

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7053

EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DEL CENTRO POBLADO SANTA MARÍA DE OTOPONGO

Región Lima
Provincia Barranca
Distrito Pativilca



EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DEL CENTRO POBLADO SANTA MARÍA DE OTOPONGO

(Distrito de Pativilca, provincia de Barranca, departamento de Lima)

CONTENIDO

	RESUMEN	1
1.	INTRODUCCIÓN	2
	1.1 Objetivos	2
	1.2 Antecedentes y trabajos anteriores	2
2.	ASPECTOS GENERALES	4
	2.1 Ubicación y accesibilidad	4
	2.2 Clima e hidrografía	6
3.	GEOLOGÍA	6
	3.1 Unidades litoestratigráficas	7
	3.2 Rocas intrusivas	8
4.	GEOMORFOLOGÍA	10
	4.1 Pendiente del terreno	10
	4.2 Unidades geomorfológicas	11
	4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	11
	4.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional	12
5.	PELIGROS GEOLÓGICOS - CONCEPTOS GENERALES	13
	5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa	13
	5.1.1 Flujos	14
	5.2 Otros peligros geológicos	15
	5.2.1 Erosión fluvial	15
	MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CENTRO POBLADO DE SANTA MARÍA DE	
6.	OTOPONGO	15
	6.1 Flujo de detritos en el centro poblado de Santa María de Otopongo	15
	6.2 Erosión fluvial en el centro poblado de Santa María de Otopongo	16
7.	CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO	21
	CONCLUSIONES	22
	RECOMENDACIONES	23
	REFERENCIAS	25

EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DEL CENTRO POBLADO SANTA MARÍA DE OTOPONGO

(Distrito de Pativilca, provincia de Barranca, departamento de Lima)

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa realizado en el centro poblado de Santa María de Otopongo, que pertenece a la jurisdicción de la municipalidad distrital de Pativilca, provincia de Barranca, departamento de Lima. 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 geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden principalmente a rocas de tipo intrusivo que forman parte del Batolito de la Costa (Unidad Purmacana, Súper Unidad Santa); esas rocas se encuentran cubiertas por material del Cuaternario (depósitos deluviales y aluviales con intercalación de depósitos proluviales).

Se identificaron en la zona geoformas de carácter tectónico-degradacional y denudacional (Relieve de colinas y lomadas en roca intrusiva) y geoformas de carácter depositacional y agradacional (pedemontes aluvio-torrenciales y deluviales).

El centro poblado de Santa María de Otopongo se encuentra ubicado en el punto de salida del curso de la quebrada La Rinconada de entre las estribaciones andinas hacia la planicie costera y forma un abanico aluvio-torrencial; es así que, en la zona evaluada se identificó la ocurrencia de flujos de detritos y procesos de erosión e inundación fluvial, que tiene como desencadenante las precipitaciones pluviales estacionales de carácter extraordinario. También se identificó en la zona evaluada problemas de drenaje subsuperficial, asociado a la presencia de un nivel o napa freática cercana a la superficie.

Finalmente, en el presente informe se brindan recomendaciones entre las cuales se destaca la realización de trabajos de limpieza y encauzamiento de la quebrada La Rinconada, la construcción de diques transversales en el cauce de la quebrada, drenaje de agua subterránea y la reducción del volumen de agua utilizado en el riego de cultivos; recomendaciones que se consideran importantes que las autoridades pongan en práctica para reducir la vulnerabilidad de personas y sus bienes, y por tanto reducir el riesgo a los peligros geológicos. Estas recomendaciones se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias y los daños que pueden ocasionar los procesos identificados.

1. INTRODUCCIÓN

La municipalidad provincial de Barranca, mediante Oficio N°243-2019-AL/RRZS-MPB, solicito al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), realizar un estudio de estimación de riesgo de la zona vulnerable del centro poblado de Santa María de Otopongo, del distrito de Pativilca, de la provincia de Barranca; por lo que dispuso se realizara la evaluación geológica-geodinámica de la zona en mención.

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 7), contribuye 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. Para ello la DGAR designó al ingeniero Manuel Vílchez M., para que realice la evaluación técnica respectiva. Los trabajos de campo se realizaron el día 05 de diciembre del año 2019. Se inició los trabajos realizando las coordinaciones respectivas con el Ing. Juan Muñoz M., Subgerente de Defensa Civil de la Municipalidad de Provincial de Barranca; y durante la inspección campo se contó con la presencia de miembros de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Barranca y pobladores de la zona.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Provincial de Barranca, 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 del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos que se presentan en el centro poblado de Santa María de Otopongo; así también, determinar si estos eventos 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 identificados.

1.2 Antecedentes y trabajos anteriores

Se tienen trabajos previos y publicaciones a escala regional hechas por INGEMMET que incluyen el centro poblado de Santa María de Otopongo, relacionados a temas de geología y peligros geológicos, de los cuales destacan los siguientes:

- En el Boletín N° 76, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Lima” (2019), se identifican los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres dentro del ámbito de estudio. Se identificó un total de 4329 ocurrencias de peligros (incluye eventos identificados cerca del ámbito del centro poblado de Santa María de Otopongo) y se determinaron 278 zonas críticas. El estudio

también realiza un análisis de susceptibilidad por movimientos en masa (escala 1: 100 000), en donde se observa que el centro poblado de Otopongo presenta un rango de susceptibilidad baja a media (figura 1). Entendiéndose susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene 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); los desencadenantes de estos eventos son la precipitación pluvial y la sismicidad. El estudio contiene un análisis de susceptibilidad a inundaciones y erosión fluvial, en donde se muestra que el centro poblado de Otopongo se localiza en una zona de susceptibilidad media, siendo el detonante de estos procesos las precipitaciones pluviales extraordinarias (figura 2).

- En el boletín N° 26, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta” (1973), se describe la geología presente en la zona evaluada, conformada por rocas intrusivas del Cretáceo-Paleógeno y depósitos superficiales del Cuaternario.

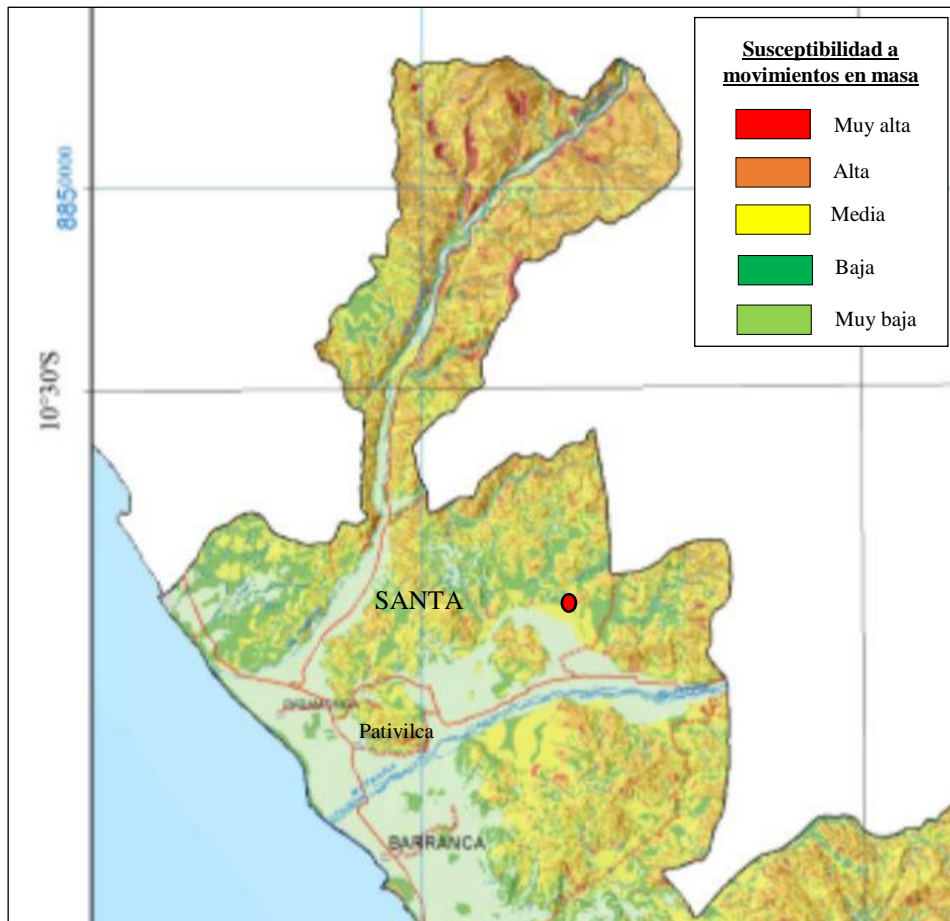


Figura 1: Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en Santa María de Otopongo.

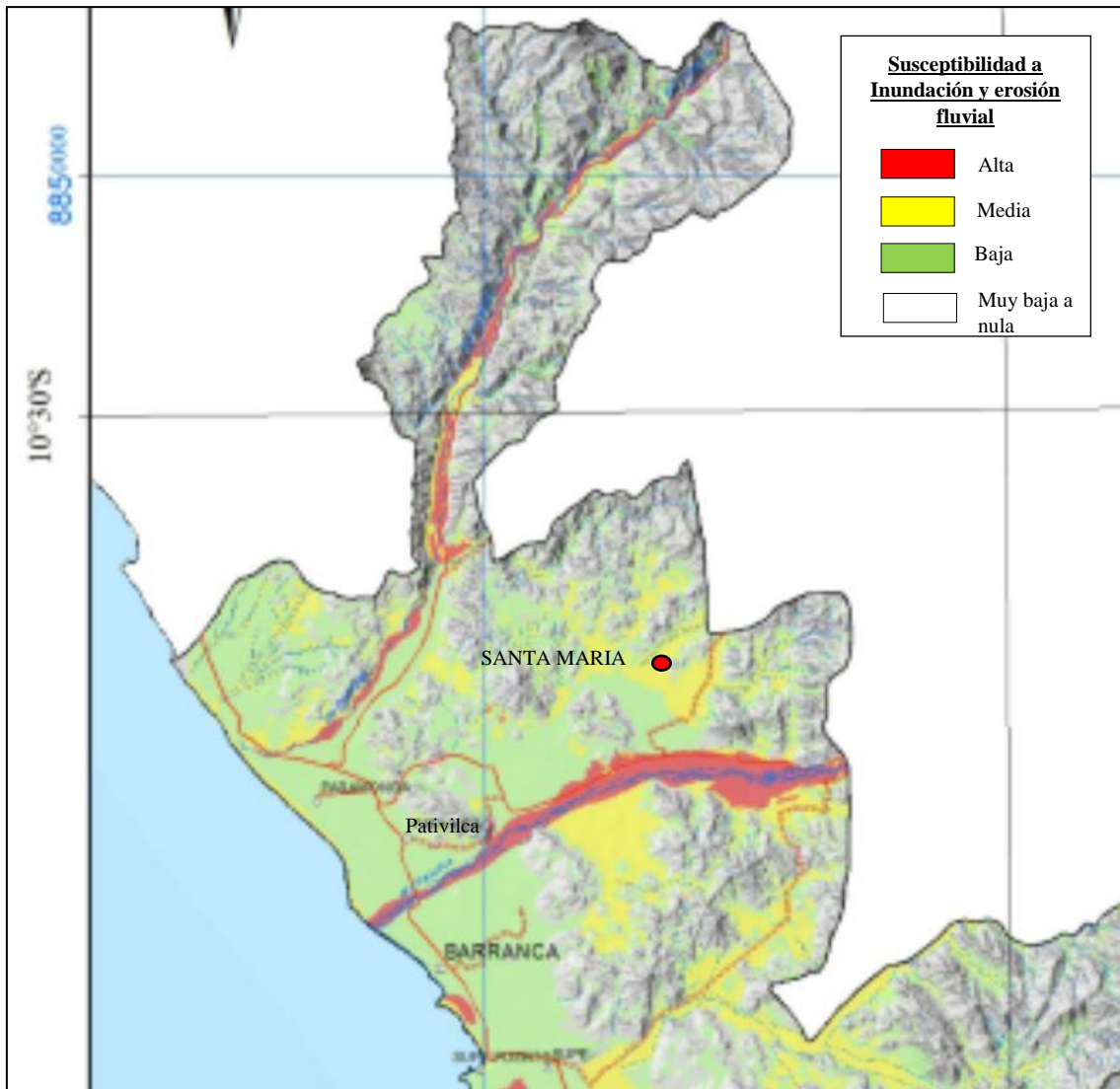


Figura 2: Mapa de susceptibilidad a inundación y erosión fluvial del centro poblado de Santa María de Otopongo.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona evaluada corresponde al centro poblado de Santa María de Otopongo, ubicado en la margen derecha del río Pativilca a unos 4.5 km al norte; pertenece al distrito de Pativilca, provincia de Barranca, región de Lima (figura 3); se encuentra localiza en coordenadas centrales UTM (WGS84 – Zona 18S) siguientes:

Santa María de Otopongo		
Norte	Este	Altitud
8824853	208984	340 m s.n.m.

El acceso a la zona de estudio, desde la ciudad de Lima, es por vía terrestre, para ello se debe seguir por la Carretera Panamericana Norte en la siguiente ruta: Lima-Chancay-Huacho-Huaytará-Barranca-Pativilca-Santa María de Otopongo, por un tiempo estimado de 3 h 19 min, a través de 222 km aproximadamente (cuadro 1).

Cuadro 1: Rutas de acceso a la zona evaluada

Desde	Vía	Kilómetros	Tiempo estimado
Lima – Barranca - Pativilca	Auxiliar Panamericana Norte, Panamericana Norte, (Carretera 1N)	197	2 h 53 min
Pativilca- Santa María de Otopongo	Carretera 106 (Barranca-Ocros-Cajatambo)	25	26 min

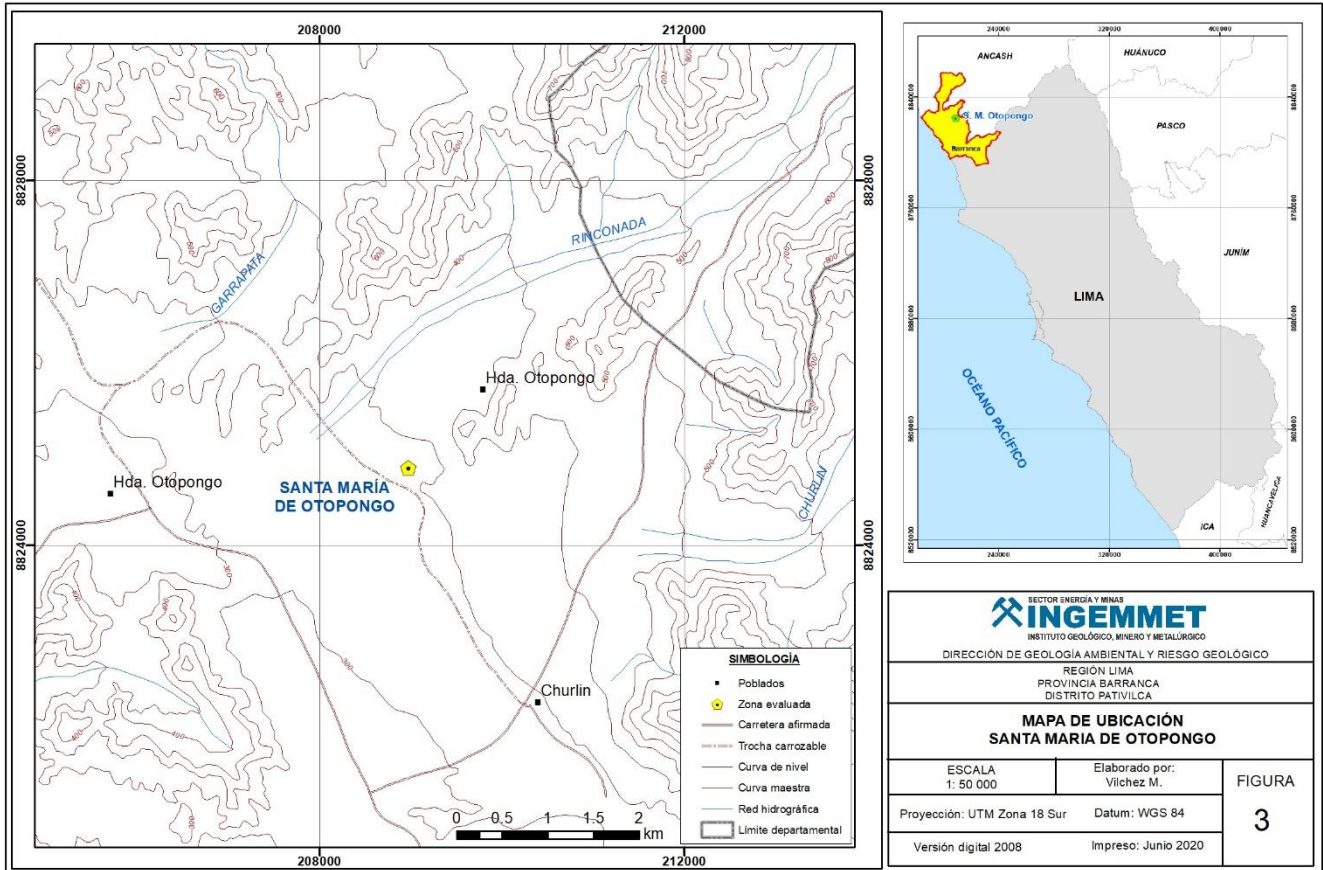


Figura 3: Ubicación de Santa María de Otopongo.

2.2 Clima e hidrografía

De acuerdo con los datos climáticos (clasificación climática por el método de Thornthwaite), en el centro poblado de Santa María de Otopongo se tiene el siguiente tipo climático:

- Zona de clima semi cálido, desértico, con deficiencia de lluvia en todas las estaciones, con humedad relativa calificada como húmedo [E(d) B'1 H3]

Para determinar las condiciones hidrometeorológicas en la zona de estudio se tomaron datos referenciales de la estación “**Paramonga**”, registrada en la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la cual se encuentra aproximadamente a unos 18 km al O de la zona de estudio.

Analizando la información de precipitación disponible, se puede observar que para los años 2018 y 2019 se registraron 5.9 y 4.7 mm respectivamente, esta lluvia acumulada corresponde al periodo enero-marzo; estos valores se encuentran dentro de los valores acumulados para periodos lluviosos normales (cuadro 2).

Cuadro 2: Datos de precipitación pluvial tomados de la estación meteorológica Paramonga.

Año 2018												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Precip. (mm)	0.2	3.7	0	0	0	1.2	0	0	0.8	0	0	0
Año 2019												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Precip. (mm)	0	1.6	1.3	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0.9

Es importante tener presente que los regímenes de precipitación cambian cuando se presenta el Fenómeno El Niño, como ocurrió durante el Niño 1997/1998, donde los valores de lluvia acumulada fueron de 200 a 400 mm, para el periodo comprendido entre enero y marzo.

La red hidrográfica de la zona evaluada tiene como curso principal al tramo final del río Pativilca; localizado a una distancia de 16.3 km de su desembocadura en el Océano Pacífico, se tiene en la margen derecha un grupo de quebradas de régimen estacional a excepcional, cuyas aguas no alcanzan el curso principal del río Pativilca y forman abanicos con los materiales que transporta, entre estas quebradas se tienen de este a oeste a las quebradas Churlin, La Rinconada, Garrapata, Fortuna y Pacar. Es sobre la margen izquierda de la quebrada La Rinconada donde se asienta el centro poblado de Santa María de Otopongo.

La quebrada La Rinconada tiene una longitud aproximada de 33.6 km y discurre en na dirección noreste-surtes, presenta caudales de agua durante periodos de lluvia, sin embargo, sus aguas no alcanzan al curso principal, a consecuencia del poco el caudal que transporta y la alta permeabilidad de los depósitos areno-gravosos que conforman el cauce del río, lo que posibilita que el agua se infiltre hacia el subsuelo y forme parte del acuífero. Los años en que se presenta el fenómeno El Niño, el caudal de agua que discurre por la quebrada La Rinconada aumenta, además se generan flujos de detritos y de lodo, que producen inundación y erosión fluvial en las márgenes de la quebrada, así como en los depósitos de abanicos, igualmente sin llegar a alcanzar el curso del río Pativilca.

3. GEOLOGÍA

En el contexto regional las unidades que floran en la zona evaluada son principalmente de origen intrusivo pertenecientes al Batolito de la Costa, Súper Unidad Santa Rosa, del Cretáceo superior;

estas aparecen cubiertas por depósitos superficial del Cuaternario conformados por depósitos aluviales y deluviales (figura 5).

A continuación, se presenta de manera resumida una descripción de las principales formaciones geológicas que afloran en el sector de Santa María de Otopongo.

3.1 Unidades litoestratigráficas

A) CENOZOICA – CUATERNARIO

Depósito aluvial (Qh-al): Están compuestos por una mezcla de fragmentos heterométricos y heterogéneos (bloques, gravas, arenas, etc.), redondeados a subredondeados, transportados por la corriente de los ríos y quebradas de recorrido largo. Tienen regular a buena selección y se presentan estratos diferenciados de diversa granulometría, que evidencian la actividad dinámica fluvial; estos depósitos tienen buena permeabilidad. Estos depósitos pueden aparecer intercalados con material proluvial, como resultado de la activación de las quebradas con precipitaciones pluviales extraordinarias, estas generan flujos turbulentos, que acarrear y depositan materiales de flujos de detritos (huaicos).

Conforman abanicos aluviales de las quebradas La Rinconada, Churlín, Garrapata, etc., así también forman llanuras antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes hacia ambos márgenes del río Pativilca. Se les asigna una del Cuaternario - Holoceno (fotografías 1 y 2).



Fotografía 1: Depósitos aluviales en Santa María de Otopongo conformado por arenas, gravas y bloques de formas subredondeadas; los fragmentos son de rocas intrusiva (tonalita).



Fotografía 2: Vista donde se puede apreciar los niveles de material aluvial, entre los que se tiene intercalaciones de material gravoso, gravo-arenoso y arenoso

Depósito deluvial (Qh-dl): Compuestos por capas de suelos fino de tipo arena, limos y arcillas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, que se depositan y cubren las laderas de los cerros, formando taludes suaves a moderados; son depósitos de ladera removidos por agua de lluvia (fotografía 3); se le asigna del Cuaternario - Holoceno.



Fotografía 3: Vista de depósitos deluviales conformados por material fino y bloques de roca intrusiva de hasta 0,30 m.

3.2 Rocas Intrusivas

A) MESOZOICA

Súper Unidad Santa Rosa

Forma parte del complejo de rocas intrusivas del Batolito de la Costa, cuya composición varía de gabro a granito potásico, cuyos afloramientos constituyen una franja paralela a la costa y a una distancia de ella que oscila entre 5 y 20 km; su ancho es variable, pero en promedio se tiene 50 km.

La Súper Unidad Santa Rosa está conformado por las unidades Corralillo, Purmacana, Cerro Muerto, Haricanga y Cuyhuay Chico; de las cuales la Unidad Purmacana es la que aflora en la zona evaluada.

Unidad Purmacana:

Conformado principalmente por dos tipos de rocas (tonalitas y dioritas), observándose ocasionalmente variaciones gabroides a diorita, así como granodioritas o adamelitas en forma local. Esta unidad se ubica en el lado occidental del Batolito, cerca de la costa árida y sin vegetación que la cubra, por lo que su exposición es muy buena; aunque en algunos sectores puede presentarse cubierta por arena eólica. La Unidad Purmacana está emplazado dentro de los volcánicos de la Formación Casma; en su lado oriental está cortando por el complejo Cerro Muerto.

La Unidad Purmacana está conformado por dos tipos litológicos principales, las dioritas (**KP-pu/di**) y tonalitas (**KP-pu/t**) (figura 4); las dioritas cortan los volcánicos, metamorfiándose termalmente hasta cierta distancia del contacto que es vertical e intrusivo. El miembro tonalítico

también corta el miembro diorítico de la Unidad y los contactos generalmente sin definidos y muy inclinados.

La diorita no es uniforme, variando su color de gris oscuro a claro, de grano medio y no presentan cristales porfiríticos; sin embargo, se pueden observar en los núcleos de los cristales primarios de hornblenda relictos de piroxeno de color marrón por intemperismo; se les encuentra formando el cerro Garrapata al norte de Santa María de Otopongo. Las tonalitas son variables, pero generalmente presentan un color gris oscuro, de grano medio con pequeños cristales de hornblenda, los cuales muestran núcleos de color marrón por intemperismo; conforman la mayor cantidad de afloramientos intrusivos que rodean a la zona evaluada. Estas rocas son de edad Cretáceo superior-Paleógeno.

Tanto las dioritas y tonalitas de la Unidad Purmacana se presentan fracturadas y afectadas por la meteorización característica de ambientes áridos, como es la disgregación granular y exfoliación catáfila, por la que es posible encontrarlas cubiertas por materiales granulares resultantes de esa meteorización, de tipo gravas, arenas y limos (fotografía 4); los cuales pueden ser fácilmente transportados por corrientes o flujo de escorrentía que se forman durante periodos de lluvia ocasionales y extraordinarios.



Fotografía 4: Vista de un afloramiento de tonalita de la Unidad Purmacana ubicado al noreste de Santa María de Otopongo; se puede observar el afloramiento medianamente fracturado y la formación de un suelo limo-arenoso en la parte superior por descomposición de la roca original.

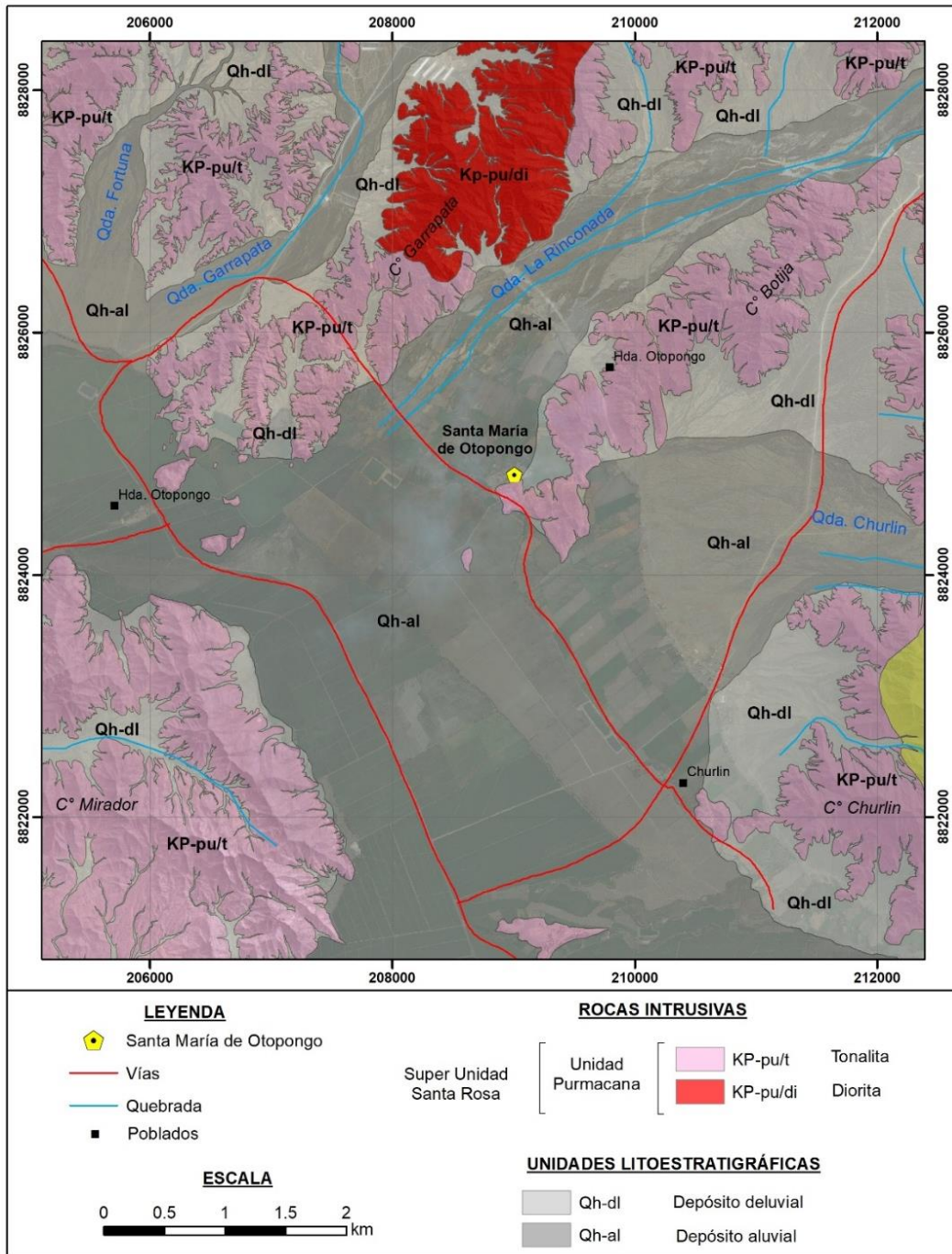


Figura 4: Mapa geológico de la zona evaluada.

4. GEOMORFOLOGÍA

4.1 Pendiente del terreno

En la zona de evaluación el terreno presenta rangos de pendientes que van desde la conformación de terrenos llanos ($< 1^\circ$), que pasan a suavemente inclinados ($1^\circ-5^\circ$), en los cauces de quebradas y abanicos aluviales, sobre los cuales se asienta el centro poblado de Santa María de Otopongo; alrededor de estos se tienen terrenos de inclinación moderada ($5^\circ-15^\circ$), conformados por piedemontes principalmente; la inclinación de terreno se incrementa de fuerte ($15^\circ-25^\circ$) a muy fuerte ($25^\circ-45^\circ$), que corresponde laderas de colinas y lomadas, resultantes de la actividad erosiva que afecto el terreno (figura 5).

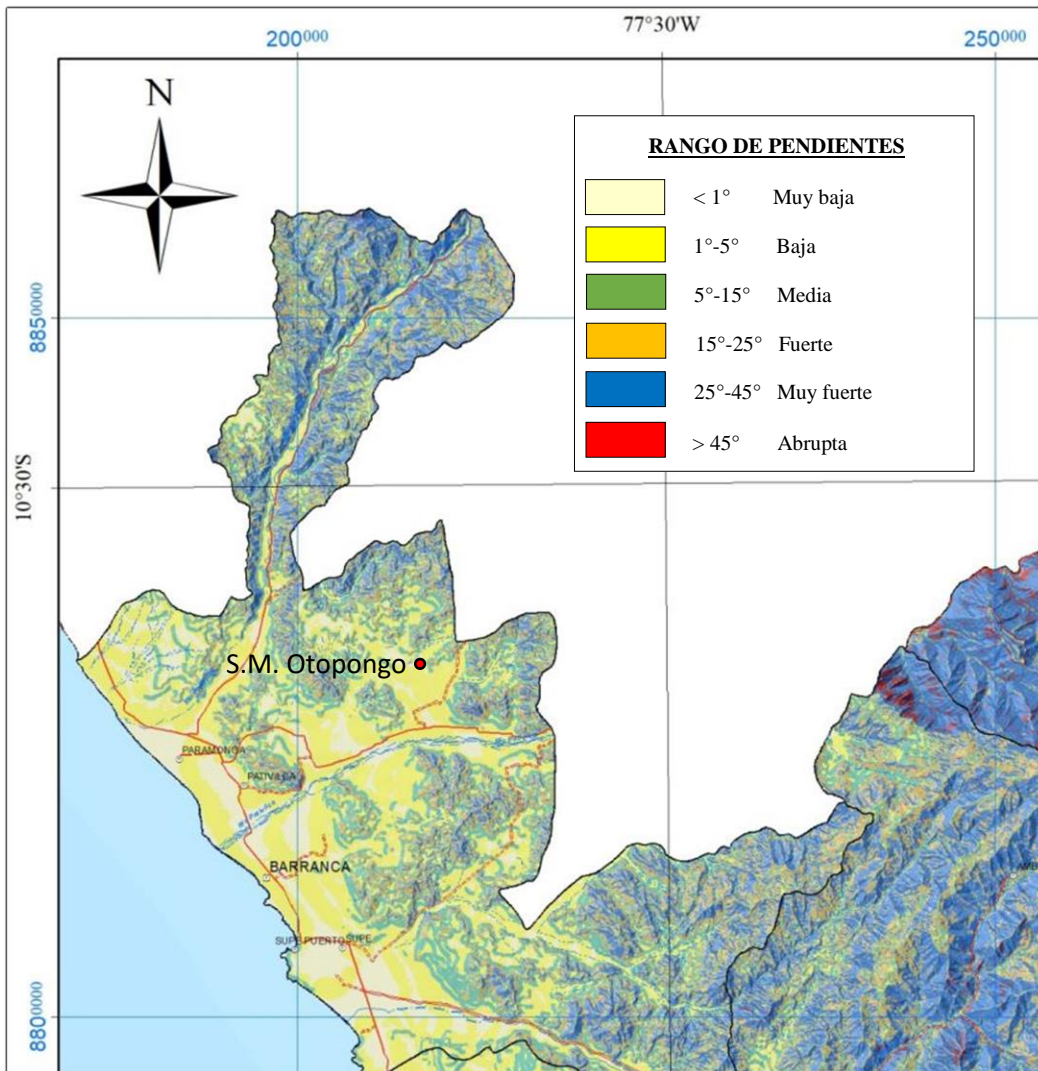


Figura 5: Mapa de pendientes del centro poblado de Santa María de Otopongo en el distrito de Pativilca.

4.2 Unidades geomorfológicas

En la zona evaluada y se identificaron las siguientes geoformas (figura 7):

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). 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. Se asocian litológicamente a rocas de tipo intrusivo, volcánico, volcánico-sedimentario y sedimentario.

Subunidad de relieve de colinas y lomadas en rocas intrusivas (RCL-ri): Son afloramientos de rocas ígneas intrusivas que corresponden a la Súper Unidad Santa Rosa (tonalitas y dioritas de la Unidad Purmacana), con desniveles de hasta 300 m que presentan formas redondeadas, pendientes moderadas a muy fuertes, con cimas subredondeadas a agudas (figura 6). Se disponen de manera discontinua y muy reducida en la margen derecha del río Pativilca; en el área de estudio se encuentran conformado los cerros Churlín, Botija, Garrapata y Mirador. Esta unidad es susceptible a la ocurrencia de erosión de laderas, derrumbes y caída de rocas. Estas últimas corresponden, principalmente, al factor antrópico (cortes de talud inadecuados).

4.2.2 Geformas 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 geformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

Unidad de piedemonte: Acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arena, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; esto depósitos pueden ocupar grandes extensiones.

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Corresponden a planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extensas, 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 extraordinarias que se presentan en la región. Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas. Se asocian, principalmente, al fenómeno de El Niño.

Subunidad de vertiente o piedemonte deluvial (V-dl): 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 (figura 6); estas han sido identificadas principalmente en las márgenes de las quebradas Churlin, La Rinconada, La Garrapata y Fortuna. Se asocian a la ocurrencia de flujos de detritos, flujos de lodo y procesos de erosión de laderas.

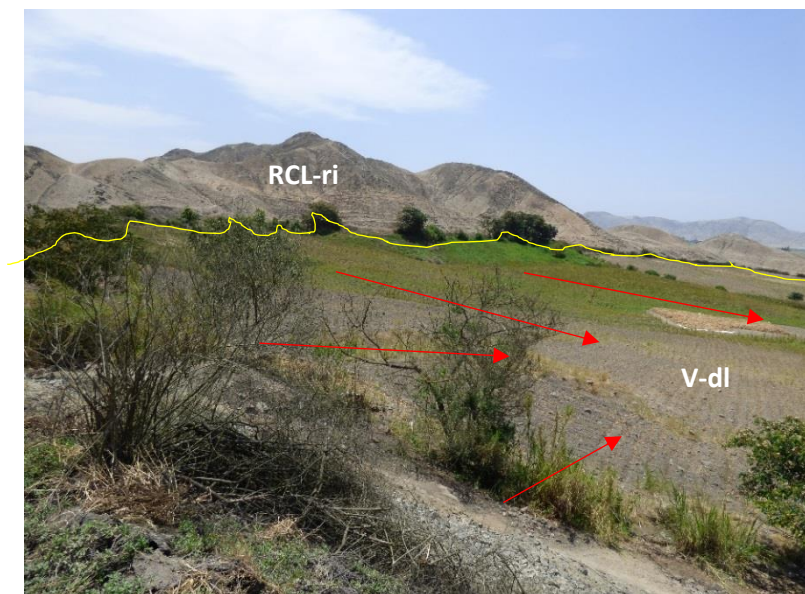


Figura 6: Vista con dirección al sur, donde se puede apreciar las colinas conformadas por rocas intrusivas de tipo tonalita de la Unidad Purmacana (RCL-ri); en las faldas se tienen los piedemontes deluviales (V-dl).

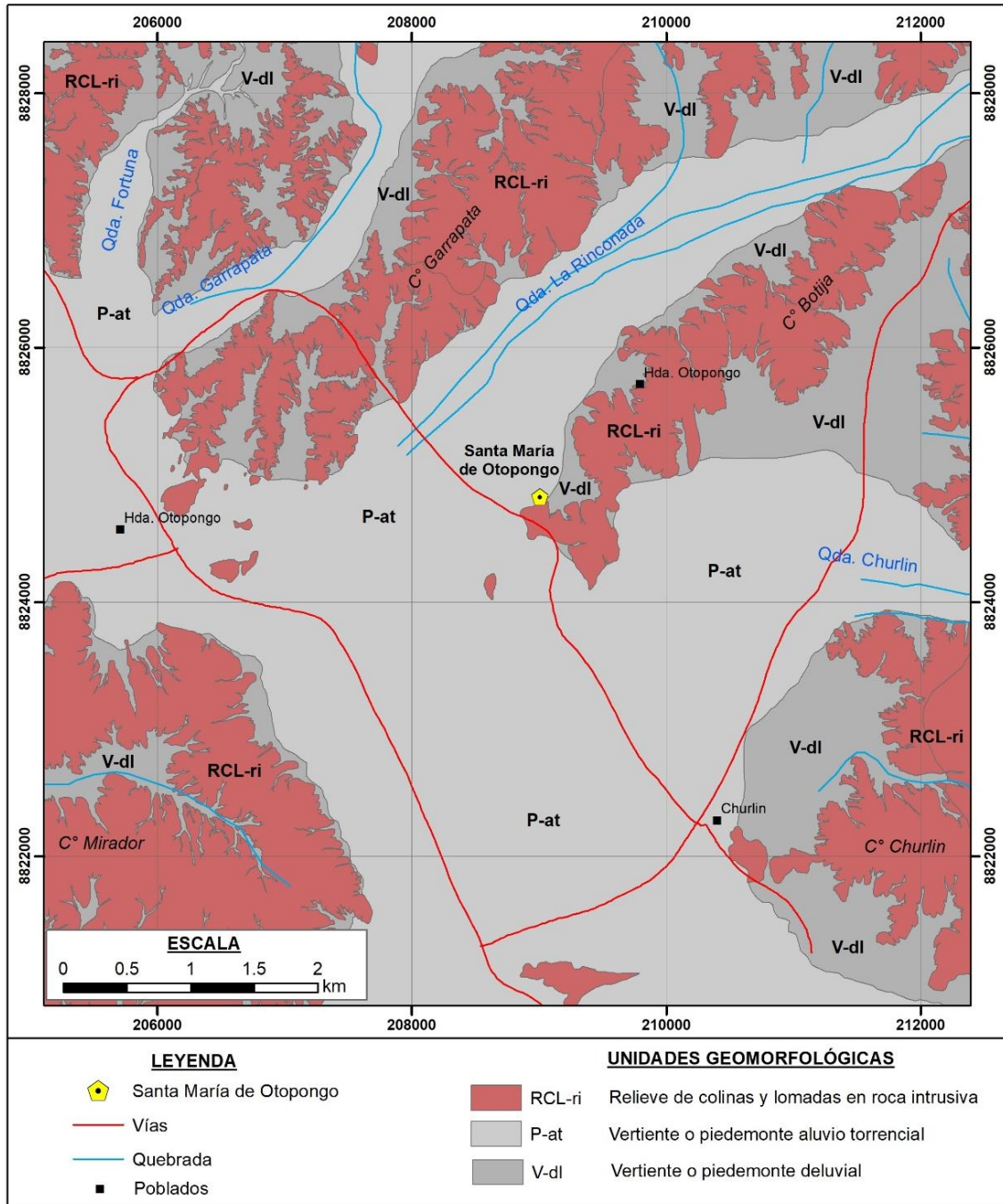


Figura 7: Mapa geomorfológico del centro poblado de Santa María de Otopongo, distrito de Pativilca.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS – CONCEPTOS GENERALES

Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada corresponden a subtipos agrupados en los denominados movimientos en más y otros peligros geológicos, los cuales serán descritos de forma breve a continuación.

5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

Los de peligros geológicos reconocidos en la zona inspeccionada corresponden al grupo de los movimientos en masa, denominados como flujos de detritos (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos

de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos. Se identificó también en la zona procesos denominados como otros peligros geológicos, del tipo erosión fluvial.

5.1.1 Flujos

Son movimientos en masa que durante su desplazamiento exhiben un comportamiento semejante al de un fluido; pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. En muchos casos se origina a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Según la proporción de las fracciones sólidas y líquidas que conforman el flujo, así como por el mecanismo de movimiento y la velocidad del movimiento se pueden diferenciar hasta siete tipos diferentes de eventos: flujo seco, flujo de detritos, inundación de detritos, flujo de lodo, flujo de tierra, avalancha de rocas y avalancha de detritos (Varnes, 1978; Hungr et al. 2001 y Hungr, 2005). En la zona evaluada se identificó la ocurrencia de flujos de detritos.

a) Flujo de detritos (huaico)

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 8). 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 son capaces de producir la muerte de personas (Hungr, 2005).

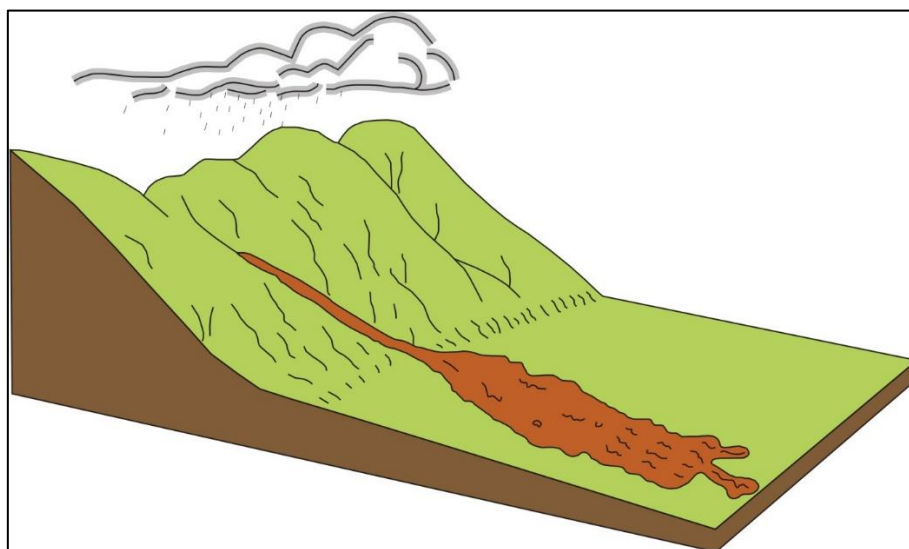


Figura 8: Esquema de un flujo de detritos. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

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 los hundimientos, erosión de laderas, erosión fluvial y arenamientos. En la zona evaluada se identificó el proceso de erosión de fluvial.

5.2.1 Erosión fluvial

Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos, socavando los valles, profundizándolos, ensanchándolos y alargándolos (Dávila, J., 1999). Se consideran como los factores más importantes que condicionan la ocurrencia de erosión fluvial son: la cobertura vegetal, la geomorfología y el clima.

Este proceso desestabiliza los terrenos y condiciona la ocurrencia de los deslizamientos identificados en esta zona.

6. MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CENTRO POBLADO DE SANTA MARÍA DE OTOPONGO

6.1 Flujo de detritos en el centro poblado de Santa María de Otopongo

El centro poblado de Santa María de Otopongo se encuentra ubicado en la margen izquierda de la quebrada La Rinconada, en el punto en que el curso fluvial confinado de la quebrada sale de entre las estribaciones andinas a espacio abierto, formando un abanico aluvio-torrencial, produciéndose en esta transición un cambio de pendiente que genera procesos de erosión e inundación, así como puede ser afectado por flujos de detritos (huaicos) de gran magnitud (figura 10).

Para tener una mejor comprensión de los flujos de detritos que se presentan en la localidad de Santa María de Otopongo, es necesario tener en cuenta el sitio de origen o lugar de formación de los mismos; así se identificó dos tipos de ocurrencia: La primera forma en que se generan los flujos de detritos están asociados a la escorrentía torrencial que discurre por el canal principal de la quebrada La Rinconada; esta escorrentía acarrea todos los materiales sueltos que se han acumulado dentro del cauce principal de la quebrada, sus tributarios y las laderas, originados durante los largos periodos de aridez que se presenta en la costa peruana.

Los flujos de detritos que discurren por la quebrada La Rinconada han formado un abanico aluvio-torrencial en su confluencia con el río Pativilca; es importante destacar que esta quebrada tiene flujos de agua de forma estacional-extraordinaria, que incluso cuando presenta caudales significativos de agua, estos no alcanzan a drenar sus aguas hacia el río principal, por lo que no se observa un canal de drenaje propiamente dicho; todas las aguas que discurren se infiltran hacia el acuífero poroso que conforman los materiales acumulados en el cauce de la quebrada La Rinconada.

La segunda forma en la que se pueden generar flujos de detritos en la zona están asociadas a la concentración de escorrentía pluvial en las laderas de las colinas intrusivas; estos flujos de agua arrastran ladera abajo arena, limos y gravas, formadas y acumuladas por meteorización in situ de la roca a manera de flujos de detritos de corto recorrido, los cuales se depositan en las faldas de colinas y quebradas de corto recorrido; este tipo de flujos fue identificado en las laderas del cerro Botija, al noreste del centro poblado (figura 9).

En ambos casos la formación de los flujos de detritos está asociados a fuertes precipitaciones pluviales de naturaleza extraordinaria, ocurridas a lo largo de la cuenca de la quebrada La Rinconada.



Figura 9: Vista con dirección al suroeste donde se ha señalado con flechas de color amarillo la dirección que siguen los flujos de agua y detritos que discurren por la ladera del cerro Botija, hacia el fondo se ubica el centro poblado de Santa María de Otopongo.

Causas:

Factores de sitio:

- Configuración geomorfológica del área (cauce de quebrada y abanico aluvio-torrencial de régimen estacional extraordinario).
- Substrato rocoso intrusivo fracturado.
- Substrato rocoso intrusivo con un grado de meteorización moderado a fuerte.
- Cambio brusco en la pendiente del terreno que va de fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°), en las vertientes de la cuenca media y alta de la quebrada (donde se concentra la escorrentía); a muy baja ($<1^{\circ}$) y baja (1° - 5°), en el cauce de la quebrada
- Presencia de material suelto en las laderas, tributarios y cauce principal de la quebrada (limo, arena y grava), susceptible de ser acarreados como flujos de detritos.
- La porosidad y permeabilidad de los suelos y rocas del substrato.
- Vegetación escasa en el cauce y vertientes de la quebrada.

Del entorno geográfico:

- Precipitaciones pluviales intensas de carácter extraordinario o asociadas al Fenómeno El Niño.

Daños:

- Afecta terrenos de cultivo labrados en el abanico aluvio-torrencial y cauce de la quebrada La Rinconada; un flujo de detritos de grandes dimensiones puede comprometer la seguridad física del poblado de Santa María de Otopongo.

6.2 Erosión fluvial en el centro poblado de Santa María de Otopongo

Este tipo de proceso se encuentra asociado a la dinámica estacional de la quebrada La Rinconada, donde la magnitud del evento y el alcance que tendrá el flujo hídrico que discurre por la quebrada, estará directamente relacionado a la intensidad y volumen de precipitación pluvial caído en la cuenca, la duración de la precipitación, el tipo de suelo y la saturación de los mismos. Se tiene

que tener presente para el caso de la quebrada La Rinconada, sus aguas no confluye directamente en el cauce del río Fortaleza

El flujo de agua que se forma divaga en el tramo distal de la quebrada y el abanico aluvio-torrencial, moviéndose entre ambos márgenes, asociado a una tendencia erosiva, el caudal va por los canales marcados y el exceso puede abrir nuevas vías o utilizar paleocanales, afectando terrenos de cultivo que se han desarrollado sobre el abanico. Si el flujo de agua que discurre por la quebrada tiene caudales considerables y se mueve hacia su margen izquierda puede generar procesos de erosión fluvial cerca del centro poblado e incluso puede llegar a alcanzarlo (figuras 10 y 11).

Asociado a los procesos de erosión fluvial se tiene la inundación de terrenos planos a cóncavos con poco o sin drenaje de abanico aluvio-torrencial; pues es en la cuenca baja donde predominan los procesos de desbordamiento e inundación, allí donde el caudal supera la capacidad de evacuación del cauce.

Se debe indicar también que en el centro poblado de Santa María de Otopongo se presentan problemas de drenaje subsuperficial, por exceso de agua en el suelo; se producen inundaciones o anegamientos por presencia de nivel o napa freática permanente o fluctuante; es decir las aguas subterráneas se ubican muy cerca de la superficie, saturan los terrenos y llegan a aflorar en superficie, además estas aguas por efectos de capilaridad suben por las paredes de adobe y ladrillo, humedeciéndolas y favoreciendo su colapso. Se entiende como capilaridad al fenómeno de ascensión del agua por capilares o poros del suelo; gran parte del agua retenida lo es por tensión superficial, que se presenta alrededor de los puntos de contacto entre las partículas sólidas o en los poros y conductos capilares del suelo, y que desempeña un papel muy importante en las formas de agua llamadas humedad de contacto y agua capilar.

Causas:

Factores de sitio:

- Configuración geomorfológica del área (cauce de quebrada y abanico aluvio-torrencial de régimen estacional extraordinario).
- Cambio brusco en la pendiente del terreno que va de fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°), en las vertientes de la cuenca media y alta de la quebrada (donde se concentra la escorrentía); a muy baja ($<1^{\circ}$) y baja (1° - 5°), en el cauce de la quebrada y abanico aluvio-torrencial (donde se depositan los materiales transportados por los flujos).
- Suelo de tipo areno-gravoso en el cauce de la quebrada y abanico
- La porosidad y permeabilidad de los suelos (acuífero poroso no consolidado) y rocas del substrato (acuífero fisurado).
- Vegetación escasa en el cauce y vertientes de la quebrada.

Para los problemas de drenaje subsuperficial se tienen las siguientes causas.

- Presencia de un nivel freático muy superficial.
- Presencia de suelos estratificados, que se presentan como estratos impermeables que impiden el movimiento vertical del agua.
- Topografía muy plana, que impide el libre escurrimiento de las aguas.

Del entorno geográfico:

- Precipitaciones pluviales intensas de carácter extraordinario, o asociadas al Fenómeno El Niño.
- Uso de prácticas inapropiadas del riego de cultivos, como por ejemplo el riego por inundación, tiempos excesivos y volúmenes incontrolables (se suelta abundante agua desde un canal de riego abierto en la ladera sur del cerro Botija.
- Canal de riego de concreto y mampostería en mal estado, con grietas en las paredes del canal desde donde se producen fugas de agua que se infiltran lateralmente al terreno, que van a abastecer el nivel freático o afloran a la superficie en sectores de posición más baja (fotografías 5 y 6).



Fotografía 5: Vista con dirección al noroeste donde se observa el canal de riego de concreto y mampostería abierto en la ladera del cerro Botija, a una altitud más elevada que el centro poblado de Santa María de Otopongo.



Fotografía 6: Detalle del estado en que se encuentran algunos sectores del canal de mampostería, con grietas que producen la fuga de agua.

Daños:

Los procesos de erosión fluvial e inundación asociados, pueden afectar terrenos de cultivo desarrollados en el abanico aluvio-torrencial y cauce de la quebrada La Rinconada; así también un gran caudal de agua que discurra por la quebrada puede comprometer la seguridad física del poblado de Santa María de Otopongo.

Las inundaciones producidas por subida del nivel freático, humedecen paredes de adobe y ladrillo de las viviendas, pudiendo producir el colapso de los muros que no tienen bases; así también la humedad presente en la zona puede producir enfermedades respiratorias a los pobladores.

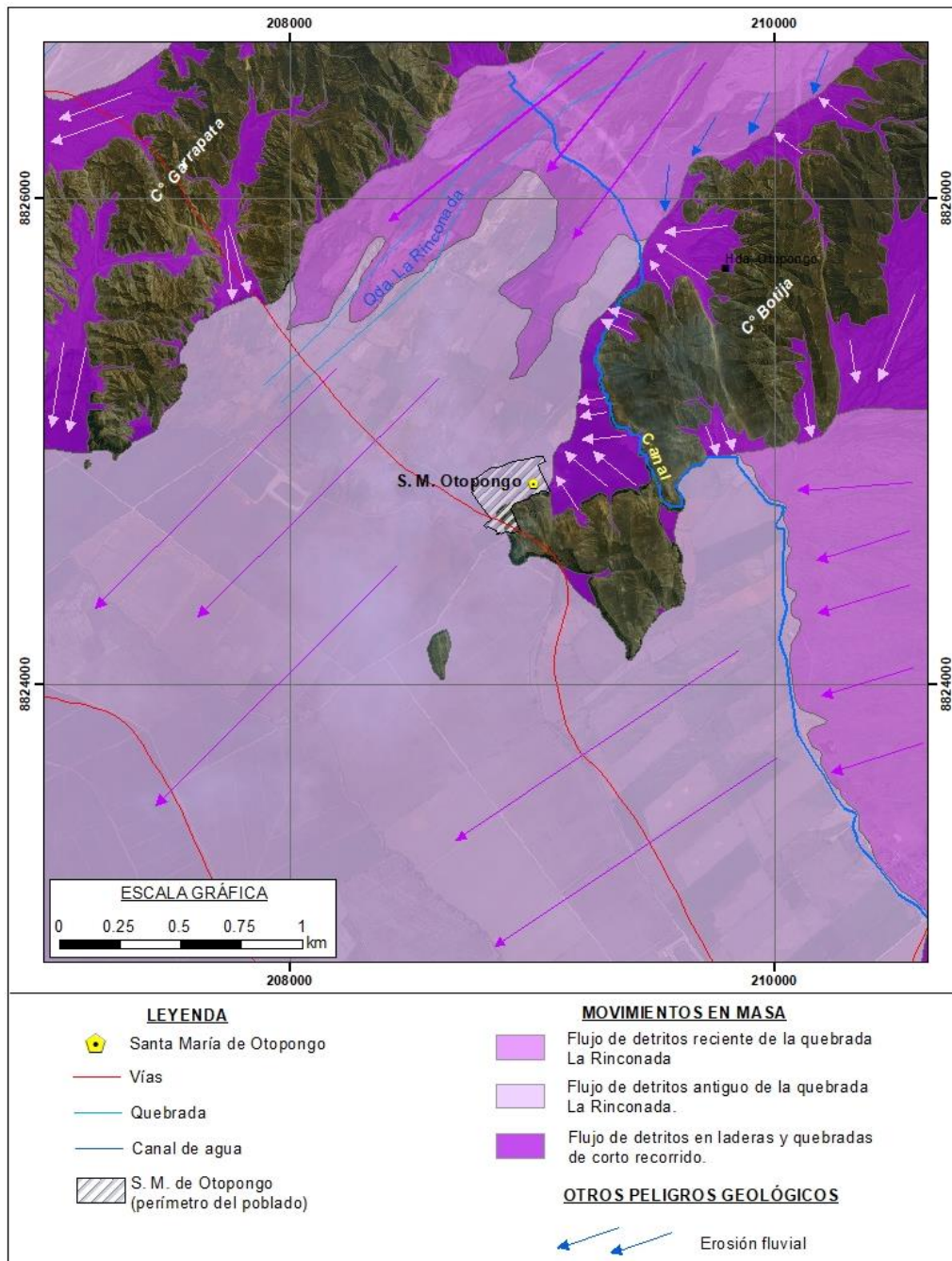


Figura 10: Mapa de peligro geológico por movimientos en masa y otros peligros geológicos en el centro poblado Santa María de Otopongo.

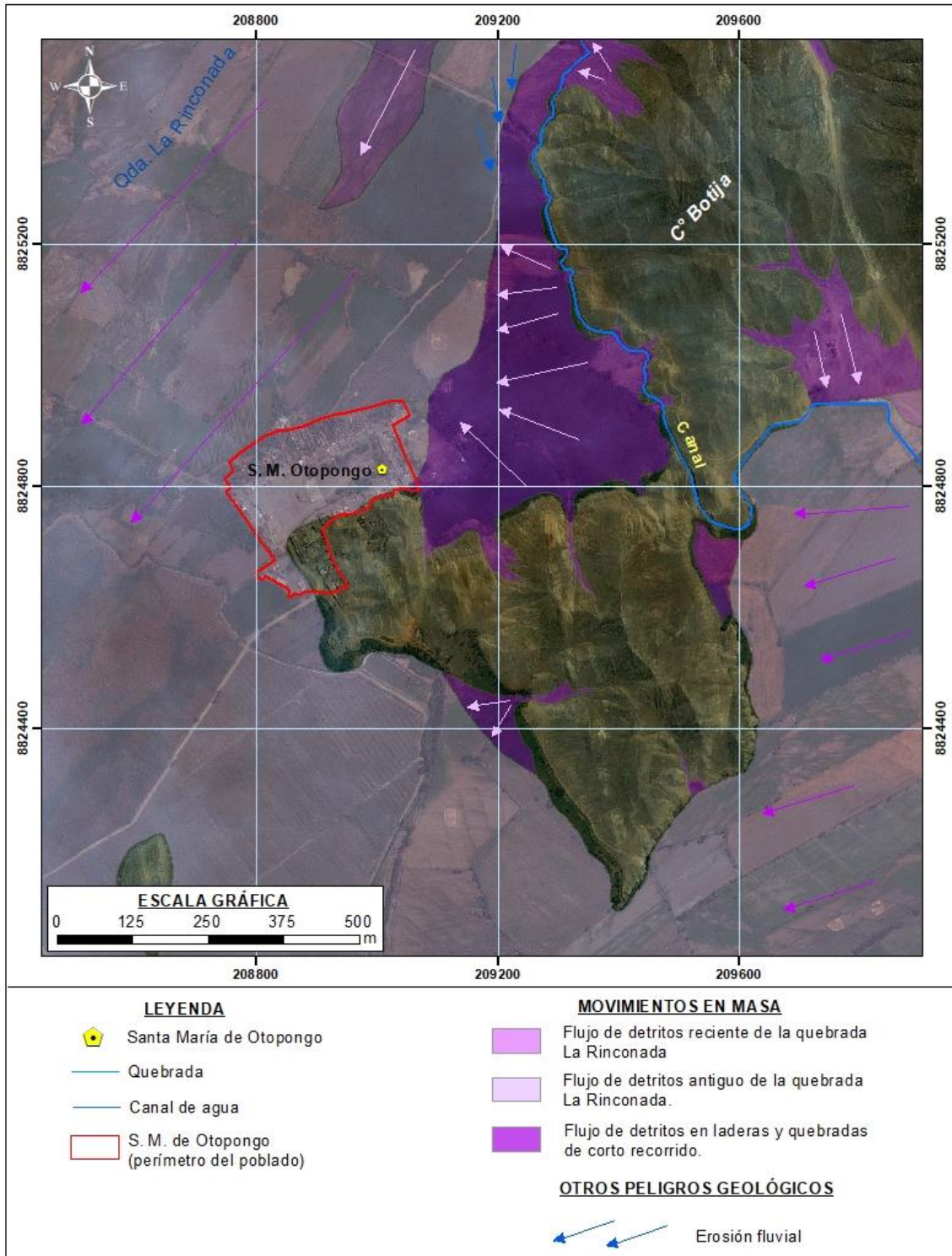


Figura 11: Ampliación del mapa de peligros geológicos y otros peligros geológicos en el centro poblado de Santa María de Otopongo.

7. CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO

En la actualidad, persisten las características intrínsecas del terreno que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa (flujos de detritos) y los denominados otros peligros geológicos (erosión e inundación fluvial); por lo que se debe tener presente que con las lluvias estacionales extraordinarias o asociadas al Fenómeno El Niño, se pueden presentar estos procesos; la magnitud de los eventos están relacionados directamente a la cantidad de precipitación pluvial caída en la cuenca, así como a la disposición de material detrítico suelto.

La ocurrencia de flujos hídricos (agua) o de detritos de gran magnitud, pueden tener como consecuencia la afectación de viviendas, terrenos de cultivo y la infraestructura de riego en las inmediaciones del poblado de Santa María de Otopongo. Así también, los anegamientos producidos por la subida del nivel freático, se asocian a la recarga del acuífero de forma natural (circulación de agua subterránea) o artificial (aporte de agua al subsuelo por riego excesivo).

Finalmente se observó durante los trabajos de campo que los problemas de drenaje subsuperficial se venían presentando en el centro poblado de Santa María de Otopongo, para lo cual como medida de mitigación se han abierto zanjas en el terreno para drenar de forma rápida el agua subterránea.

CONCLUSIONES

El centro poblado de Santa María de Otopongo se ubica en la margen izquierda de la quebrada La Rinconada, en el punto en que el curso de la quebrada sale de entre las estribaciones andinas hacia la planicie costera, depositando los materiales que transporta, formando un abanico aluvio-torrencial; la quebrada es de corto recorrido y tiene un régimen de precipitaciones estacional a extraordinario (fenómeno El Niño).

En los alrededores del centro poblado de Santa María de Otopongo, se identificó peligros geológicos por movimientos en masa (flujos de detritos) y los denominados como otros peligros geológicos (erosión e inundación fluvial); así también, se pudo observar problemas por drenaje subsuperficial (afloramiento del nivel freático).

Los flujos de detritos discurren por el cauce de la quebrada La Rinconada acarrean material areno-gravoso con bloques, los cuales se acumulan en la desembocadura de la quebrada; actualmente estos flujos no han alcanzado el poblado. También se pueden presentar flujos de detritos muy locales y de corto recorrido, formados por concentración de escorrentía superficial que lava los materiales sueltos ladera abajo, depositándolos al pie de laderas y confluencia de pequeños tributarios en el cauce de la quebrada principal.

Los procesos de erosión fluvial también se pueden producir en ambas márgenes de la quebrada La Rinconada, por la divagación del flujo de agua dentro del cauce, el cual puede retomar canales antiguos o abrir nuevos canales erosionando los suelos. En la actualidad los procesos de erosión fluvial se encuentran lejos del centro poblado de Otopongo.

Las condicionantes de la ocurrencia de estos eventos son el substrato rocoso de tipo intrusivo, el cual se presenta fracturado y medianamente meteorizado; la presencia de material suelto de tipo areno-gravoso con limos y bloques; la pendiente del terreno, fuerte a muy fuerte en las vertientes de la quebrada La Rinconada, a muy baja en el cauce del río y el abanico aluvio-torrencial; la presencia de un acuífero poroso con nivel freático cercano a la superficie.

Los flujos de detritos y los procesos de erosión e inundación fluvial tienen como desencadenante las precipitaciones pluviales de carácter estacional y extraordinarios asociados a la variabilidad climática o al fenómeno El Niño que se presentan en la árida costa peruana y las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes. Por otro lado, el problema de afloramiento de agua subterránea, por la subida del nivel freático tendría como detonante las precipitaciones pluviales y el riego realizado en los terrenos de cultivo ubicados a cotas superiores en el lado este y noreste de Santa María de Otopongo.

Finalmente, habiéndose observado las condiciones geodinámicas presentes en la zona evaluada y sus alrededores, se considera que el poblado de Santa María de Otopongo, se encuentra ubicado en una zona de **peligro medio** a la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos) y procesos de erosión e inundación fluvial.


JULIANO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL DEL CALLAO
Ing. CIP. Manuel Salomón Vilchez Mata
ING. GEOLOGO
Reg. N° 01213

RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones que deben tomarse en cuenta a corto y mediano plazo, se tienen:

Para flujos de detritos y erosión fluvial

Realizar trabajos de limpieza y encauzamiento de la quebrada La Rinconada, por medio de la construcción de obras que permitan controlar también la erosión y el desbordamiento, por medio de diques y muros de concreto, estos deben realizarse principalmente en la margen izquierda de la quebrada, para mitigar los efectos de eventos de gran magnitud. El encauzamiento del canal principal de la quebrada debe ser con remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes (figura 12).

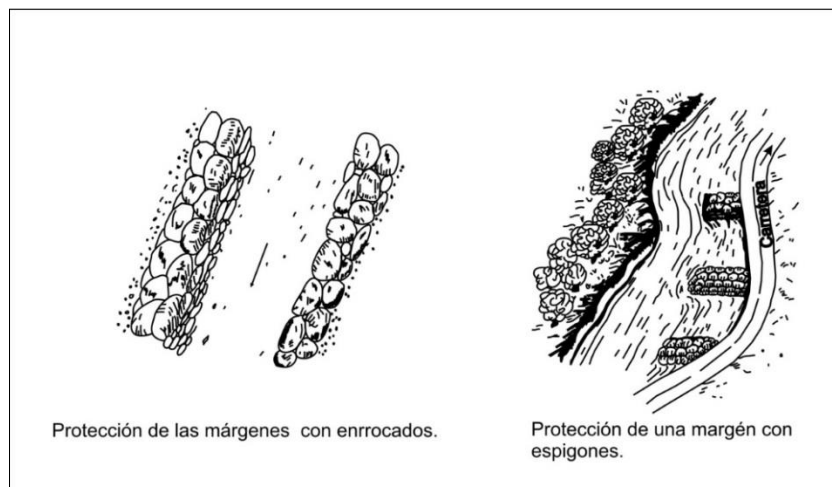


Figura 12: Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.

Realizar la construcción de presas de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de la corriente del curso de la quebrada, que acarrea grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia extraordinaria, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos (figura 13).



Construcción de presas transversales en cauces de quebradas, y propiciar el crecimiento de bosques ribereños.

Figura 13: Presas transversales a cursos de quebradas. (Elaboración propia)

Realizar trabajos de sensibilización con los pobladores de la zona en temas de peligros geológicos y gestión del riesgo de desastres, para que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia

de flujos de detritos (huaicos), o por procesos de erosión e inundación fluvial, que podrían afectar su seguridad física.

Para problemas de drenaje subsuperficial

Realizar un estudio geofísico y hidrogeológico para determinar la ubicación y profundidad del nivel freático, con esta información se podrá diseñar mejor las obras de drenaje.

Drenar las aguas subterráneas, para hacer descender el nivel freático, entre las alternativas a aplicarse tienen: la construcción de drenes laterales y colectores, construcción de pozos verticales de drenaje y zanjas con relleno drenante. Así mismo, realizar el mantenimiento respectivo de las obras de drenaje que se construyan en la zona.

Reducir el volumen de agua utilizado en el riego de cultivos; el riego debe ser tecnificado, con la finalidad de proveer a las plantas del agua necesaria para su crecimiento, evitando de esta forma excesos de agua que puedan infiltrarse al terreno y elevar el nivel freático hasta la superficie del suelo, generado anegamientos.

Reparar tramos dañados y agrietados del canal de riego revestido con concreto y mampostería, para controlar fugas de agua al sustrato y subsuelo.



César Augusto Chacaltana Budiel
Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

REFERENCIAS

- Cobbing, J. (1973) – Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta. Boletín N° 26, Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET. Lima.

- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú-franja N° 04. Boletín N° 29 Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. INGEMMET. Lima.
- Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: ,76, 298 p., 9 mapas. Geodinámica.
- 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., 1 CD-ROM.
- Varnes, D.J. (1978) - Slope movement types and processes. En: Schuster, R.L. & Krizek, R.J., eds., Landslides: analysis and control. Washington, DC: 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.