacional en formación en el sector de Pampa Jaguay, borde noroeste de la altiplanicie volcano-sedimentaria; se observa la formación de agrietamientos paralelos al acantilado, que producen el asentamiento de terreno hacia la quebrada. El colapso del terreno, así como el avance retrogresivo del deslizamiento, pueden causar el represamiento de la quebrada Sausine. La grieta más próxima a la carreta se encuentra a 15 m de distancia. El área del deslizamiento rotacional en formación que se encuentra dentro del área de estudio es de 264 553 m² (entendiéndose que el área afectada es mayor) (figura 31).</p>	<p>El colapso de material puede represar la quebrada y consecuentemente generar flujos de detritos en el futuro si se presentan lluvias fuertes. El avance retrogresivo del deslizamiento en formación puede afectar la carretera trazada en la Pampa Jaguay.</p>
<p>Calle La Portada de la Asociación Prolongación (8099758-298459) (Moq-19)</p>	<p>Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas</p>	<p>Las intensas lluvias del día 26 de febrero generaron huaicos que acarrearón material areno-gravoso con arcilla producto de la intensa erosión que presenta la zona. El flujo de detrito o huaico se discurrió por la calle Portada alcanzando una altura de 0.4 m hasta la Av. Andrés Avelino Cáceres (fotografía 38). Las viviendas se encuentran asentadas sobre una vertiente o piedemonte aluvio-torrencial. Se presenta intensa erosión de laderas (cárcavas y surcos) en las vertientes de las quebradas secas.</p>	<p>Afectó viviendas de la localidad de Samegua, erosión de pista asfaltada, colapso de las redes de desagüe, pérdida de redes de agua potable, inundación de calles La Portada y D.</p>
<p>Mirador Cristo Blanco, Asociación 10 de Mayo y 5 de Febrero (8099626-298299) (Moq-20)</p>	<p>Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas</p>	<p>Laderas inestables en colinas y lomadas disectadas en roca volcano-sedimentaria de la Formación Moquegua, debido a las fuertes lluvias se generaron huaicos que discurrieron a través de las cárcavas y surcos de las laderas inestables del mirador (fotografía 39). En estas laderas se colocaron pircas a manera de andenes, lo cual fue insuficiente, con las lluvias se lavaron las bases de estas pircas desprendiéndose los bloques que rodaron ladera abajo afectando las viviendas que se encontraba en su curso.</p>	<p>Dstrucción de viviendas (fotografía 40), erosión de pista asfaltada en la calle Sinchi Roca, colapso del sistema de desagüe, pérdida de redes de agua potable. Colapso de las pircas que se encontraban en las laderas del mirador Cristo Blanco.</p>
<p>Pasaje San Antonio (Asociación Sumac Wasi) (8099403-298675)</p>	<p>Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas</p>	<p>Debido a la intensa lluvia del 26 de febrero se generaron huaicos que descendieron de quebrada seca sin nombre, así como de las cárcavas de la margen izquierda de la quebrada afectando a viviendas de la Asociación de Vivienda Sumac Wasi que se encontraban pegadas al talud inestable removiendo material poco consolidado (conglomerados de la Formación Moquegua), así como viviendas que se encontraban en el mismo cauce de la quebrada (fotografías 41 y 42) y aguas abajo de la Asociación San</p>	<p>Esta zona fue una de las más afectadas. Afectó viviendas de la calle Los Incas, Los Ángeles, Porvenir, pasaje San Antonio y Av. Andrés A. Cáceres (fotografía 43), socavación de plataforma de pista asfaltada,</p>

(Moq-21)		Antonio II, a manera de flujos de lodo aprovechó las pendientes de las calles Los Ángeles, Porvenir y el pasaje San Antonio hasta la Av. Andrés Avelino Cáceres.	colapso del sistema de desagüe, pérdida de redes de agua potable.
Tahuantinsuyo, prolongación Estadio (Comité Nueve) (8099312-298421) (Moq-22)	Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas	Huaico en quebrada sin nombre, el estadio Maracaná se encuentra en pleno cauce de la quebrada sin desfogue. Afectó las viviendas de la calle Tahuantinsuyo, el flujo alcanzó alturas de hasta 1 m (fotografías 44, 45 y 46). Se colocó bolsas terreras. Discurrió por la calle Tahuantinsuyo (sin asfaltar), pasaje 28 de Julio, Los Incas hasta la Av. Andrés A. Cáceres, socavando las veredas. Presenta intensa erosión en cárcavas y surcos en la vertiente de la quebrada sin nombre por donde también discurrieron huaicos.	Afectó viviendas de las calles Tahuantinsuyo, San Pedro (figura 32), colapso de redes de desagüe y agua potable.
Asociación de Vivienda Biohuerto (Nueva Samegua) (8100016-299206) (Moq-23)	Caída de rocas	Caída de rocas en laderas de la vertiente de la margen derecha de la quebrada Tucuman, en alternancia de tobas y conglomerados, a manera de canchales suspendidos en la ladera de colinas (fotografía 47).	Puede afectar viviendas de la Asociación de vivienda Biohuerto.
Asociación de Vivienda Biohuerto (Nueva Samegua) (8099911-299046) (Moq-24)	Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas	El poblado Nuevo Samegua se encuentra sobre una vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, en ambos márgenes de la quebrada Tucuman presenta intensa erosión en cárcavas y surcos. Viviendas y terrenos de cultivo se encuentran en pleno cauce (fotografías 48 y 49).	Afecta viviendas y terrenos de cultivo de la Asociación de Vivienda Biohuerto-Nueva Samegua; así como un tramo de trocha carrozable.
Calle Puerto Rico, Villa Tumbes	Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas	Debido a las intensas lluvias del 26 de febrero se generaron huaicos que discurrieron por la calle Puerto Rico de la Asociación Alto Solar, las viviendas de esta asociación se encuentran sobre una vertiente o piedemonte aluvio-torrencial que fue rellenada para asentarse las	Afecta viviendas de la Asociación Alto Solar, así como colapso de redes de agua potable y desagüe.

<p>(Asociación Alto Solar) (8098870-298905) (Moq-25)</p>		<p>viviendas. A la derecha de la quebrada se encuentran otras quebradas tributarias donde se ubican unas chancherías (fotografía 50). La cabecera de la quebrada presenta intensa erosión de laderas en cárcavas y surcos debido al material inconsolidado (conglomerados de la Formación Moquegua).</p>	
<p>Calle Los Ángeles-Túpac Yupanqui (8099038-298146) (Moq-26)</p>	<p>Flujo de detritos y lodos (1975, 2012, 2015, 2019, 26/02/2020), Erosión de laderas</p>	<p>Huaico muy recurrente en quebrada seca sin nombre. En ambas vertientes de la quebrada presenta intensa erosión en cárcavas y surcos. En el año 2015 las lluvias intensas abrieron zanjas con profundidad de 1.10 m hasta dejar descubiertas las tuberías de agua y desagüe, así como el daño de las viviendas del pasaje Los Ángeles. Según el testimonio de los pobladores del pasaje, mencionaron que los huaicos en la zona son muy recurrentes, por lo que en el año 2016 solicitaron audiencia al alcalde para ver el tema del drenaje pluvial en los sectores mencionados. El 26 de febrero por las lluvias extraordinarias, el pasaje Los Ángeles fue afectado nuevamente, debido a un muro de propiedad del Ministerio de Defensa (Cuartel Los Ángeles) que cruza la quebrada sin ningún desfogue, que en época de lluvia produce anegamientos. Fue necesario abrir un forado en la parte inferior del muro para que el flujo siguiera su curso, debido a la energía de este flujo, se socavó el suelo y las veredas del pasaje Los Ángeles, llegando a realizar una zanja hasta el nivel de las redes de agua potable y desagüe dejándolas al descubierto (figuras 33 y 34, fotografía 51). El flujo continuó su recorrido por las calles Micaela Bastidas y Túpac Yupanqui del distrito de Samegua. El huaico alcanzó 1 m de altura afectando directamente a las viviendas del pasaje Los Ángeles, las intersecciones de las calles Pachacútec, Manco Cápac con la calle Túpac Yupanqui. Discurrió a lo largo de la calle Tupac Yupanqui hasta la Av. Andrés A. Cáceres donde afectó algunas viviendas y salió por el lote D-26 pasaje Túpac Yupanqui hasta la calle Antigua Samegua, donde alcanzó 1 m de altura, en esta calle socavó veredas y calle asfaltada</p>	<p>Afectó viviendas del pasaje Los Ángeles, calle Micaela Bastidas, Túpac Yupanqui, Pachacútec, Manco Cápac, Av. Andrés A. Cáceres, Antigua Samegua y pasaje Petaca. Enterró canal de riego sin revestimiento, veredas, carpeta asfáltica, redes de agua y desagüe.</p>

		siguiendo por el pasaje Petaca donde afectó un canal de riego (fotografías 52, 53, 54, 55 y figura 35).	
Calle Mayta Cápac, Villa Militar del Ministerio de Defensa (8099044-297797) (Moq-27)	Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas	Huaico cruzó la Villa Militar e instalaciones del cuartel Los Ángeles, el cual se encuentra ubicado en pleno cauce de quebrada seca sin nombre, discurriendo por medio de las instalaciones, debido a la fuerza de su recorrido socavó base de muro perimétrico del cuartel de 212 m de longitud hasta que colapsó una parte del muro (figura 36). El flujo discurrió por la calle Mayta Cápac para luego seguir por la Av. Andrés A. Cáceres socavando las bases de otro muro perimétrico del cuartel Los Ángeles hasta producir el colapso de una parte (figura 37).	Destruyó muros perimétricos del Cuartel Los Ángeles, Instituto Superior José Carlos Mariategui, veredas de la calle Mayta Cápac.
Calle Adelaida Bolívar, calle Arenales (Asociación Alto Vallecito) (8098279-297694) (Moq-28)	Flujo de detritos y lodos (26/02/2020) Erosión de laderas	Piedemonte aluvial de 142 m de ancho con material colmatado en el cauce de quebrada seca sin nombre donde se asienta viviendas precarias de la Asociación Alto Vallecito (figura 38), en la cabecera de la quebrada presenta intensa erosión de ladera en cárcavas y surcos. Aguas abajo, en el cauce antiguo de la quebrada se encuentra el local del Ministerio Público, Defensoría de la Nación, la Asociación El Mirador de Los Cerrillos y la escuela de la PNP. El flujo que discurrió el 26/02/2020 por la calle Arenales hasta la Av. Andrés A. Cáceres afectó principalmente las instalaciones de la PNP y Ministerio Público (figura 39). En el Km 11 de la Av. Andrés A. Cáceres se perdió parte de la carpeta asfáltica (fotografía 56) y colapsaron muros; el flujo alcanzó una altura de 0.40 a 0.50 m de altura frente al E.P Moquegua. Socavamiento de cuneta y un tramo de 275 m de carpeta asfáltica frente a la Junta de Usuarios Moquegua en ambos lados de la Av. Andrés A. Cáceres (fotografía 57 y 58).	Se perdió parte de la carpeta asfáltica de ambos lados de la Av. Andrés A. Cáceres; así como el colapso de muros. Afectó buzones de desagüe y tubería de agua potable. Así como viviendas de la Av. Adelaida Bolívar, Arenales, Inmaculada y Andrés A. Cáceres, instalaciones de la escuela de la PNP y Ministerio Público.
Asociación de vivienda Ciudad Hermosa, Asociación Los Cipreces	Flujo de detritos y lodos (2014, 26/02/2020) Erosión de laderas	Debido a intensas lluvias del 26/02/2020 discurrieron por todas las vertientes de la quebrada Cerrillos. La carretera Binacional corta estas quebradas secas. Para mitigar el efecto de estos huaicos se ha colocado alcantarillas en los sectores Alto Cerrillos y Bajo Cerrillos, los cuales resultan insuficientes para dejar pasar los flujos de agua y detritos que discurren por ellas. De acuerdo a los trabajos de campo se observaron	Afectó viviendas de la Asociación de vivienda Ciudad Hermosa, Pasto Grande, canal, 3 has de terrenos de cultivo y muro perimétrico del Fundo Alto de Los Ribero, carpeta asfáltica de la Av. Andrés A. Cáceres.

<p>(8098256-296690)</p> <p>(Moq-29)</p>		<p>viviendas de la Asociación de vivienda Ciudad Hermosa que se encuentran en el cauce de la quebrada, además presenta intensa erosión en cárcavas y surcos en ambas vertientes de la quebrada (fotografía 59). Aguas abajo, el huaico discurrió aprovechando la pendiente de las calles, de acuerdo al testimonio de los pobladores, este fue desviado para evitar la afectación de más viviendas hacia el Fundo de Los Ribero donde se enterró el canal de riego y terrenos de cultivo; debido al empuje del huaico colapso el muro perimétrico en la Av. Andrés A. Cáceres (figura 40). Para luego seguir por la Av. Andrés A. Cáceres, donde se perdió 28 m de vereda, carpeta asfáltica y tuberías de agua (fotografía 60).</p>	
---	--	--	--

7. EROSIÓN DE LADERAS EN MOQUEGUA Y SAMEGUA

La zona evaluada presenta un clima árido, que contrasta con la intensa erosión de suelos observada; este es el peligro de mayor persistencia y que ocupa grandes áreas; la erosión se produce en sus tres formas, laminar, surcos y cárcavas; son resultado de un intenso proceso denudativo sufrido en la zona, donde se tiene como resultado la formación de colinas disectadas y la acumulación de piedemontes de gran dimensión y espesor con los materiales resultantes de la erosión.

En el sector de Samegua se tienen varias quebradas de corto recorrido, cuyas vertientes presentan numerosos surcos, por donde se concentra la precipitación y la escorrentía formada remueve clastos y material fino del substrato; el proceso se repite en las nacientes y cuenca media de las quebradas Panteón, Saucine y San Antonio, donde también es posible observar surcos y cárcavas que aportan material suelto a los cauces principales y forman piedemontes deluviales (figura 45).

Al observar que en la zona se tiene un proceso de erosión de laderas intenso, asociada a la formación de grandes piedemontes, es evidencia de que la zona estuvo sujeta a periodos de lluvias extremas a lo largo del tiempo geológico, por lo que se puede presumir que se seguirán produciendo estos episodios de lluvias extremas en el futuro, con la consecuente continuidad de los procesos de erosión de suelos y la generación de flujos de detritos asociados.

8. EROSIÓN E INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL VALLE DEL RÍO TUMILACA

En este acápite se describen los procesos de erosión fluvial identificados a lo largo del valle del río Tumulaca, en el tramo comprendido entre Samegua y la ciudad de Moquegua (figura 43); se tiene que tener en cuenta que este proceso se encuentra asociado algunas veces a desbordes que producen inundaciones. En la tabla 8 se presentan las zonas afectadas por procesos de erosión fluvial.

Tabla 8: Inventario de zonas afectadas por inundación y erosión fluvial en la zona de estudio.

Sector (coordenadas)	Tipo de movimiento en masa (Fecha de Ocurrencia)	Descripción geomorfológica y actividad del evento	Daños
Malecón Ribereño - Río Tumilaca (8099130 295159) (Moq-30)	Erosión fluvial (años 1997, 2015, 2016, 2019 y 2020)	Valle del río Tumilaca, presenta geoformas de terraza media, llanura inundable y cauce principal de 45 m de ancho, presenta material gravo-arenoso y bolos; el río fue encauzado con muros de arrimado de material y enrocados. La subida del caudal del río produjo erosión en sus márgenes en una longitud de 310, destruyendo parte del muro de encauzamiento, los bloques de roca colocados como protección fueron removidos y el arrimado de material fue erosionado (fotografía 61).	Los daños en la margen izquierda fueron más intensos, llegó a afectar la vereda del Malecón Ribereño. Pérdida de terrenos de cultivo
Malecón Ribereño - Río Tumilaca (8098917 294496) (Moq-31)	Erosión fluvial (años 1997, 2015, 2016, 2019 y 2020)	Erosión fluvial en ambas márgenes del río Tumilca; el valle presenta una extensa llanura de inundación en la margen derecha y terrazas media hacia ambas márgenes. Se realizaron trabajos de encauzamiento del río que consistieron en la conformación de un muro hacia ambas márgenes con el arrimado de material fluvial, cubierto con un enrocado en la cara interior del muro. El aumento del caudal del río erosionó la defensa riverense a partir de puente vehicular y produjo el ensanchamiento del cauce activo del río (fotografías 62 y 63).	Destruyó parte de la defensa riverense; así como 30 m de vereda del Malecón Ribereño en la margen izquierda. Produjo la pérdida de terrenos de mercado y tubería de desagüe en la margen derecha.
Malecón Ribereño - Río Tumilaca (8098765 293817) (Moq-32)	Erosión fluvial (años 1997, 2015, 2016, 2019 y 2020)	Valle amplio del río Tumilca, con geoformas de llanura inundable y terrazas bajas; el cauce tiene un ancho máximo de 62 m, con material gravo-arenoso y bolos. Las lluvias intensas que se presentaron en la cuenca alta del río, generaron grandes caudales, que erosionaron las defensas riverenses de ambas márgenes, conformadas por muros de arrimado de material fluvial y enrocados en la cara interna del muro, así como de las terrazas aluviales. La erosión fluvial inicia a la altura del local del Gobierno regional de Moquegua y se extiende hasta 25 m aguas abajo del puente El Rayo. Aguas debajo de este punto se pueden producir desbordes e inundaciones. (fotografía 64)	Pérdida de defensa riverense en un tramo de 1025 m aproximadamente, erosión de terrenos de cultivo localizados en la terraza aluvial, principalmente en margen derecha. Produjo la destrucción de la vereda de la vía Malecón Ribereño. Afecto local del Poder Judicial.

<p>Malecón ribereño-Puente Tucumán (8100202-298239) (Moq-33)</p>	<p>Erosión fluvial (años 1997, 2015, 2016, 2019 y 2020)</p>	<p>El cauce principal del río Tumilaca es de 45 a 51 m de ancho con presencia de terrazas en ambas márgenes las cuales son ocupadas por terrenos de cultivo, para mitigar los efectos de este proceso, el río fue encauzado con muros de enrocados. En el año 2015, el incremento del caudal del río Tumilaca produjo erosión en ambas márgenes en una longitud de 310 m, destruyendo parte del muro de encauzamiento, los bloques de roca colocados como protección fueron removidos y el arrimado de material fue erosionado (figuras 41 y 42, fotografía 65).</p>	<p>Los daños en la margen izquierda fueron más severos, en el 2015, se llevó un tramo de la plataforma del Malecón ribereño cerca del puente Tucumán (53 m), callejón San Juan. Así como la pérdida de terrenos de cultivo.</p>
<p>Malecón El Pedregal (8099525-296339) (Moq-34)</p>	<p>Erosión fluvial (años 1997, 2015, 2016, 2019 y 2020)</p>	<p>En el año 2015, el incremento del caudal del río Tumilaca produjo erosión en la margen izquierda del río, destruyendo parte del muro de enrocado de encauzamiento y 186 m de carpeta asfáltica del Malecón El Pedregal en el km 2+060 (fotografías 66 y 67).</p>	<p>Se perdió 186 m de enrocado y carpeta asfáltica del malecón El Pedregal.</p>



Fotografía 11: Vista con dirección al suroeste donde se puede observar el material gravo-arenoso acarreado por el flujo de detritos que bajo por quebrada seca; la carretera de acceso a la localidad Los Ángeles, fue socavada en sus extremos y en parte cubierta por material detrítico; también se afectaron terrenos de cultivo ubicados entre del cauce de la quebrada.



Fotografía 12: Vista aguas abajo en dirección al sur, se observa el reservorio de agua construido en el cauce de la quebrada; en el cono deluvial de la quebrada se asienta la Urbanización Country Club Villa.



Fotografía 13: Vista con dirección al sur de uno de los tributarios de la quebrada Panteón en su cuenca media; es posible observar las huellas dejadas por el flujo de detritos (huaico) del 26 de febrero del 2020; el flujo no ocupó todo el cauce de la quebrada, pero los brazos formados afecto viviendas.



Fotografía 14: Vista con dirección al norte, se puede observar el cauce de la quebrada Panteón en la cuenca media, ocupada por viviendas y otras infraestructuras; es posible ver en color crema claro la zona afectada por el flujo de detritos del 26 de febrero del 2020.



Fotografía 15: Vista con dirección al noreste, se puede observar el paso de la pista de acceso hacia la localidad de Samegua por medio de alcantarillas y terraplenes; es posible observar el anegamiento de agua formado entre el terraplén y las construcciones de ladrillos realizada dentro del cauce (color naranja).



Fotografía 16: Vista con dirección al noroeste, se inicia el tramo encausado con gaviones de la quebrada Panteón, a la altura de la Universidad Privada; se colocó un muro de ladrillos transversal a la quebrada y un portón de metal, que fueron destruidos por los flujos de detritos que bajan por la quebrada.



Fotografía 17: Vista con dirección al noroeste, se observa el cauce antropizado de la quebrada Panteón con muros de concreto y la construcción de viviendas; el cauce aparece colmatado con material gravo-arenoso; también se arroja basura en la zona.



Fotografía 18: Vista aguas arriba de la quebrada Panteón en dirección al sureste, se observa que las viviendas se encuentran dentro del cauce de la quebrada, el cual no está definido; también se observa los efectos de socavamiento en la margen izquierda que puede afectar pared de concreto.



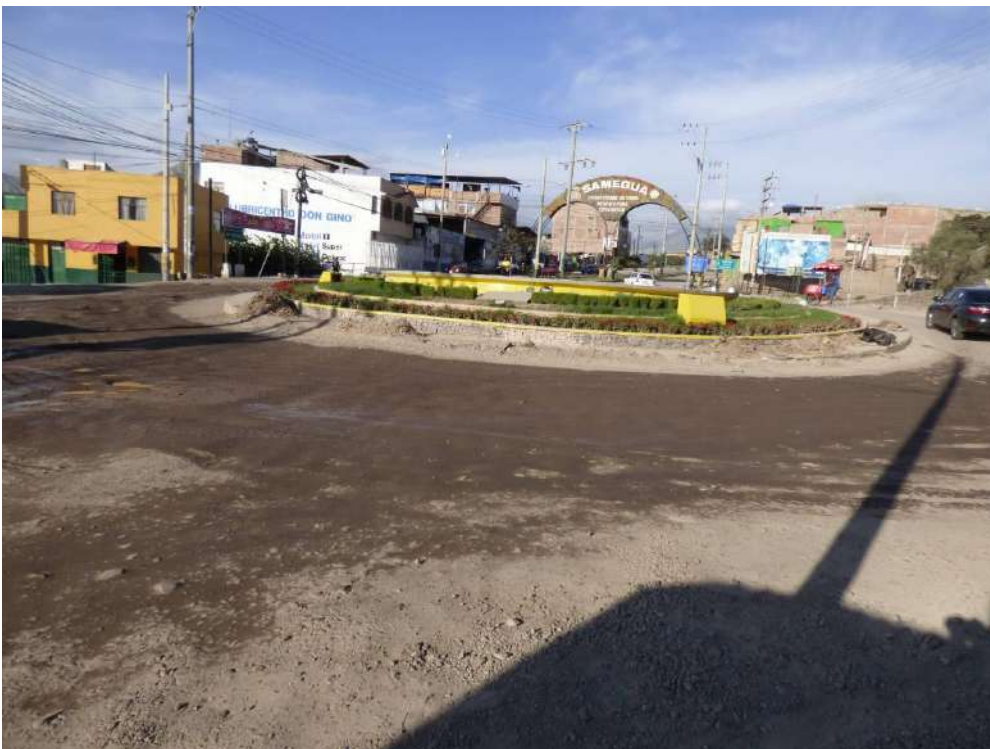
Fotografía 19: Vista con dirección al noroeste, se observa el cauce colmatado de la quebrada con material gravo arenoso, la ubicación de viviendas y la vía de evitamiento en la margen izquierda de la quebrada, muy cerca del cauce; se observa también el flujo de agua que discurre, conformado principalmente por aguas servidas y de riego.



Fotografía 20: Vista aguas arriba de la quebrada Panteón con dirección al sureste, se observa el material detrítico gravo-arenoso acarreado por la quebrada, parte de este material ha sido arrimado hacia ambas márgenes del curso de la quebrada como defensas ribereñas, otro tramo del cauce de la quebrada se ha encauzado con bloques de concreto.



Fotografía 21: Vista aguas abajo con dirección al noroeste, se puede observar el tramo final del cauce actual de la quebrada Panteón, la cual antes de confluir al río Tumilaca atraviesa el puente El Rosal.



Fotografía 22: Vista con dirección al este, se puede observar el ovalo El Ángel y el arco de ingreso a la localidad de Samegua colocado en la Av. Andrés A. Cáceres (Interoceánica Sur), por donde ingreso el flujo de detritos a la ciudad de Moquegua; en la imagen es posible observar el material areno-limoso húmedo.



Fotografía 23: Vista con dirección al noreste, se puede observar vivienda afectada en la Av. Andrés A. Cáceres y el material areno-limoso dejado por el flujo.



Fotografía 24: Vista con dirección al norte, se observa las chacras por donde avanzó el flujo de detritos después de encontrar una pendiente positiva a la altura de Electro Sur en la A. Andrés A. Cáceres.



Fotografía 25: Vista con dirección al norte, es posible observar las marcas en el terreno del flujo conformado principalmente por agua y material fino (arena y limo), en el sector de Villa Hospitalaria al frente del Hospital Regional de Moquegua.



Fotografía 26: Villa Hospitalaria, es posible ver parte del material dejado por el flujo, así como las defensas con sacos térreos colocados en las viviendas para evitar el ingreso del agua y material sólido.



Fotografía 27: Hospital Regional de Moquegua, se puede observar los sacos térreos colocados para evitar el ingreso de agua y material sólido. También es posible ver restos del material acarreado por el flujo, conformado principalmente por arenas y limos.



Fotografía 28: Edificio ubicado en el cruce de las avenidas Simón Bolívar y Amazonas que fue afectado por el flujo de detritos y agua; el flujo alcanzo una altura de 1 m por encima del suelo.



Fotografía 29: Local de diversión nocturna colmatado por material detrítico gravo-arenoso acarreado por el flujo del 26 de febrero de 2020 y del año 2019; local ubicado en la confluencia de quebrada sin nombre a la quebrada Panteón.



Fotografía 30: Vista con dirección al norte, se puede observar el terraplén de relleno de la carretera de acceso a la mina Toquepala (kilómetro uno), que atraviesa la quebrada seca tributaria de la quebrada Sausine.



Fotografía 31: Vista con dirección al oeste, se observa la cabecera de quebrada seca sin nombre en el sector de Chen Chen, se vienen realizando trabajos de explanación y cortes en la ladera conformadas por la secuencia sedimentaria de la Formación Moquegua superior; con lluvias intensas el material suelto se satura, se forma escorrentía fluvial y puede generar flujos de detritos (huaicos) y afectar las viviendas construidas en las laderas y el cauce de la quebrada, también puede afectar la carretera.

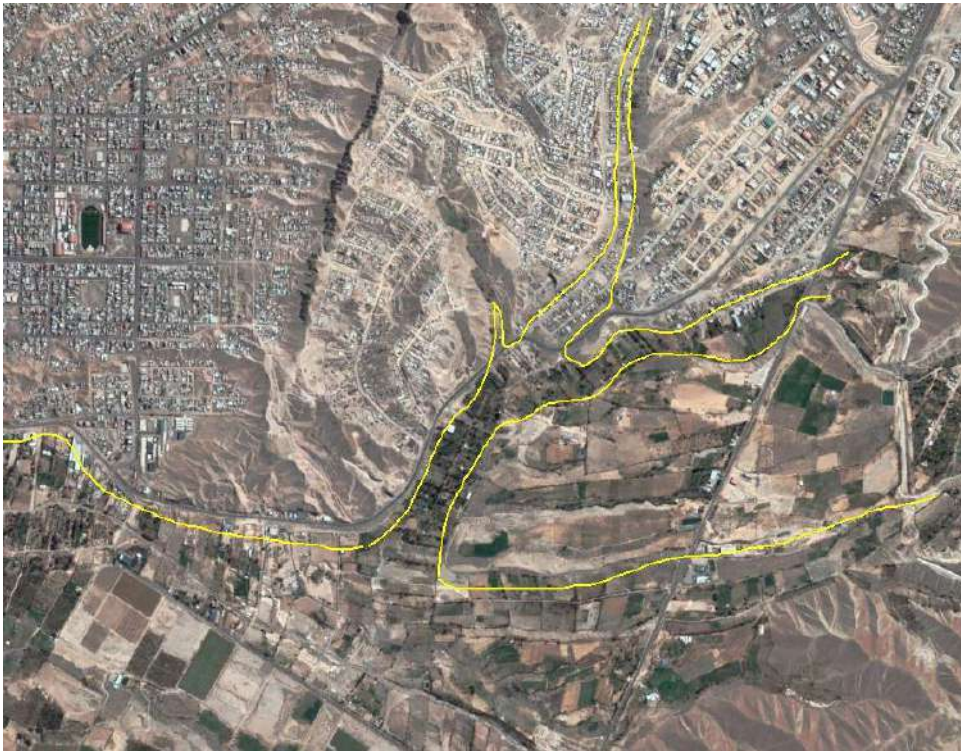


Figura 23: Imagen Google Earth donde se marcó los límites de la quebrada seca, actualmente ocupada por terrenos de cultivo, viviendas y carretera; elementos que pueden ser afectados con una reactivación excepcional de la quebrada.



Fotografía 32: Vista con dirección al sureste donde se observa quebrada seca, cuyo curso principal ha sido ocupado por la asociación de criadores de porcinos Las Terrazas; el evento del 26 de febrero del 2020 produjo la bajada de un flujo de agua y lodo de volumen reducido, que no produjo daños considerables; sin embargo, con lluvias extraordinarias se pueden generar flujos de detritos que afectaría toda construcción realizada en el cauce.



Fotografía 33: Quebrada seca sin nombre que viene siendo ocupada por viviendas y terrenos de cultivo, se construyeron diques de tierra transversales en el cauce de la quebrada como medida de prevención; en la vista se puede observar que el 26 de febrero del 2020 por la quebrada bajo un flujo de agua y lodo de volumen reducido que rompió el dique de tierra.



Fotografía 34: Quebrada seca atravesada por pontón en la carretera que conduce a la mina Toquepala; se observa material gravo-arenoso acarreado con el flujo de detritos (huaico) del 26 de febrero del 2020.



Fotografía 35: Vista aguas abajo con dirección al oeste de quebrada Sausine que atraviesa la carretera de acceso a la mina Toquepala por un pontón de concreto, el cauce de la quebrada ha sido estrechado por esta obra. En la imagen se puede observar parte del material gravo-arenoso acarreado por el flujo de detritos del 26 de febrero del 2020.



Fotografía 36: Vista con dirección al noreste, se puede observar el cauce de la quebrada Sausine en el sector de Montalvo con material gravo arenoso dejado por el flujo de detritos del 26 de febrero del 2020; que afecto una vivienda y terrenos de cultivo. Esta zona viene siendo rellenada con material de desmote con la finalidad de usarlo como terrenos para vivienda.



Fotografía 37: Vista aguas arriba de la quebrada San Antonio, con dirección al sureste, se observa el ancho cauce que se encuentra seco, el material gravo arenoso en el cauce y la ocupación del mismo con granjas de pollos.



Figura 24: Foto aérea del año 1955, se puede observar el centro urbano de Moquegua, las viviendas se encuentran principalmente al pie y parte media de la ladera noroeste del cerro Cruz del Siglo; obsérvese también los piedemontes deluviales depositados por flujos de detrito y lodo no encauzados. (fuente: Servicio Aerofotográfico Nacional).



Figura 25: Imagen Google Earth de septiembre del 2020, es posible observar el crecimiento del centro urbano de Moquegua hacia la cima del cerro Cruz del Siglo, las viviendas se construyeron sobre el substrato rocoso y los depósitos aluvio-torrenciales.



Figura 26: Foto aérea del año 1955, se puede observar los piedemontes aluvio-torrenciales que bajan de la ladera oeste del cerro Cruz del Siglo, estos depósitos son ocupados actualmente por el sector de San Antonio. (fuente: Servicio Aerofotográfico Nacional).



Figura 27: Imagen Google Earth de septiembre del 2020, se puede observar el sector de San Antonio ocupado actualmente en su totalidad por viviendas, las cuales se construyeron sobre el substrato rocoso y los piedemontes aluvio-torrenciales.



Figura 28: Derrumbe en margen derecha de quebrada seca, localizada en uno de los tributarios de la cuenca alta de la quebrada Panteón. (imagen Google Earth).



Figura 29: Derrumbes en ambas márgenes de quebrada seca tributaria en la cuenca alta de la quebrada Panteón. (imagen Google Earth).



Figura 30: Vista con dirección al sureste de modelo 3D donde se ha delimitado con línea de color amarillo un deslizamiento en la margen izquierda de la quebrada Sausine; nótese la proximidad de viviendas y la carretera a la escarpa principal del deslizamiento. (Imagen Google Earth de setiembre de 2019).



Figura 31: Imagen satelital donde se puede observar los agrietamientos paralelos al acantilado (línea color rojo) que limita la altiplanicie volcánico-sedimentaria; el agrietamiento del terreno ha producido asentamientos y aberturas en el terreno. (Imagen Google Earth de mayo del 2020)



Fotografía 38: Vista del material depositado por un flujo de detritos (huaicos) que discurrió por la calle Portada, vista aguas arriba.



Fotografía 39: Los huaicos del 26 de febrero discurrieron a través de cárcavas, afectando viviendas que se encontraban asentadas sobre estas laderas inestables.



Fotografía 40: Muros colapsados por los huaicos que discurrieron de las laderas del mirador Cristo Blanco en viviendas de la Asociación 10 de Mayo.



Fotografía 41 Viviendas de la Asociación de Vivienda Sumac Wasi, se encuentra en el mismo cauce de quebrada seca sin nombre, por donde discurrió un huaico el 26 de febrero.



Fotografía 42: Colapso de muros en viviendas de la Asociación de Vivienda Sumac Wasi en la margen izquierda de la quebrada sin nombre.



Fotografía 43: Con vista al suroeste, Av. Andrés Avelino Cáceres la cual fue afectada por los flujos que discurrieron por las calles perpendiculares a esta avenida, haciendo una especie de vía colectora de todos estos flujos que discurrieron por Samegua.



Fotografía 44: Redes de agua potable colapsaron por el paso del flujo que discurrió por una margen del estadio Maracaná.



Fotografía 45: Depósito del flujo que discurrió por la calle Tahuantinsuyo, socavó las veredas de las viviendas.



Fotografía 46: Depósito de flujo de lodos del 26/02/2020 en la calle Los Incas, entre la Av. Andrés A. Cáceres y pasaje 28 de Julio.



Figura 31: Vivienda ubicada en el cruce de la calle Tahuantinsuyo y San Pedro, el flujo de lodo alcanzó 0.96 m de altura.



Fotografía 47: Caída de rocas y derrumbes en laderas de colinas en la Asociación de Vivienda Biohuerto.



Fotografía 48: Flujo afectó extensos terrenos de cultivos y viviendas de la Asociación de Vivienda Biohuerto.



Fotografía 49: Viviendas de la Asociación de vivienda Biohuerto, Nuevo Samegua se encuentran en pleno cauce de las quebradas tributarias de la quebrada Tucuman.



Fotografía 50: Flujo de detritos en quebrada seca, sin nombre donde se ubican las chancherías en pleno cauce de la quebrada, asimismo las vertientes de la quebrada presentan intensa erosión de laderas. Intensa erosión de laderas en la cabecera de la quebrada, sector Alto Solar.



Figura 33: Vista de la socavación de la calle Los Ángeles producto del recorrido del flujo del 26 de febrero.



Fotografía 51: El 26 de febrero se tuvo que perforar la parte inferior del muro perimétrico del cuartel Los Ángeles, para que pueda discurrir el huaico y así evitar el anegamiento, porque no cuenta con desfogue, a su paso socavó hasta dejar descubierta las tuberías de agua y desagüe del pasaje Los Ángeles, el flujo alcanzó 1 m de altura. Esto afectó viviendas.



Figura 34: Vista al norte desde la cabecera de la quebrada sin nombre del muro perimétrico del cuartel Los Ángeles, aquí se observa como este muro corta la quebrada sin desfogue alguno.



Fotografía 52: Vista de la marca del flujo alcanzó 50 cm de altura en la calle Tupac Yupanqui.



Fotografía 53: Intersección de la calle Túpac Yupanqui con la Av. Andrés Avelino Cáceres, el flujo discurrió por la vivienda que se encuentra al frente donde se colocó sacos terreros y salió por el pasaje hasta llegar a la calle Antigua Samegua.



Figura 35: Vista de la vivienda de la Av. Andrés A. Cáceres por donde ingresó el flujo (arriba) y salió por la vivienda de lote D-26 de la calle Tupac Yupanqui (abajo).



Fotografía 54: El flujo socavó las veredas de la calle Antigua Samegua.



Fotografía 55: El flujo discurrió finalmente por el pasaje Petaca donde enterró canal de riego.



Figura 36: Muro del cuartel Los Ángeles colapsado por el empuje del flujo cerca del Instituto José Carlos Mariátegui.



Figura 37: Colapso del muro del Cuartel Los Ángeles desde la Av. Andrés A. Cáceres.



Figura 38: Viviendas de la Asociación Alto Vallecito asentado sobre piedemonte aluvio-torrencial, debido a intensas lluvias se generó huaico en esta quebrada seca afectando viviendas precarias.



Figura 39: Vista panorámica del piedemonte aluvio-torrencial de quebrada seca sin nombre, se observan las viviendas asentadas dentro del cauce de la quebrada. En la cabecera de la quebrada presenta intensa erosión en cárcavas y surcos. En el acercamiento se observa la escuela de PNP, la cual fue muy afectada por el huaico.



Fotografía 56: Socavamiento de la cuneta y de carpeta asfáltica frente al E.P Moquegua, en la Av. Andrés A. Cáceres.



Fotografía 57: Vista suroeste, socavamiento de cuneta y 275 m de carpeta asfáltica de la Av. Andrés A. Cáceres, dejando los buzones de desagüe descubiertos.



Fotografía 58: Vista Noreste, socavamiento de vereda y carpeta asfáltica, la energía del flujo generó una zanja, dejando descubiertas las tuberías de agua, en ambos lados de la Av. Andrés A. Cáceres.



Fotografía 59: Vista con dirección al norte, se observa las viviendas de la Asociación de vivienda Ciudad Hermosa, que se encuentran ubicadas en el cauce de quebrada sin nombre, además presenta intensa erosión en cárcavas y surcos, por donde discurrieron huaicos el 26/02/2020.



Figura 40: A y B) Huaico que afectó Fundo Los Ribero, así como cunetas y carpeta asfáltica de la Av. Andrés A. Cáceres. C y D) Debido al empuje del huaico colapso el muro perimétrico del Fundo, en la Av. Andrés A. Cáceres.



Fotografía 60: Vista al suroeste, el huaico socavó 28 m de vereda y carpeta asfáltica de la Av. Andrés A. Cáceres.



Fotografía 61: Vista aguas abajo del río Tumulaca, se puede observar la erosión en la margen izquierda, que produjo la pérdida de la mitad de la plataforma de la pista Malecón Ribereño. es posible observar el estrechamiento del cauce del río con la construcción de puentes.



Fotografía 62: Vista aguas abajo del río Tumulaca, es posible observar la erosión en la margen izquierda que produjo la pérdida de parte de la vereda del malecón.



Fotografía 63: Vista aguas abajo del río Tumulaca, se puede observar la margen derecha afectada por erosión, produjo la pérdida de terrenos de un mercado, así también afectó tuberías de desagüe.



Fotografía 64: Vista aguas abajo del río Tumulaca a la altura del local principal del Gobierno Regional de Moquegua; es posible observar la erosión de la defensa ribereña de la margen izquierda.



Figura 41: Vista con dirección al noreste, se observa erosión fluvial en la margen izquierda del río Tumulaca, afectó pista del malecón (A) y estribos del puente de acceso a la Residencial Country Club (B).



Figura 42: Vista con dirección al suroeste con erosión fluvial en ambas márgenes del río Tumulaca, donde el año 2019 destruyó parte de los muros de encauzamiento, removió bloques y material arrimado, en el círculo rojo se puede observar el detalle de la pérdida de la plataforma del malecón ribereño, en la margen izquierda del río.



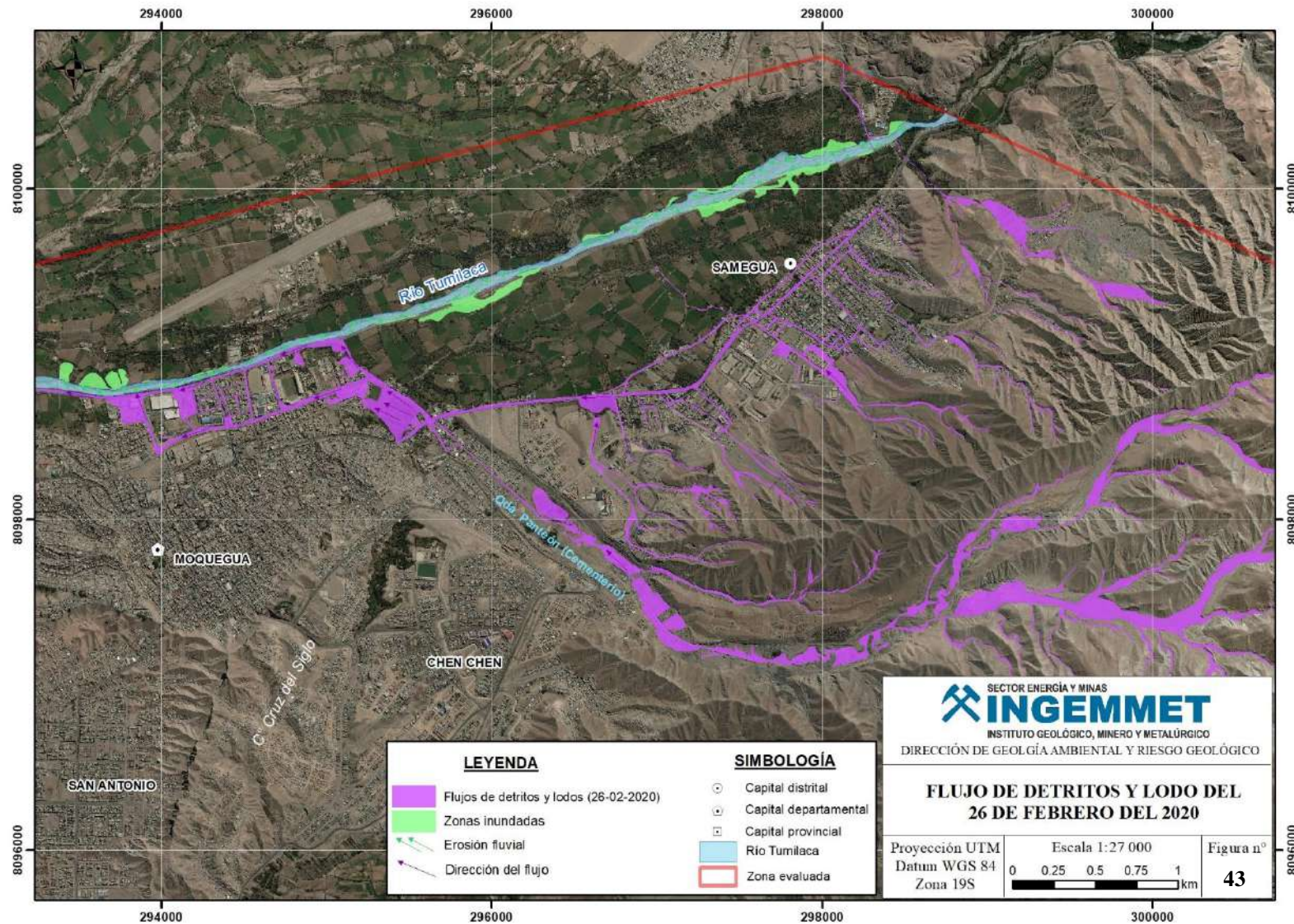
Fotografía 65: Erosión fluvial en la margen izquierda del río, se llevó un tramo de la plataforma del malecón ribereño, callejón San Juan, con vista al suroeste.

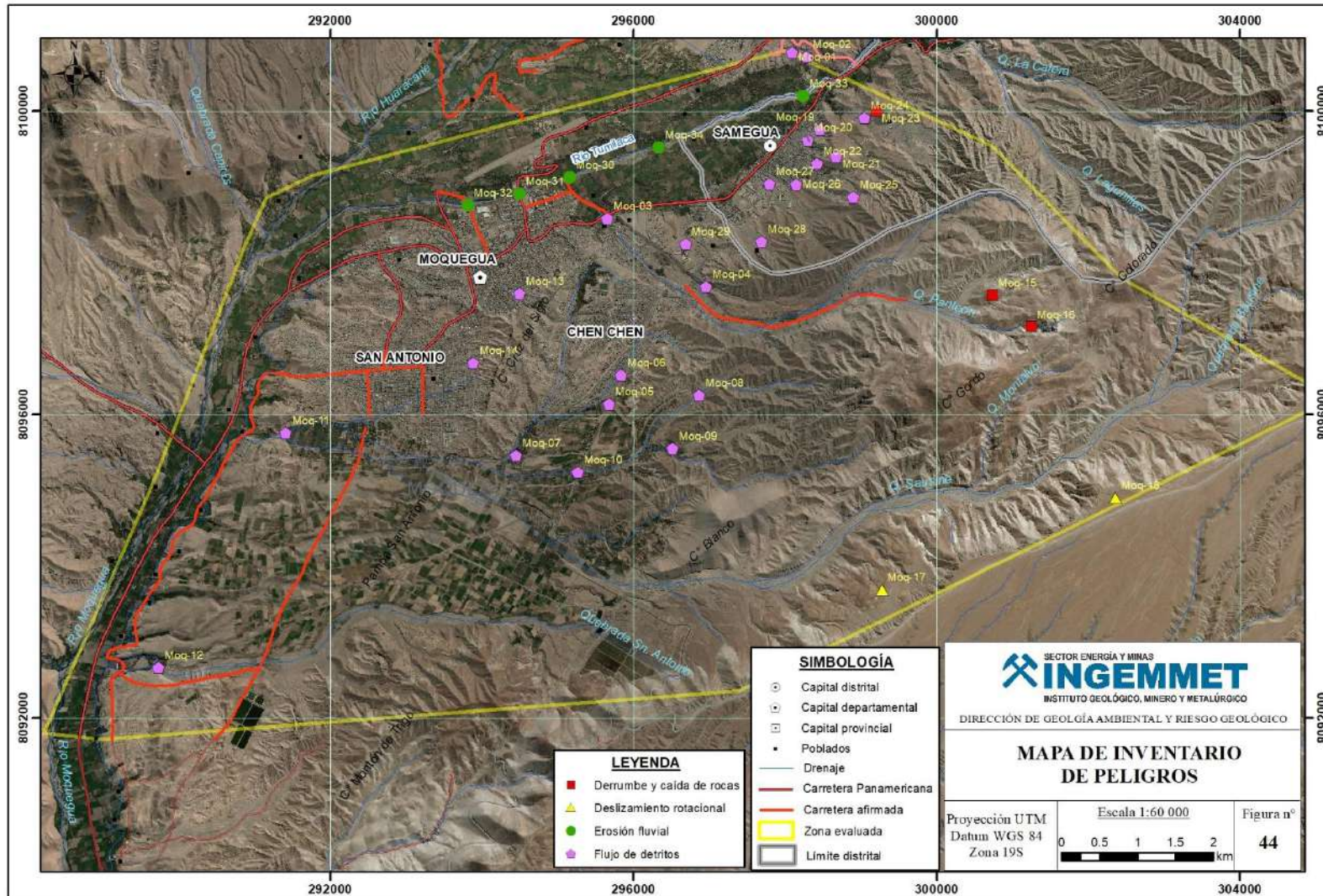


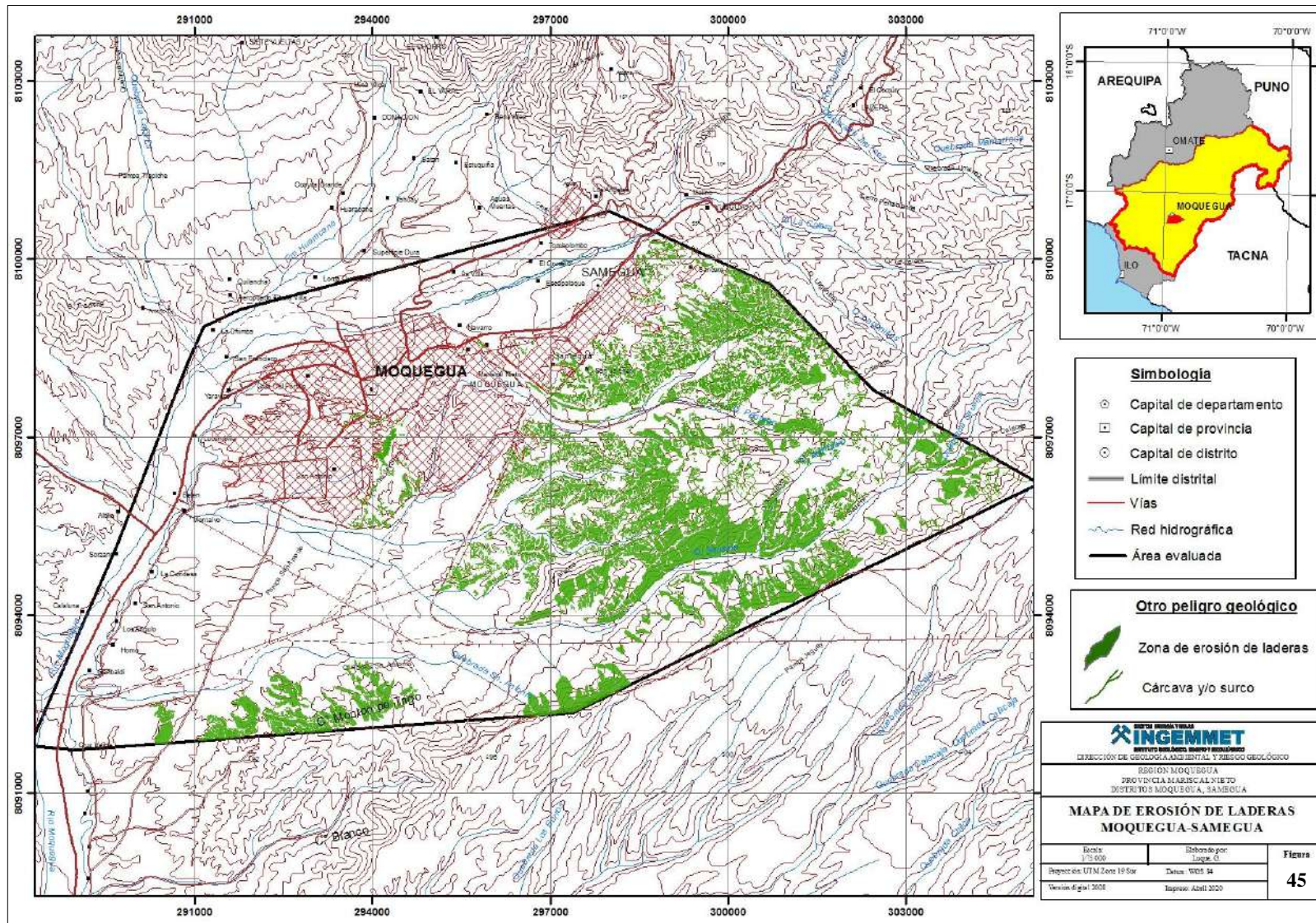
Fotografía 66: Vista hacia el suroeste de la pérdida de plataforma del malecón ribereño de Moquegua, en la margen izquierda del río Tumulaca.



Fotografía 67: Erosión fluvial en la margen izquierda del río Tumulaca, sector pasaje El Pedregal.







9. FACTORES CONDICIONANTES DE LA INESTABILIDAD DE LAS LADERAS Y DESENCADENANTES

Los factores que intervienen en la ocurrencia de un movimiento en masa son variados, estos pueden agruparse de la siguiente manera (Villota, 2005).

Naturaleza de los materiales: Los movimientos en masa pueden afectar a toda clase de materiales, no obstante, existen materiales más susceptibles que otros, esto estará determinado por su grado de cohesión, fricción interna, presencia de fallas, diaclasas, planos de estratificación, de exfoliación, buzamiento de los estratos, discontinuidades litológicas con alternancia de materiales duros y blandos, o por permeabilidades e impermeabilidades.

En la zona evaluada se tiene en mayor proporción afloramientos de rocas volcano-sedimentarias (Formación Moquegua superior), conformados por la intercalación de niveles de areniscas, conglomerados y tobas líticas, que se encuentran poco consolidados, incompetentes, deleznable, además de tener buena permeabilidad, por lo cual se les considera de calidad geotécnica mala. Las ignimbritas se presentan medianamente fracturadas y débilmente meteorizadas.

Factores topográficos: Los movimientos en masa han sido reconocidos en todo tipo de relieve, pero estos alcanzan grandes concentraciones en zonas montañosas y colinosas, con pendientes fuertes. El grado de pendiente determina, en gran medida, la velocidad del movimiento, en terrenos con pendientes entre 5° y 30° se producen todo tipo de movimientos en masa más o menos lenta, por encima de los 30° ocurren con mayor frecuencia movimientos rápidos, en pendientes verticales a subverticales se producen caídas de rocas, por ser escasa la presencia de suelos. Otra forma de incidencia de la topografía está relacionada con la ruptura de la continuidad de la ladera, determinada por fallas, o por acción antrópica (construcción de carreteras), socavamiento por corriente fluviales, por olas, los cuales crean frentes libres y las hacen susceptibles a la generación de movimientos en masa.

Entre las geoformas susceptibles a la ocurrencia de movimientos en la zona evaluada se tienen las colinas y lomadas disectadas en rocas sedimentarias, volcánicas y volcano-sedimentarias; cuyas vertientes que drenan hacia las quebradas Panteón, Sausine y San Antonio, presentan pendientes con inclinaciones que van de entre 5° a 45°.

El tipo de suelo: El cual con la presencia de agua gravitacional o capilar es un elemento que interviene en la ocurrencia de movimientos en masa; por tanto, esta puede disminuir el ángulo de fricción interna entre horizontes, capas de estratos, debido a las presiones hídricas generadas, puede también reducir la cohesión entre partículas o suelos, debido a tensión capilar, hasta sobrepasar el límite de plasticidad o bien hasta producir el flujo (límite líquido). Los suelos pueden cambiar de estado sólido a líquido cuando aumenta los contenidos de humedad y simultáneamente sufren impulso (la atracción gravitacional en terrenos de fuerte pendiente) o un choque (vibración sísmica en zonas más planas) que promueven su flujo, en este estado los materiales fluyen por su propio peso en terrenos confinados o se deforman en laderas rectas y convexas de poca inclinación. El agua también aumenta el peso de los materiales al rellenar los espacios porosos.

La cobertura de suelos presente en los terrenos de la zona evaluada, son principalmente gravo-arenosos con limos, resultantes de los largos periodos de aridez en la zona, donde se presentan una variación marcada en la temperatura, siendo altas en el día y bajas en la noche, lo que produce dilatación y contracción que rompen las rocas del substrato y forman los suelos granulares. Estos suelos tienen buena permeabilidad, que infiltran una buena parte del agua de lluvias normales; sin embargo, cuando se presentan grandes volúmenes de agua de lluvias extraordinarias, los suelos se saturan y se forma escorrentía superficial; en los suelos saturados se reduce su ángulo de

fricción, con lo cual se pueden producir movimientos en masa de tipo derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos (huaicos).

Factores biológicos: La vegetación también influencia en la ocurrencia de movimientos en masa, por ejemplo, cuando se tienen árboles de raíces superficiales, estos no amarran el suelo, ni retiene los movimientos, tampoco absorben el exceso de agua infiltrada a alguna profundidad, como sucede con las especies de raíces profundas y ávidas de agua, como el eucalipto. El pastoreo y pisoteo excesivo de ganado en los terrenos de ladera favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.

En la zona evaluada la cobertura vegetal es escasa, esta se reduce a la presencia de algunos arbustos temporales, que tapizan las laderas de colinas y lomadas; esta vegetación se desarrolló como consecuencia de las lluvias caídas durante el último periodo lluvioso del año 2020.

La actividad antrópica: Reflejada en trabajos de construcción de vías férreas, carreteras, presas, túneles, labores agrícolas, los trabajos de explotación de canteras y demás actividades mineras, tala y quema de bosques, hacen que los suelos se tornen más propensos a la ocurrencia de movimientos en masa.

Las vertientes de quebradas secas en la zona de Chen Chen, así como las laderas del cerro Cruz de Siglo en la ciudad de Moquegua y San Antonio, vienen siendo ocupados paulatinamente por viviendas, donde una buena parte de estas son construidas realizando trabajos de corte y relleno en las laderas, para poder explanar el terreno y permitir su construcción. Los materiales extraídos y acomodados en la ladera se encuentran sueltos y son susceptibles a la formación de movimientos en masa; así también los cortes realizados en la ladera sin una dirección técnica, pueden desestabilizar y condicionar la a la ocurrencia de movimientos en masa.

Material de remoción antiguo: Los grandes volúmenes y el área que ocupan los materiales depositados por flujos de detritos antiguos, que se distribuyen principalmente en los valles de las quebradas Panteón, Sausine y San Antonio, son huella de la intensa actividad erosiva y geodinámica ocurrida en la zona, que redujo la geofoma original de planicie a un terreno accidentado conformado por colinas y lomadas. La presencia de estos depósitos de remoción antiguos (flujos de detritos), también son un indicador de que pueden ser afectadas nuevamente por evento similares o de mayor magnitud, esto relacionado a un cambio de las condiciones ambientales de la zona.

El tiempo: Aunque no se considera un factor condicionante, resulta ser un parámetro fundamental en la estabilidad, y que determina el factor de seguridad en los taludes, este influye sobre aspectos como la geometría del talud, la resistencia de los materiales y la oscilación de los niveles piezométricos (Alonso, 1986), su influencia se observa en la distinción entre estabilidad a corto, medio y largo plazo (Santacana, 2001). Los factores que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa pueden cambiar con el tiempo, por ejemplo, la meteorización que actúa sobre una roca, puede con el tiempo generar horizontes de suelos donde antes no había, estos suelos pueden ser propensos o susceptibles a la ocurrencia de un movimiento en masa.

Los principales desencadenantes de los peligros geológicos por movimientos en masa, otros peligros geológicos y peligros geohidrológicos, son las lluvias de carácter extraordinario, que viene acompañado de grandes volúmenes de agua, que suturan los suelos, desestabilizan los terrenos y forman escorrentía superficial. Así también, la sismicidad es otro desencadenante de movimientos en masa, principalmente caídas, deslizamientos y vuelcos.

Los procesos de erosión fluvial identificados en ambas márgenes del río Tumilaca, en la zona del Malecón Ribereño, tiene como condicionantes la geomorfología de la zona, el tipo de material, la

ausencia de vegetación ribereña; y como desencadenante las lluvias extraordinarias producidas en la cuenca alta del río durante el periodo lluvioso del año 2019.

10. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

10.1 Susceptibilidad a los movimientos en masa

La susceptibilidad a los movimientos en masa está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), 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 lluvias.

También se puede definir la susceptibilidad como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por un movimiento en masa por desestabilización o alcance, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes, cualitativo o cuantitativo, con las áreas movidas o alcanzadas. Análisis que se materializa normalmente en forma de un mapa de susceptibilidad y suele suponer que el comportamiento futuro de la ladera seguirá las mismas pautas que hasta el presente (Ayala-Carcedo, 2002).

En la construcción del mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa se tienen en cuenta una serie de variable o factores que tienen influencia en la ocurrencia de dichos fenómenos (Aguilar & Mendoza, 2002).

Existen diferentes técnicas para evaluar la susceptibilidad de un territorio a los movimientos en masa, con la finalidad de generar mapas que reflejen la distribución espacial tanto de los movimientos existentes como de las áreas con peligro potencial. Estas metodologías van desde los mapas con base geomorfológica (inventario de deslizamientos y mapas geomorfológicos); los basados en la susceptibilidad relativa (combinación de factores que estiman la susceptibilidad relativa según una ponderación o peso definido por la experiencia del autor, para cada factor considerado); mediante técnicas de tratamiento de datos (métodos estadísticos y probabilísticos) y mapas obtenidos de datos instrumentales (Corominas, 1987). Los diferentes métodos están agrupados dentro de cuatro grandes grupos principales. determinísticos, heurísticos, probabilísticos y geomorfológicos.

Para realizar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa de la zona de estudio se aplicó el método geomorfológico, que está basado en la determinación de condiciones de inestabilidad en masa mediante técnicas geomorfológicas, de cartografía y zonificación. Este método Tiene como ventaja la validez y detalle del mapa cuando es realizado por un experto.

Los criterios utilizados para realizar la zonificación y elaborar el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la zona de estudio fueron:

- La presencia de movimientos en masa o densidad de ocurrencia de eventos en unidades litológicas y geomorfológicas, su magnitud o dimensión y el nivel de afectación observado.
- El tipo de litología y su propensión a desarrollar movimientos en masa, considerando aspectos como su grado de consolidación, grado de alteración o meteorización, intercalación de rocas competentes e incompetentes (duras y blandas) y la permeabilidad.
- El tipo de suelo o depósitos superficiales resultantes de la alteración del substrato rocoso.
- El rango de pendientes en donde se identificó la presencia de movimientos en masa.
- El tipo de geoforma, teniendo en cuenta su génesis u origen; considerando también a los depósitos superficiales.

- Evidencias de la actividad a través del tiempo de los procesos identificados, obtenido de un análisis multitemporal (diferentes años) de fotos aéreas e imágenes satelitales, las cuales fueron verificadas en campo.
- Evidencias de actividad de los procesos, su dimensión y daños causados, obtenidos por medio de la revisión bibliográfica y relatos orales.

10.1.1 Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa

En el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de la zona de estudio, se diferenciaron cinco rangos, con los cuales se representa la propensión de los terrenos a la ocurrencia de movimientos en masa, así como también a que estos pueden ser afectados nuevamente por la reactivación de los eventos identificados (figura 46).

Susceptibilidad muy baja

Representan del área total evaluado (93.5 km²) el 2.5%; son terrenos con pendientes muy bajas (> 1°), conformados por llanuras inundables, terrazas bajas y el cauce de río; conformados principalmente por depósitos aluviales; se distribuye a lo largo del valle del río Tumilaca.

Estos terrenos pueden ser afectadas por procesos que ocurren en sus franjas marginales, como obstrucciones o cierres de valles originados por flujos, deslizamientos u otro movimiento en masa; en otras palabras, los materiales movilizados por movimientos en masa ocurridos a mayor altitud se pueden depositar en estas zonas o se pueden canalizar por el curso principal del río.

Es imprescindible evaluar procesos geohidrológicos circundantes (inundación y erosión fluvial), en las áreas de escorrentía, generación de flujos de detritos u otros movimientos en masa en sus zonas marginales.

Susceptibilidad baja

Representan el 5.55% de la superficie evaluada; conformada por terrenos de pendiente baja (1°-5°), conformados por niveles de terrazas medias-altas y la altiplanicie, conformados por depósitos aluviales con intercalación de depósitos proluviales y la unidad litológica de rocas volcano-sedimentarias. Se distribuyen en zonas de terrazas del valle del río Tumilaca.

Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa; sin embargo, pueden ser afectadas por materiales acarreados por movimientos en masa ocurridos en zonas de mayor altitud y que involucren volúmenes importantes de material.

Permitir el desarrollo de infraestructura al incorporarse las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto, o adaptarse a las condiciones del terreno. Es importante realizar estudios de máximas avenidas para cursos de río u quebradas; con los cuales se diseñen las obras de protección adecuadas y necesarias.

Susceptibilidad media

Esta zona representa el 22.40% del área evaluada. Son terrenos con pendientes media (5°-15°), se consideran dentro de esta a las colinas y lomadas en rocas volcánicas y vertientes de piedemonte aluvio-torrencial (su génesis asociada a flujos de detritos antiguos); estos últimos se encuentran ubicados actualmente a una altura mayor a la de los cursos que los depositaron.

Presenta algunas condiciones favorables para producir movimientos en masa; también pueden ser alcanzados por los materiales involucrados en un movimiento en masa de gran magnitud; están sujetos a procesos de erosión de laderas.

Permitir el desarrollo de infraestructura urbana e industrial, al conocer el detalle la génesis y las propiedades de los terrenos para poder tomar decisiones respecto a la viabilidad del proyecto.

Susceptibilidad alta

Esta zona representa el 46.29% del área evaluada. Se consideran terrenos con pendientes medias a abrupta ($15^\circ - >45^\circ$), que conforman conos aluvio-torrenciales; colinas y lomadas en rocas volcano-sedimentarias y sedimentarias, poco consolidadas; relleno sanitario; y piedemontes aluvio-torrenciales localizados cerca de los cursos de ríos y quebradas actuales.

Confluyen la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se desestabilizan las laderas por causas naturales (por levantamiento o abatimiento de nivel freático, erosión en el pie de laderas, etc.) o por modificación de taludes por acción del hombre. Colinda con zonas de muy alta susceptibilidad.

Restringir el desarrollo de infraestructura urbana, o de instalaciones para una alta concentración de población. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deben de realizar estudios geotécnicos de detalle.

Susceptibilidad muy alta

Representa el 23.27% del área evaluada. Dentro de esta zona se consideran terrenos con pendientes bajas ($5^\circ - 15^\circ$) cuya génesis está relacionada a la ocurrencia de un movimiento en masa y su material depositado; también se tienen pendientes fuertes y muy fuertes ($15^\circ - 45^\circ$), en geoformas de cauces de quebradas estacionales, cuerpos de derrumbes y deslizamiento, así como de sus zonas de arranque, vertientes aluvio-torrenciales recientes y vertientes deluviales. Las unidades litológicas son sedimentarias, volcano-sedimentarias, depósitos proluviales y deluviales.

Las condiciones del terreno son muy favorables para que se generen movimientos en masa, así como por su historia geodinámica a ser nuevamente afectadas por procesos similares. Se concentran donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos al modificar sus taludes.

Prohibir el desarrollo de cualquier infraestructura, sin el detallado conocimiento geológico-geodinámico previo. Son necesarios los estudios geológicos-geodinámicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción probable de cualquier tipo de infraestructura (carreteras, puentes, canales, presas, hidroeléctricas), o habilitación urbana.

10.2 Susceptibilidad a la inundación y erosión fluvial

La inundación fluvial asociada a procesos de erosión fluvial, es un peligro que afecta la ciudad de Moquegua y alrededores, estas se producen por desbordes de río de orden mayor (Tumilaca, Moquegua y Torata), así como en quebradas estacionales que se activan de forma extraordinaria (quebradas Panteón, Sausine y San Antonio).

Uno de los aspectos fundamentales, en el análisis de la susceptibilidad a las inundaciones es la geomorfología; está controla teóricamente, el flujo de agua, y además existe el hecho de que la actual configuración de las formas del terreno y la distribución actual de los sedimentos fluviales, han sido originadas por los mismos ríos que provocarán inundaciones en el futuro. Este análisis geomorfológico de formas del terreno y sistema fluvial, debe ser reforzado con información sobre registros históricos de antiguas inundaciones e información topográfica.

El término susceptibilidad aplicado a la inundación fluvial se entiende como el grado de propensión que tiene un terreno o espacio a sufrir procesos de encharcamiento o inundación producto del desborde de ríos y el encharcamiento por lluvias locales. Las inundaciones de origen fluvial afectan de forma diferencial la llanura de inundación de los ríos, siendo las zonas más

bajas y mal drenadas las más propensas a sufrir los procesos de inundación (Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, 2001).

De igual forma, para realizar el análisis de la susceptibilidad a las inundaciones fluviales de la zona de estudio se aplicó el método geomorfológico, que está basado en la determinación de geofomas susceptibles a este proceso, mediante técnicas geomorfológicas, de cartografía y zonificación.

Los criterios utilizados para realizar la zonificación y elaborar el mapa de susceptibilidad a las inundaciones fluviales en la zona de estudio fueron:

- El rango de pendientes del terreno de muy baja a baja ($1^\circ - 5^\circ$), hasta media ($5^\circ - 15^\circ$), este último por presentar terrenos ondulados donde ocurren anegamientos locales.
- El reconocimiento y diferenciación de unidades geomorfológicas que tienen como génesis la actividad fluvio-aluvial y aluvio-torrencial.
- Evidencias de la actividad y de las zonas afectadas con estos procesos a través del tiempo, obtenido de un análisis multitemporal (diferentes años) de fotos aéreas e imágenes satelitales, las cuales fueron verificadas en campo.
- Evidencias de la actividad de los procesos, su dimensión y daños causados, obtenidos por medio de la revisión bibliográfica y relatos orales.

10.2.1 Grados de susceptibilidad a la inundación y erosión fluvial

En el mapa de susceptibilidad a la inundación fluvial de la zona de estudio, se diferenciaron cuatro rangos, con los cuales se representa la propensión de los terrenos a ser inundados o anegados por desborde de ríos, o por encharcamiento en terrenos ondulados sin drenaje (figura 47).

Susceptibilidad nula

Esta zona corresponde principalmente a las vertientes de pendientes de inclinación fuerte a muy escarpadas en acantilados; laderas convexas de colinas y lomadas en rocas sedimentarias, volcánicas y volcano-sedimentarias; cuerpo y depósito de derrumbes y deslizamientos; conos aluvio-torrenciales; y zonas con relleno sanitario.

Abarca la mayor superficie de la zona de estudio, representado un 48.66 % del área total (93.5 km²).

Susceptibilidad baja

Dentro de esa zona se consideran terrenos con pendientes baja a media ($1^\circ - 10^\circ$), que incluye geofomas de altiplanicie, terrazas aluviales altas, alejadas y a mayor altura que el curso actual del río o quebrada que la formó; piedemontes aluvio-torrenciales y deluviales, que conformen terrenos plano-ondulados. También se consideran terrenos levemente inclinados, mal drenados que son inundados en periodos de lluvia extraordinaria.

Abarca una superficie de 31.29 % del área estudiada (29.17 km²) y se representa con color verde en el mapa.

Susceptibilidad media

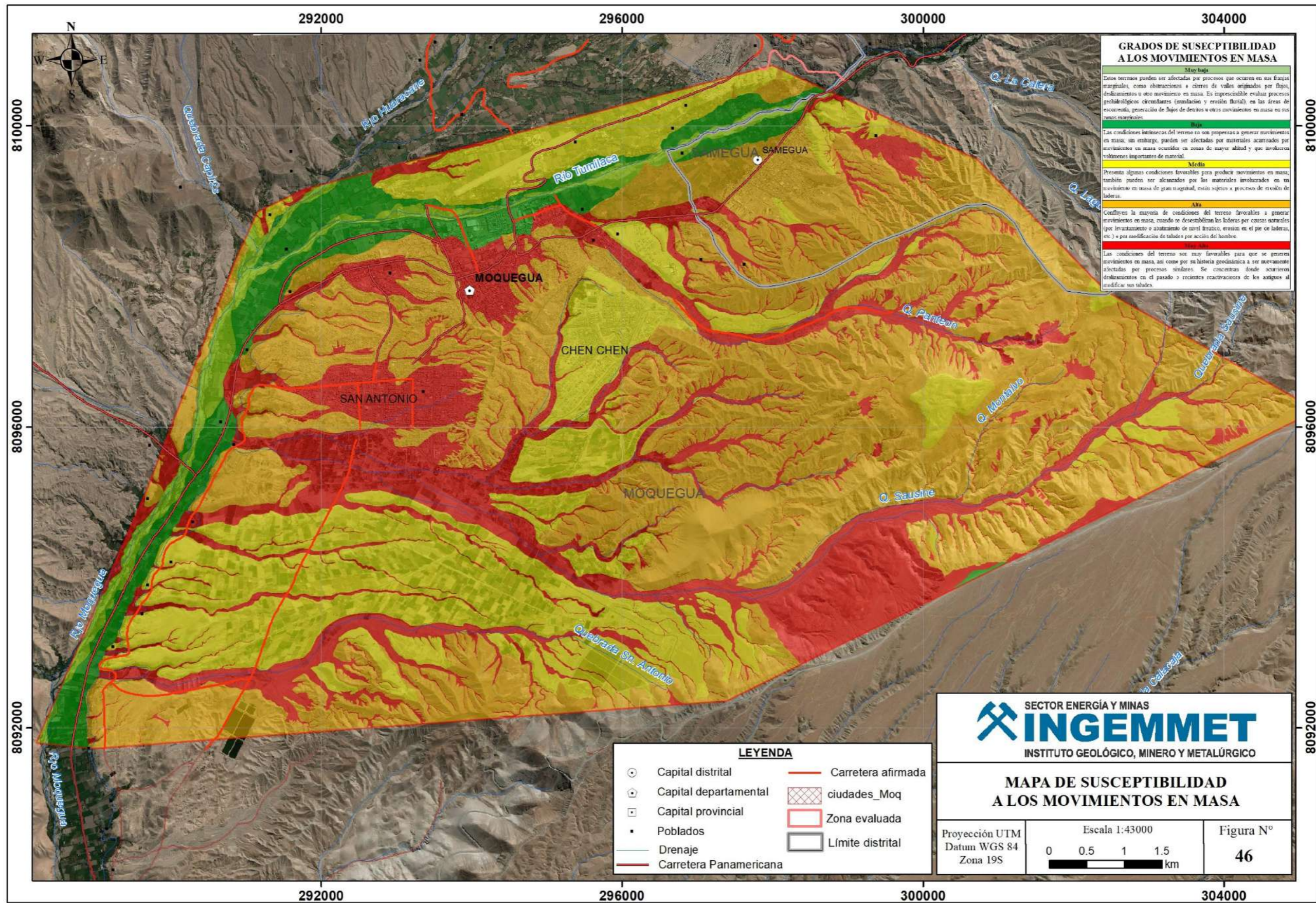
Se producen inundaciones con lluvias estacionales y extraordinarias, por acumulación de agua en zonas mal drenadas, con poca capacidad de infiltración, o porque los volúmenes de precipitación son tan elevados que el suelo se satura y no puede infiltrar parte del agua, produciéndose anegamiento. Estos se distribuyen a lo largo de terrazas aluviales medias, ubicadas cerca del cauce actual de ríos y quebradas; y cauces de quebradas estacionales, que han sido antropogenizadas (construcción de viviendas y desarrollo de actividades agrícolas).

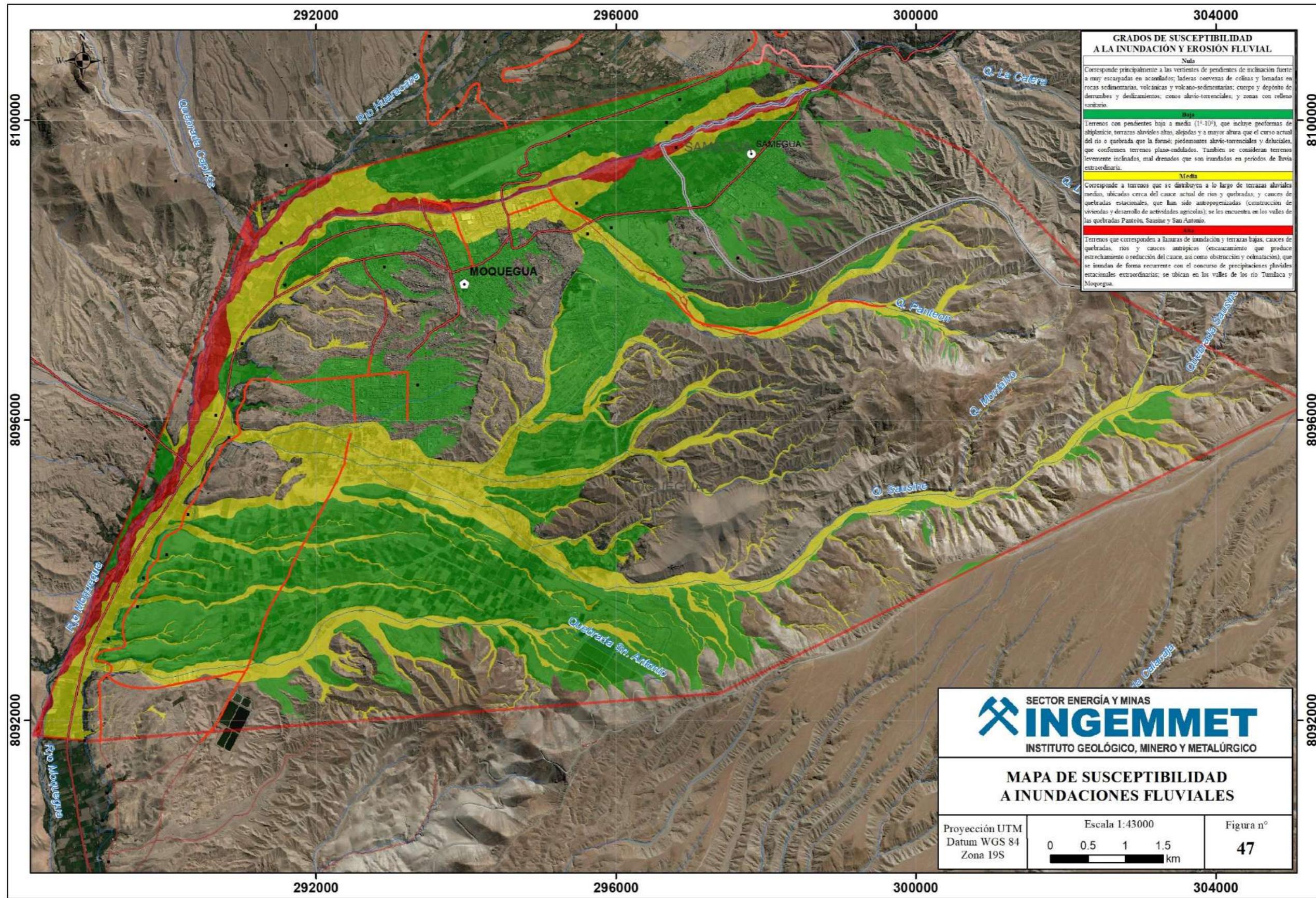
Estas zonas se localizan a lo largo de los valles de las quebradas Panteón, Sausine y San Antonio; comprende el 17.50 % del área estudiada (16.31 km²) y se representa con color amarillo en el mapa.

Susceptibilidad alta

Terrenos que corresponden a llanuras de inundación y terrazas bajas, cauces de quebradas, ríos y cauces antrópicos (encauzamiento que produce estrechamiento o reducción del cauce, así como obstrucción y colmatación), que se inundan de forma recurrente con el concurso de lluvias estacionales y extraordinarias, que se pueden presentar sin que se haya producido el fenómeno de El Niño.

Estas zonas se ubican a lo largo de los valles de los ríos Tumilaca, Moquegua y Torata; comprende el 2.38% el área evaluada (2.55 km²) y se representa con color rojo en el mapa.





11. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA

Considerando las condiciones geológicas, geomorfológicas y de sitio identificadas, que caracterizan la susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa en las ciudades de Moquegua, Samegua y alrededores, se requieren de medidas estructurales y no estructurales para poder mitigar y prevenir futuros desastres.

Entre las principales medidas de prevención y de mitigación de los movimientos masa identificados en la zona de estudio se tienen las siguientes:

- a) Realizar trabajos de encauzamiento, definición y descolmatación del cauce activo de la quebrada Panteón, principalmente en su tramo final, antes de su confluencia en el río Tumulaca. Este trabajo debe ser realizado por especialista en hidráulica e ingeniería civil.
- b) Evaluar y analizar los aspectos geotécnicos e ingenieriles de las propuestas estructurales de las obras de intervención y diseño de obras de encauzamiento y defensa ribereña en los cauces de los ríos Tumulaca y Moquegua; que puede ser por medio de muros de gaviones, concreto o enrocado (fotografías 68 y 69). Este trabajo debe ser realizado por especialista en hidráulica e ingeniería civil.



Fotografía 68: Vista donde se puede apreciar trabajos de encauzamiento de un río por medio de muro de gaviones.



Fotografía 69: Otra vista de la aplicación del muro de gaviones como elemento de encauzamiento de río y protección ante desbordes y erosión fluvial.

- c) Implementar un “Sistema de Alerta Temprana” (SAT) integral. Un SAT comprende cuatro elementos fundamentales: el conocimiento del riesgo; el seguimiento de cerca (o monitoreo), el análisis y el pronóstico de las amenazas; la comunicación o la difusión de las alertas y los avisos; y las capacidades locales para responder frente a la alerta recibida. El SAT debe incluir la instalación de sensores y equipos de monitoreo, así como de un sistema de comunicación-alarma (figura 48).



Figura 48: Esquema de los equipos que deben conformar una estación de monitoreo de flujo de detritos y/o lodo. (Fuente: Soil & Water Conservación Bureau, COA. Taipei, Taiwan, 2010).

- d) Elaborar planes para la reducción del riesgo de desastres; estos deben contener mapas de identificación de peligros, de rutas de evacuación y zonas de refugio temporal para los diferentes peligros identificados.
- e) Realizar simulacros por la ocurrencia de peligros geológicos; los responsables de defensa civil de los distritos involucrados deben ser facilitadores, que brinden información adicional a las personas de la comunidad para llevar a cabo los simulacros, que permita evaluar la efectividad del mapa de rutas de evacuación en base a la realidad del terreno.
- f) En quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a extraordinarios que pueden alcanzar grandes extensiones y transportar amplios volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte del flujo, es preciso aplicar, en los casos que sean posibles, las medidas que se proponen a continuación:
- Realizar trabajos de forestación que propicien el crecimiento de áreas verdes en las microcuencas de las quebradas secas que pasan por el poblado de Samegua, que muestren una recurrencia o indicios de actividad pasada de flujos de detritos o huaicos
 - Canalizar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas secas (fotografía 70) 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. Considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia extraordinaria, caso del fenómeno El Niño. Es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.



Fotografía 70: Encauzamiento de una quebrada.

- Colocar diques disipadores de energía en los cauces quebradas, empleando diques transversales (enrocado) y canalización del cauce con muros escalonados a lo largo de la quebrada con la finalidad de ralentizar la velocidad del huaico y disminuir la cantidad de sedimento que llegue al punto de confluencia al río Tumulaca, estos trabajos tienen que ser realizados con estudios y profesionales especializados en el tema.
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 49).

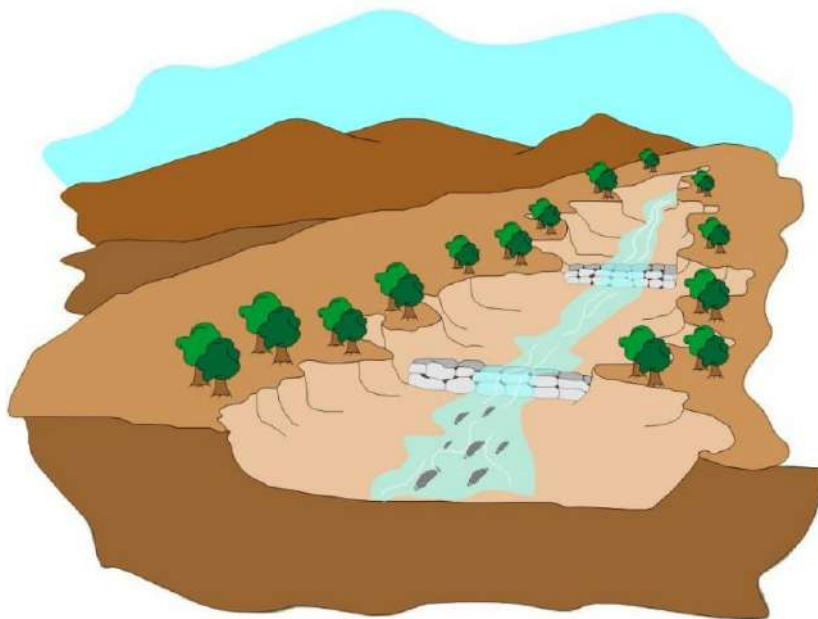


Figura 49: Diques transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques ribereños.

- 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 49).



Figura 50: Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaicos, a) de control; b) tipo rejilla; c) barras flexibles.

- 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 (figura 51), 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.



Figura 51: Obras de drenaje para redes viales, a) badenes, b) alcantarillas y pontones y c) puentes, puentes-badén

- g) En zonas donde la erosión de laderas es intensa, con presencia de cárcavas de gran amplitud, se generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. En época de lluvias intensas o extraordinarias muchos de estos cauces con suficiente material pueden generar flujos como es el caso de Samegua y Nueva Samegua. Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:
- Regeneración de la cobertura vegetal, de preferencia nativa, a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ellas, para asegurar su estabilidad.
 - Construcción de diques o trinchos transversales hechos con materiales propios de la región como: troncos, ramas, etc. (figuras 52, 53, 54, 55 y fotografía 71).

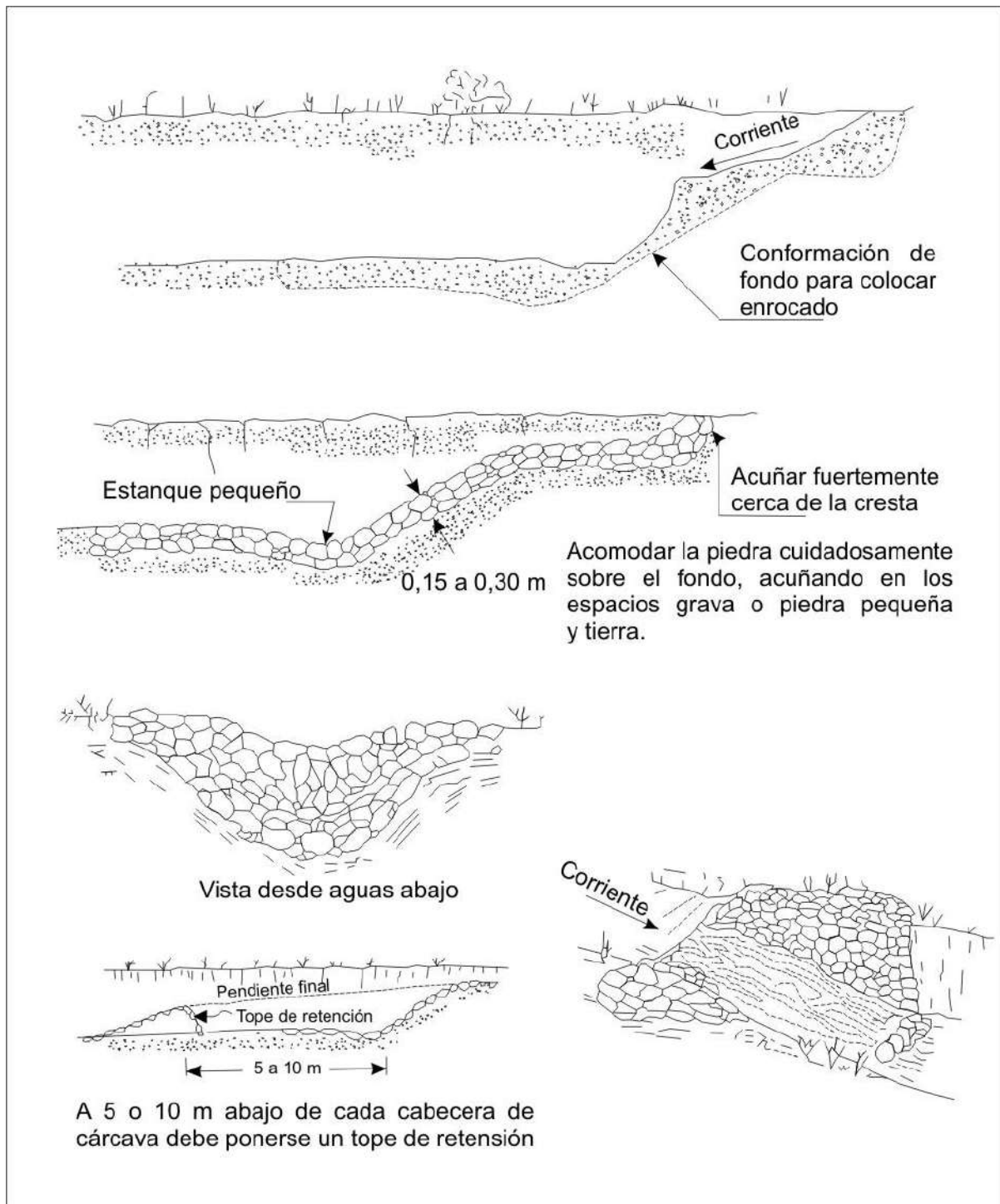


Figura 52: Trincho de piedra para cabecera de cárcava. Adaptado de Valderrama et al., 1964.

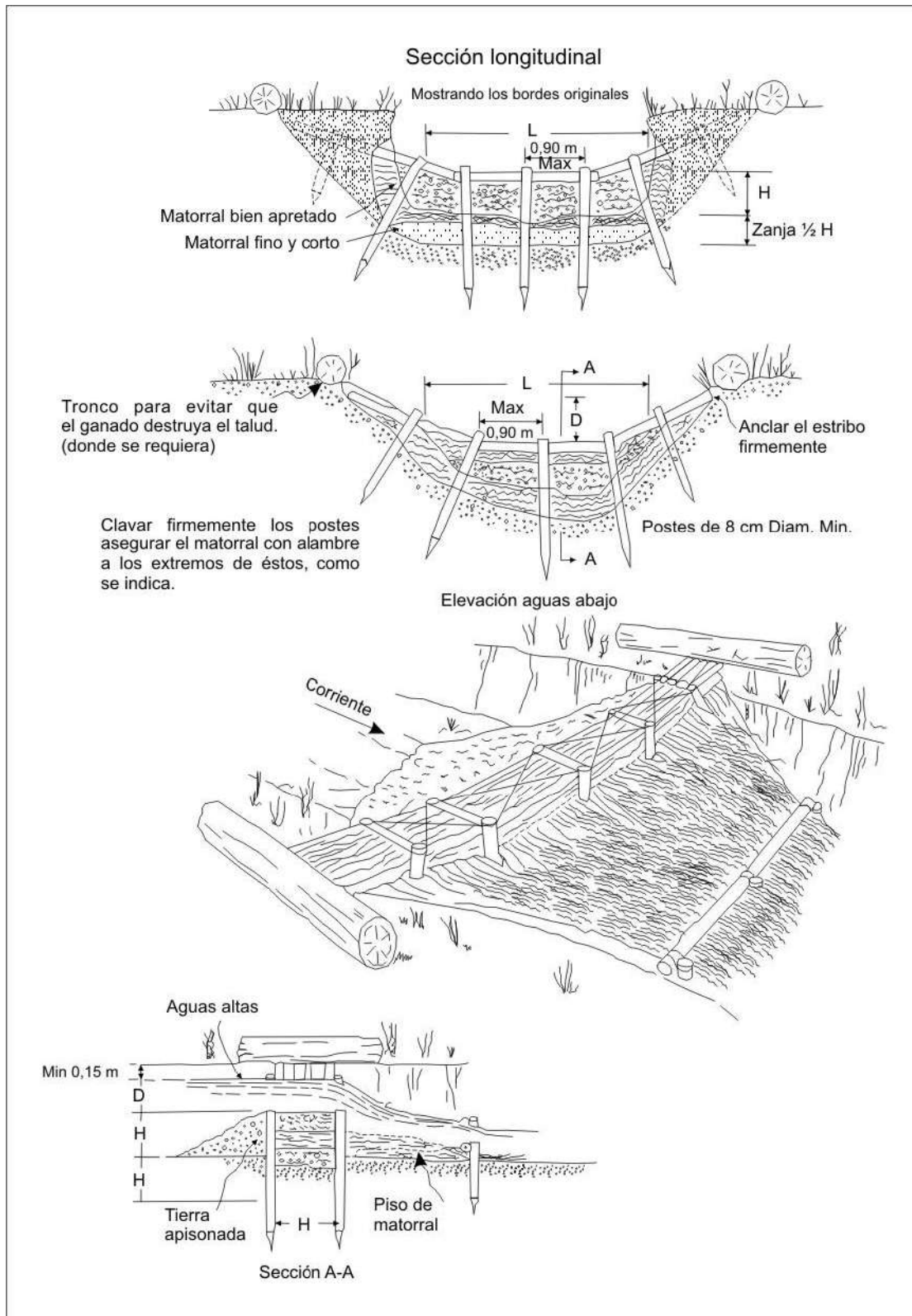


Figura 53: Trincho de matorral, tipo doble hilera de postes. Adaptado de Valderrama et al., 1964.

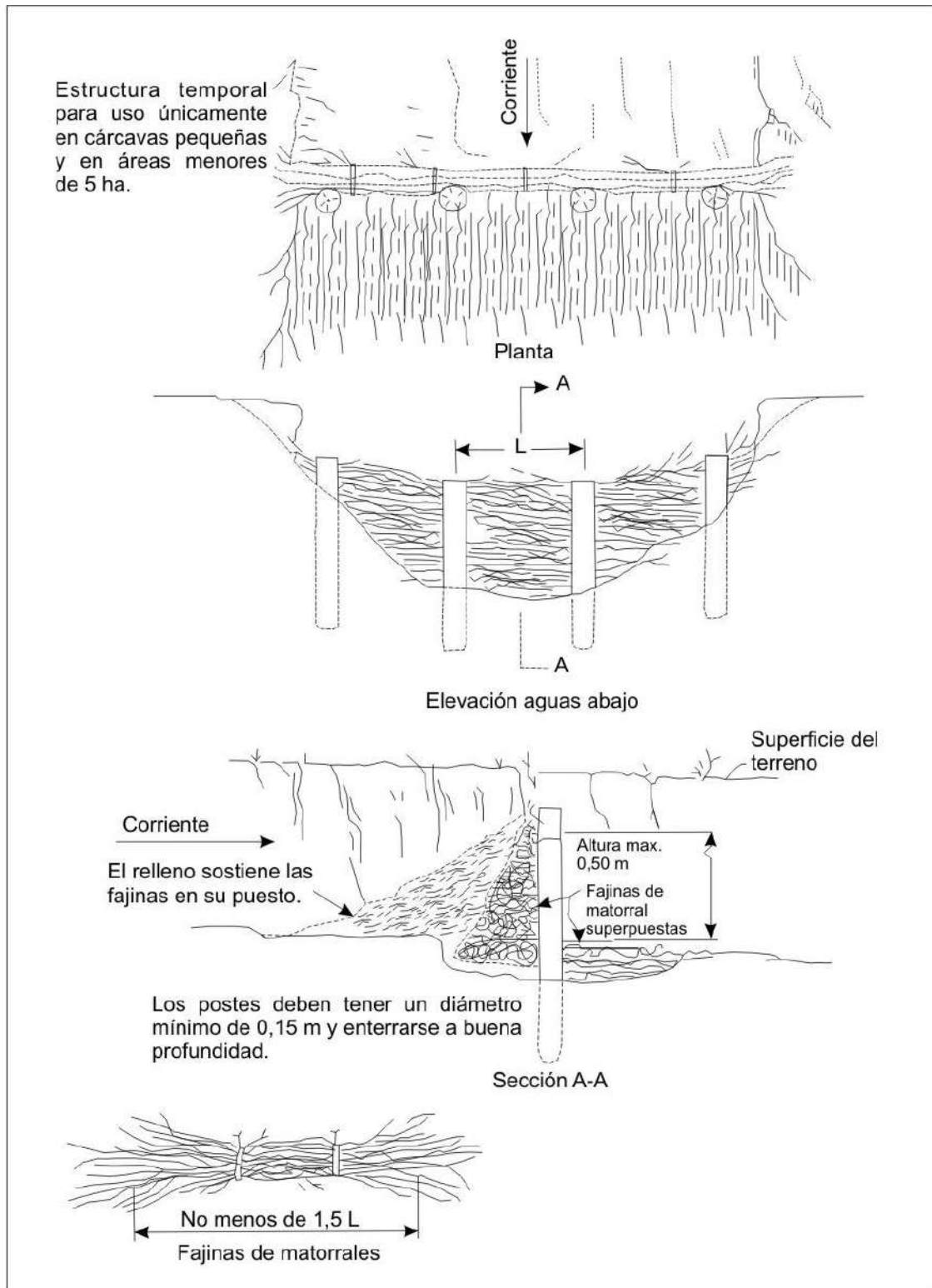


Figura 54: Trincho de matorral, tipo una hilera de postes. Adaptado de Valderrama et al., 1964.

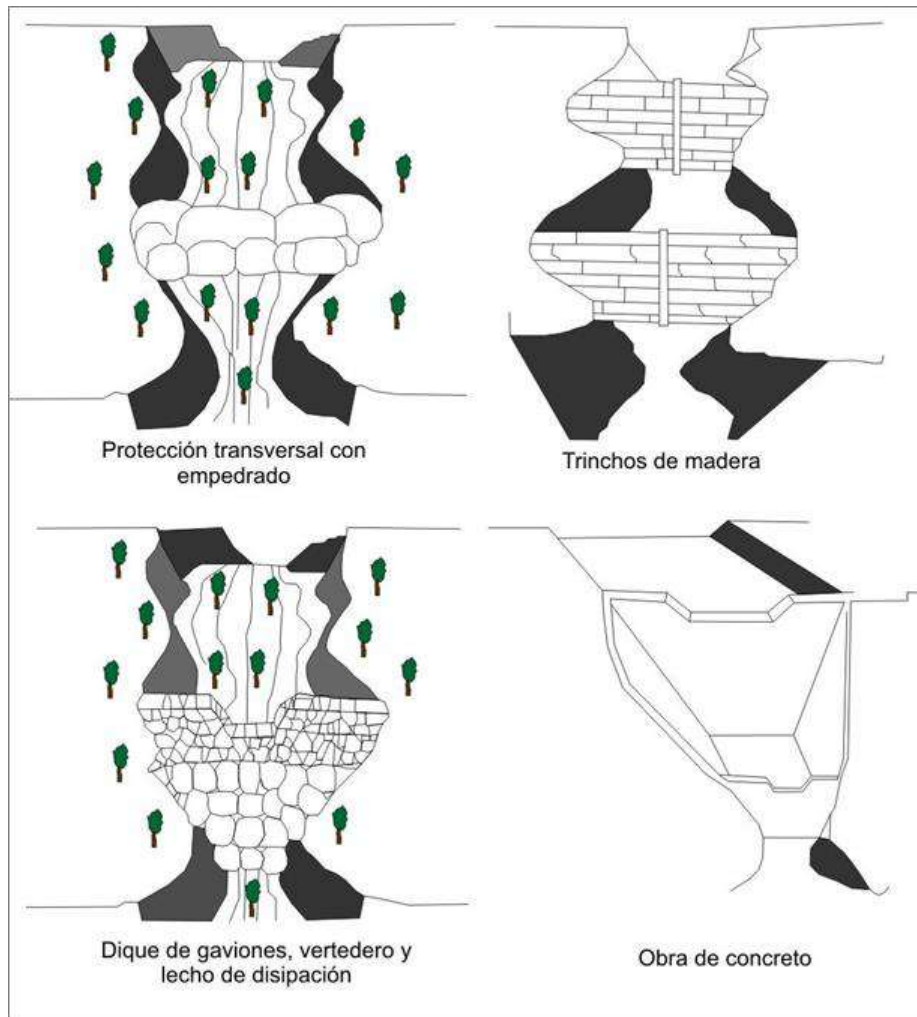


Figura 55: Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales. Tomado del Instituto Nacional de Vías, 1998.



Fotografía 71: Ejemplo de evacuación de aguas superficiales y control de erosión en cárcavas, mediante trinchos escalonados.

CONCLUSIONES

- a) El 26 de febrero del año 2020, a horas 14.15, en las localidades de Moquegua y Samegua se produjo una lluvia focalizada con valores extraordinarios; esta se focalizó principalmente en la cabecera de las torrenteras que drenan hacia la localidad de Samegua; lo que generó flujos de detritos (huaicos) y de agua que discurrieron por las calles de Samegua, hasta alcanzar la zona urbana baja de la ciudad de Moquegua.
- b) Los flujos de detritos están asociados a los cauces de quebradas estacionales que se activan de forma extraordinaria, entre ellas se tienen a las quebradas Panteón, Sausine y San Antonio; estas quebradas tienen un historial geodinámico muy activo, evidenciado en los grandes depósitos de material proluvial que han acumulado en la zona.
- c) El proceso de erosión de laderas en la zona es muy intenso; las laderas de las colinas se presentan afectadas por erosión en cárcavas y surcos, muchos de los cuales acarrear flujos de detritos que depositan el material que transportan en los cauces principales de las quebradas; estos materiales conformaran posteriormente la carga sólida de los flujos de detritos (huaicos) que discurren por las quebradas.
- d) Los procesos de inundación y erosión fluvial asociada, fueron identificados principalmente a lo largo del valle de los ríos Tumilaca y Moquegua; pudiendo presentarse también a lo largo de los cauces secos de quebradas estacionales, que se activan con lluvias estacionales y extraordinarias.
- e) Se considera como factor desencadenante de los movimientos en masa a las lluvias extraordinarias; así también a la sismicidad de la zona.
- f) Los daños causados por el flujo de detritos del 26 de febrero del 2020, en las localidades Samegua y Moquegua fueron de 20 familias damnificadas, 20 viviendas inhabitables, 5 locales públicos y 11 instituciones educativas afectadas; estos daños fueron generados principalmente por los eventos que se canalizaron por las torrenteras de Samegua. Los mayores daños ocasionados, se registraron en la localidad de Samegua, porque los huaicos se canalizaron por las calles, afectando a viviendas, veredas, carpeta asfáltica, redes de agua y desagüe. En la zona del malecón ribereños se identificó un tramo de más de 5.8 km afectado por procesos de erosión fluvial, ocurridos en el año 2019.
- g) El análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa nos permitió subdividir el territorio evaluado en cinco rangos de susceptibilidad; entre estos se tiene muy baja susceptibilidad (2.5%), baja (5.53%), media (22.62%), alta (46.18%) y muy alta (23.17%). Los rangos de susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial diferenciados para la zona de estudio fueron cuatro; susceptibilidad nula (48.56%), baja (31.459%), media (17.42%) y alta (2.53).
- h) Las quebradas Panteón, Sausine y San Antonio, así como los cauces de las torrenteras de la zona de Samegua presentan reactivaciones recientes. Son de muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa; a su vez de susceptibilidad media a inundaciones y erosión fluvial.
- i) El cauce de los ríos Tumilaca y Moquegua, sus llanuras de inundación y terrazas bajas, presentan alta susceptibilidad a inundaciones fluviales en periodos de lluvia estacionales; las terrazas medias y altas presentan susceptibilidad media a las inundaciones fluviales.
- j) Por las condiciones intrínsecas observadas en el área evaluada, la elevada susceptibilidad a los movimientos en masa, a las inundaciones y erosión fluvial, el registro histórico que evidencia la ocurrencia de eventos de este tipo en la zona, así como la ocurrencia de lluvias extraordinarias, es muy posible que ocurran otros eventos similares en el futuro; por lo que esta zona es considerada como PELIGRO ALTO y debido a la exposición de las viviendas y otras infraestructuras en las localidades de Moquegua y Samegua, se considera una ZONA CRÍTICA.

RECOMENDACIONES

- a) Las autoridades regionales y locales deben emitir ordenanzas que prohíban la construcción de viviendas ubicadas en zonas de alta susceptibilidad y peligro por movimientos en masa; y la ocupación de fajas marginales de ríos y quebradas. Debería colocarse letreros de advertencia, con lemas referidos al grado de peligro en el que se encuentra la zona.
- b) Realizar en la zona estudiada una evaluación de riesgos (EVAR) por los peligros identificados, donde se determine los escenarios posibles, los elementos expuestos y los niveles de riesgo.
- c) Elaborar mapas de peligrosidad por medio de la simulación numérica de flujos e inundaciones para diferentes periodos de retorno en los cursos de ríos y quebradas. Se requiere para ello el modelo de elevación digital de alta resolución (1:1000 es el óptimo) e información hidrometeorológicos (lluvias, máximas en 24 horas de 15 años, como mínimo) para poder modelizar los procesos de precipitación-escorrentía-extensión (incluyendo análisis de frecuencias para diferentes periodos de retorno), tomando en cuenta además las evidencias geológicas de los flujos (análisis de los depósitos, etc.) y las evidencias de los daños producidos (viviendas destruidas, inundadas, etc.). En base a los resultados obtenidos con el modelamiento numérico, realizar estudios de detalle para diseñar las obras de canalización, encauzamiento y protección de quebradas ante flujos, como son los muros y diques; así como para determinar los materiales a utilizar en la construcción de estas obras.
- d) Se debe de reubicar las viviendas ubicadas en el cauce de quebradas que presentan una alta y muy alta susceptibilidad a movimientos en masa, porque pueden ser afectadas por flujos de detritos y lodo.
- e) En la localidad de Samegua, para las quebradas se debe diseñar un canal hidráulico técnicamente racional a las características de los flujos y dinámica presentadas, con la finalidad de darle un desfogue hacia el río Tumilaca.
- f) En las laderas colindantes de Samegua se aprecia material suelto susceptible a ser removido, para ello se deberá realizar un estudio de estabilidad de taludes a fin de realizar enmallados con vegetación.
- g) Implementar un sistema de drenaje pluvial integral en las calles de la localidad de Samegua.
- h) Realizar trabajos de sensibilización que involucren a la población en general y autoridades, sobre los peligros a los cuales está inmersa su comunidad.



Ing. MANUEL SALOMÓN VILCHEZ MATA
Especialista en Peligros
Geológicos
INGEMMET



César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

BIBLIOGRAFÍA

Ayala, F.J. & Andreu, F., dir. (2006) – Manual de ingeniería de taludes. 1. Ed, 2. reimp. Madrid: Ediciones Gondo y Banco Mundial, 332 p.

Ayala, F.J. & Olcina, J. (2002) – Riesgos naturales. Barcelona: Ariel, 1512 p.

Bellido, E. (1979) – Geología del cuadrángulo de Moquegua (hoja 35.u). INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, 15, 78 p.

Duque-Escobar, G. & Escobar C. (2016) – Mecánica de suelos (en línea). En: Duque, G. & Escobar, C. Geomecánica. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, p. 122-135. (consulta: 22 enero 2018). Disponible en: <<http://bdigital.unal.edu.co/53252/45/erosiondesuelos.pdf>>

Hoek, E. & Bray, J. (1981) – Rocks slope engineering. 3 ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 358 p.

Hoek, E. & Bray, J. (1997) - Principios mecánicos de los fallamientos de taludes en macizos rocosos. Lima: UNMSM. 18 p.

Hungr, O. (2005) – Classification and terminology. En Jakob, M., y Hungr, O., eds. Debris-flow hazard and related phenomena. Berlín: Springer-Praxis, p. 9-23.

Hungr, O., Evans, S.G., Boris, M., & Hutchinson, J.N. (2001) – A Review of the classification of landslides of the flow type. Environmental and Engineering Geoscience, v. 7(3): 221-238.

Hutchinson, J.N., (1988) – General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and hydrogeology. En: Bonnard, C., ed. Proceedings of the 5th International Conference on Landslides, 10-15 July 1988. Lausanne, Switzerland. Rotterdam: Balkema, p. 3-35.

INDECI (2020) - Reporte complementario n° 1383 - 20/3/2020 / COEN - INDECI / 20:35 horas (reporte n° 18). (en línea). Lima: COEN-INDECI, 29 p. (consulta: 20 de marzo 2020). Disponible en: <file:///C:/Users/user/Downloads/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-1383-20MAR2020-PRECIPITACIONES-PLUVIALES-EN-LOS-DISTRITOS-DE-SAMEGUA-Y-MOQUEGUA-MOQUEGUA-18.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2001) - Geomorfología y susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del Magdalena: Sector Barrancabermeja – Bocas de Ceniza (en línea). Bogotá: IDEAM, Subdirección de Geomorfología y Suelos, 68 p. (consulta: 21 marzo 2015). Disponible en: <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018182/geomagdalena2.pdf>>

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1998) – Estudio sobre el clima, hidrología, sequía e inundaciones en los departamentos de Tacna, Moquegua y Puno. Ministerio de Agricultura. 125 p.

Instituto Nacional de Vías (1998) – Manual de estabilidad de taludes – Geotecnia Vial. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 340 p.

Luque, P. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Moquegua: primer reporte, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 62 p. También disponible en: http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/117725/ZONAS_CRITICAS_MOQUEGUA_2015.pdf/f40847c2-6517-479d-bf88-e8c2e66eb304

Luque, G., Pari, W., Dueñas, K. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Moquegua. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 75, 252 p., 9 mapas.

Martínez, W & Zuloaga, A. (2017) – Mapa Geológico del cuadrángulo de Moquegua, hoja 33-u, Serie A: Carta geológica nacional, Escala 1:100 000.

<https://forms.gle/NZ6aARL4bgPkJkVF6>

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

Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009) - UNISDR Terminología sobre reducción del riesgo de desastres (en línea). Ginebra: Naciones Unidas, 38 p. (consulta: 10 julio 2017). Disponible en: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf>

Varnes D. J. 1978. Slope movement types and processes. En: Schuster R. L. & Krizek R. J., eds., Landslides: analysis and control. Washintong, D.C: Transportation Research Board, National Research Council, p. 11–33. Special Report 176.

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