

**INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 82**



Peligro geológico en la región Tacna

**Lima, Perú
2021**



INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 82

Peligro geológico en la región Tacna

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Equipo de Investigación:

Griselda Luque Poma
Hugo Gómez Velásquez
Walter Pari Pinto
Fluquer Peña Laureano
Melanie Huamán Nieto

Lima, Perú
2021

INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 82

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-07879

Nombre del autor(es). "Esta es una obra colectiva"

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)

Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú

Primera Edición, INGGMMET 2021

Se terminó de imprimir el 22 de julio 2021 en los talleres del INGGMMET

Tiraje: 25

© INGGMMET

Presidente Ejecutivo: Víctor Manuel Díaz Yosa.

Gerente General: Luis Panizo Uriarte.

Comité Editor: Mirian Mamani Huisa, Lionel Fidel Smoll, Yorri Carrasco Pinares.

Dirección encargada del estudio

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico: Lionel Fidel Smoll.

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Yorri Carrasco Pinares.

Revisión Técnica: Mirian Mamani Huisa, Bilberto Zavala Carrión.

Revisor Externo: Iván Santos Paredes.

Corrección gramatical y de estilo: Nelly Córdova Núñez.

Diagramación: Ray Granados Huaylinos

Fotografía de la carátula: Huaico en el sector Mirave, distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre, Tacna.

Referencia bibliográfica

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

Publicación disponible en libre acceso en el Repositorio Institucional del INGGMMET. La utilización, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original ya sea contenida en medio impreso o digital (<https://repositorio.ingemmet.gob.pe>).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen, son de exclusiva responsabilidad del equipo de investigación.

Contenido

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	7
CAPÍTULO I.....	11
INTRODUCCIÓN	11
1.1 PRESENTACIÓN	11
1.2 ANTECEDENTES	11
1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO	13
1.4 PARTICIPACIÓN.....	14
1.5 OBJETIVOS	14
1.6 METODOLOGÍA.....	14
1.6.1 Trabajos previos (Gabinete I).....	14
1.6.2 Recopilación de datos en campo (Campo).....	14
1.6.3 Procesamiento de la información (Gabinete II).....	14
1.7 AGRADECIMIENTOS	15
CAPÍTULO II	17
ASPECTOS GENERALES	17
2.1 SITUACIÓN DE LA REGIÓN	17
2.2 OCUPACIÓN ANTRÓPICA.....	18
2.2.1 Densidad poblacional	19
2.2.2 Crecimiento poblacional	22
2.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS Y SU RELACIÓN CON LA VULNERABILIDAD	
A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS	23
2.3.1 Indicadores de pobreza.....	23
2.3.2 Indicadores de vivienda	24
2.3.3 Indicadores de educación	26
2.3.4 Indicadores de salud	28
2.3.5 Indicadores de economía	29
2.4 INFRAESTRUCTURA MAYOR	32
2.4.1 Infraestructura de transporte.....	32
2.4.2 Infraestructura agrícola	34
2.4.3 Infraestructura energética	35
2.5 CLIMA	37
2.5.1 Temperatura y humedad	39
2.5.2 Precipitación.....	39
2.6 HIDROGRAFÍA	40
2.7 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	41
2.8 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO	42
CAPÍTULO III	45
3.1 GENERALIDADES.....	45
3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS.....	45
3.2.1 Unidad I: Depósito inconsolidado	45
3.2.2 Substrato rocoso	55

CAPÍTULO IV	65
CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	65
4.1 GENERALIDADES	65
4.2 PENDIENTE DE LOS TERRENOS	65
4.3 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	67
4.3.1 Unidades de carácter tectónico-degradacional y erosional	67
4.3.2 Unidades de carácter volcánico degradacional y erosional	75
4.3.3 Unidades de carácter depositacional y agradacional	80
CAPÍTULO V	93
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	93
5.1 GENERALIDADES	93
5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EN LA REGIÓN TACNA	94
5.2.1 Acuíferos	94
5.2.2 Acuitardos (AT)	95
5.2.3 Acuicludos	97
CAPÍTULO VI	99
PELIGROS NATURALES	99
6.1 GENERALIDADES	99
6.2 PELIGRO/AMENAZA	100
6.3 REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS DESASTROSOS EN LA REGIÓN TACNA	100
6.4 PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN	105
6.4.1 Movimientos en masa	106
6.4.2 Peligros geohidrológicos	132
6.4.3 Otros peligros geológicos	142
6.4.4 Grado de correlación entre de peligro – vulnerabilidad y tipología de peligros geológicos	146
6.5 PELIGRO SÍSMICO	149
6.5.1 Sismicidad histórica	149
6.5.2 Distribución de máximas intensidades sísmicas	154
6.5.3 Distribución espacial de los sismos	155
6.5.4 Estudio sísmico probabilístico	156
6.5.5 Zonificación y aceleraciones máximas	159
6.5.6 Movimientos en masa detonados por sismos	162
6.5.7 Licuación de suelos y deformaciones superficiales	163
6.5.8 Tsunamis	163
CAPÍTULO VII	169
ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN TACNA	169
7.1 GENERALIDADES	169
7.2 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	169
7.2.1 Provincia de Candarave	170
7.2.2 Provincia de Jorge Basadre	180
7.2.3 Provincia de Tacna	188
7.2.4 Provincia de Tarata	199
CAPÍTULO VIII	207
ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	207
8.1 GENERALIDADES	207
8.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS	207

8.2.1	Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes.....	208
8.2.2	Mitigación de peligros por deslizamientos	216
8.2.3	Mitigación de peligros por huaicos	218
8.2.4	Mitigación de peligros por erosión de laderas.....	221
8.2.5	Mitigación de peligros por inundación y erosión fluvial	225
8.2.6	Mitigación de peligros por hundimientos y subsidencias	227
8.3	SISTEMAS DE MONITOREO O VIGILANCIA DE HUAICOS CON FINES DE ALERTA TEMPRANA	227
RECOMENDACIONES		233
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		235
ANEXOS		239
RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES		241

RESUMEN

El estudio "Peligro Geológico en la región Tacna" se llevó a cabo con la finalidad de contribuir a la gestión de riesgo de desastres y al desarrollo sostenible de esta región, brindando a las autoridades y la población en general información geocientífica útil para las instituciones involucradas en la planificación territorial de dicha región. Por ese motivo, se ha incidido principalmente en la identificación de los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres. La investigación se ha basado en la revisión de publicaciones científicas, la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales y mapas de cartografía de peligros geológicos a escala 1:50 000 en la región Tacna, que integran una base de datos en un sistema de información geográfica (SIG). De este modo, se ha podido realizar un análisis espacial con el fin de interpretar la evolución de los paisajes geomorfológicos, detectar los procesos que pueden causar desastres y proponer medidas para su prevención y mitigación.

La región está cubierta por sustrato rocoso (64.62 % de la superficie total de la región), constituido por rocas intrusivas, volcánicas, volcánico-sedimentarias, sedimentarias, metamórficas; materiales más recientes constituidos por depósitos inconsolidados de origen aluvial, coluvio-deluvial, químico, volcánico-volcanoclástico, lacustre, eólico, marino, fluvial, proluvial, glaciar y antropógenos (35.38 %) conforman el relleno de los fondos de valle, así como laderas y vertientes, y las planicies que descienden hacia la costa del Océano Pacífico. Las unidades hidrogeológicas que se identificaron en base a un análisis de lito-permeabilidades en Tacna son acuíferos porosos no consolidados, acuíferos fisurados (sedimentarios y volcánicos), acuíferos sedimentarios, acuitardos (en zonas de alteración, sedimentario, subvolcánico, volcánico, intrusivo y volcánico-sedimentario) y acuícludos metamórficos.

El reconocimiento geomorfológico de la región incluye variadas formas de relieve. Las primeras geoformas mencionadas se agrupan en montañas, montañas y colinas, colinas, colinas y lomadas, y altiplanicies presentan mayor distribución en la región (36.91 %). También, se presentan geoformas relacionadas a procesos volcánicos con gran distribución dentro de la región (31.29 %), con formas como cráter volcánico, coladas y campos de lavas basalto-andesíticas, colinas y lomadas ignimbríticas, complejo volcánico, domo volcánico, estratovolcán, mesetas

(volcánica lávica e ignimbrítica), superficies con flujos piroclásticos y disectados, vertiente volcanoclástica; así como unidades más recientes (31.80 %), como piedemontes, morrenas, valles fluviales y glaciares, terrazas aluviales, altiplanicies, planicie aluvial sobre los que se asientan algunas ciudades, llanura o planicie inundable, laguna y cuerpos de agua, bofedales, mantos de arena que recubren amplios sectores de la región, faja litoral, terrazas marinas y depósitos antropógenos como rellenos, botaderos y canteras, todos ligados a procesos gravitacionales y depositacionales.

Los peligros naturales analizados para la región se basan en un análisis histórico, inventario y comprobación de campo. Se trata, en este apartado, los peligros geológicos, de los que se han identificado e inventariado 628 eventos según su origen: por movimientos en masa (78.66 %), peligros geohidrológicos (10.67 %) y otros peligros geológicos (10.67 %) y 45 zonas críticas susceptibles a dichos procesos. Probablemente fueron detonados por lluvias excepcionales. El inventario arroja que en la región son más frecuentes los flujos de detritos o lodo y avalanchas (50.32 % del total de procesos inventariados), luego están las caídas (22.29 %), deslizamientos (3.66 %), movimientos complejos y vuelcos (2.39 %). En menor proporción, también, destacan los fenómenos de inundación, arenamientos, hundimientos, erosión fluvial y de laderas (que suman un conjunto de 21.34 % del total). Sin embargo, los sismos son la principal amenaza que afecta a la población tacneña, tal como indica su elevada frecuencia en los antecedentes históricos. Los sismos pueden activar los peligros mencionados con anterioridad y también pueden provocar la destrucción parcial o total de las construcciones humanas.

Para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas, entre otros), se prepararon mapas temáticos de litología, pendientes, geomorfología, hidrogeología y cobertura vegetal. Luego, se aplicó el método de ponderación de factores (método heurístico). Se consideraron cinco categorías: muy alta susceptibilidad (12.07 %), alta susceptibilidad (25.13 %), moderada o media susceptibilidad (33.04 %), baja susceptibilidad (25.43 %) y muy baja susceptibilidad (4.33 %).

De acuerdo con el análisis de susceptibilidad a inundaciones, el 11.19 % de la región Tacna se localiza en áreas con media y alta susceptibilidad a dichos procesos. Las inundaciones combinadas con la erosión fluvial son las que afectan principalmente a las poblaciones que se encuentran en la vertiente hidrográfica del

Pacífico, terrazas bajas y altiplanicies en zona de bofedales. Finalmente, se proponen algunas alternativas para el manejo de los problemas generados por los movimientos de masa en la región.

ABSTRACT

The study called "Peligro Geológico en la región Tacna" was carried out with the purpose of contributing to the disaster risk management and the sustainable development of this region. In that regard, it provided the authorities and the population in general with useful geoscientific information for the institutions involved in the territorial planning of this region. For this reason, it has mainly focused on the identification of geological and geohydrological hazards that can cause disasters.

The research has been based on the review of scientific publications, the interpretation of aerial photographs and satellite images, and mapping maps of geological hazards at 1:50 000 scale in the Tacna. Thus, they all integrate a database into a system of Geographic information (GIS). In this way, it has been possible to perform a spatial analysis in order to interpret the evolution of geomorphological landscapes, to detect the processes that can cause disasters and to propose measures for their prevention and mitigation.

The region is covered by rocky substratum (64.62 % of the total surface). It is constituted by volcanic rocks intrusive, volcanic, volcanic-sedimentary, sedimentary, metamorphic and the most recent materials constituted by unconsolidated deposits of alluvial, colluvium-delluvial, chemical, volcanic-volcanoclastic, lacustrine, wind, marine, fluvial, proluvial, glacial and anthropogenic origin (35.38 %) make up the filling of valley bottoms, as well as slopes and slopes, and the plains that descend towards the Pacific Ocean coast. Besides, the hidrogeological units were identified based on a litho-permeability analysis, in order to zonify the geological formations most favorable to the storage and circulation of groundwater that crop up in Tacna: porous unconsolidated aquifers, fissured aquifers (sedimentary and volcanic), aquifers (sedimentary and volcanic), sedimentary aquifers, aquitards (in areas of alteration, sedimentary, subvolcanic, volcanic, intrusive and volcanic-sedimentary) and aquicludes.

The geomorphological recognition of the region includes several landforms. The first geoforms mentioned are grouped in mountains, mountains and hills, hill, hills and hills and high plains have greater distribution in the region (36.91 %). There are also geoforms related to volcanic processes (31.29 %) with greater distribution within the region, such as forms

of volcanic crater, coves and basalt-andesitic lava fields, hills and ignimbritic hills, volcanic complex, volcanic dome, stratovolcano, plateaus (lava and ignimbrite volcanic volcanic), surfaces with pyroclastic and dissected flows, volcanoclastic slope. There are also more recent units (31.80 %), such as piedmont, moraines, fluvial valleys and glaciers, alluvial terraces, high plateaus, alluvial plain on which some cities settle, plain or floodplain, lagoon and bodies of water, wetlands, layers of sand that cover wide sectors of the region, coastal strip, marine terraces, islands and anthropogenic deposits as landfills, dumps and quarries, all these linked to gravitational and depositional processes.

The natural hazards analyzed for the region are based on historical analysis, inventory and field testing. Likewise, geological hazards are dealt with in this section, where 628 events have been identified and inventoried, according to their origin: by mass movements (78.60 %); geohydrological hazards (10.67 %) and other geological hazards (10.67 %) and 45 critical zones susceptible to these processes. They were probably detonated by exceptional rains. The inventory in the region shows that debris or mud flows and avalanches are more frequent (50.32 % of the total inventoried processes), falls (22.29 %), landslides (3.66 %), complex movements and rollovers (2.39 %). In a lesser proportion, flood, sand, subsidence, erosion and slope erosion phenomena (totaling 21.34 % of the total) also stand out. However, earthquakes are the main threat affecting to the Tacna population, as indicated by its high frequency in the historical background. Earthquakes can activate the mentioned dangers and also cause the partial or total destruction of human constructions.

For the analysis of the susceptibility to mass movements (landslides, flows, falls among others), thematic maps of lithology, slopes, geomorphology, hydrogeology and vegetation cover were prepared. Then, the method of factor weighting (heuristic method) was applied. Five categories were considered: very high susceptibility (12.07 %), high susceptibility (25.13 %), moderate susceptibility (33.04 %), low susceptibility (25.43 %) and very low susceptibility (4.33 %).

According to the flood susceptibility analysis, 11.19 % of Tacna is located in areas with medium and high susceptibility

to these processes. The floods combined with the fluvial erosion are those that mainly affect the populations that are in the hydrographic slope of the Pacific, low terraces and high

plateaus in area of wetlands. Finally, some alternatives are proposed for the management of the problems generated by mass movements in the region.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet), en el marco del cumplimiento de sus funciones, es la encargada de efectuar el estudio de peligros geológicos en el territorio nacional que afectan a centros poblados y obras de infraestructura. Es así como en el año 2015, programó el proyecto GA45A denominado "Mapa de Riesgos Geológicos de la región Tacna", con la finalidad de evaluar los problemas de geodinámica externa (peligros geológicos por procesos de movimientos en masa y peligros geohidrológicos), que afectan esta zona. Con la información geocientífica que se genera se contribuye a la planificación adecuada de proyectos de desarrollo y a la prevención de desastres futuros en esta región.

Para la identificación de estos peligros geológicos, se efectuaron trabajos de campo y labores de gabinete mediante un cartografiado y fotointerpretación geomorfológico-geodinámica a escala 1:50 000. Complementando los trabajos realizados en el año 2000 en el estudio Riesgos Geológicos del Perú - Franja n° 1, por la DGAR, las ocurrencias suman 628 peligros identificados. Conjuntamente a los trabajos sobre peligros geológicos, se efectuó una evaluación de la seguridad física de centros poblados y obras de infraestructura vulnerables a los peligros geológicos, que sumada a la susceptibilidad permitieron definir las zonas críticas o con alto grado de riesgo.

Una de las problemáticas existente en la región es la ubicación de un gran porcentaje de la población sobre antiguas quebradas "secas" o laderas inestables, donde los movimientos en masa son una de las causas más comunes de generar situaciones de riesgo de desastres al no tomar en cuenta el peligro o peligros latentes de vivir en estas zonas. Las condiciones geológicas, geográficas, climáticas y sísmicas son favorables a la ocurrencia de peligros geológicos y geohidrológicos con cierta periodicidad por la generación de procesos que ocasionan desastres, afectando en diferente grado a estas poblaciones, vías de comunicación e infraestructura, etc. Esta condición en especial constituye un alto grado de riesgo para la región en épocas de avenidas excepcionales como el fenómeno El Niño o sismos

de gran magnitud. Sumado a estos hechos, el riesgo de estas poblaciones se incrementa debido a la precariedad del material y la autoconstrucción de sus viviendas, lo que genera altos costos en los trabajos de recuperación en las zonas afectadas, la pérdida de vidas humanas e infraestructura, así mismo la interrupción de las actividades socioeconómicas. Por esta razón, se considera muy importante su reconocimiento y evaluación.

El presente estudio es el resultado de los trabajos realizados por profesionales de la DGAR. Se pone a consideración tanto de la comunidad científica, profesionales técnicos de la región Tacna, autoridades del gobierno regional y municipalidades, vinculados a la gestión de riesgo de desastres; se contribuye al conocimiento de los aspectos físicos, la ubicación de zonas críticas y la susceptibilidad a los peligros geológicos a los que se encuentran expuestos centros poblados y obras de infraestructura existentes en la región Tacna. Este documento constituye una herramienta técnica para proponer políticas, programas y acciones de prevención ante los peligros naturales, así como los resultantes de los procesos de ocupación territorial; asimismo, constituye una base para el ordenamiento territorial, el desarrollo sostenible y la gestión de resiliencia en nuestro territorio.

1.2 ANTECEDENTES

Existen numerosos antecedentes de estudios e investigaciones que muestran la recurrencia de procesos de movimientos en masa e inundaciones con incidencia en centros poblados y sectores productivos.

Como parte de los estudios e investigaciones básicas y aplicadas que se utilizaron para la confección del presente boletín, se tienen *Los estudios de geología regional* efectuados por Ingemmet en la región entre los años 1962-2012 (boletines de la Carta Geológica Nacional, Serie A, números 4, 6, 7, 10, 11, 15, 29, 139 y 145), que caracterizan la región y determinan los tipos de rocas, sus edades y las potencialidades como recursos minerales. Desde el punto de vista geodinámico, la base de datos sobre peligros de geodinámica externa preparada por la antigua Dirección de Geotecnia del Ingemmet utilizó información de

diversos estudios técnicos, tesis de universidades, información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, reportes periodísticos, etc.

Algunos trabajos anteriores refieren la geodinámica y prevención de desastres en la región Tacna, destacando algunas publicaciones del Ingemmet como el estudio *Riesgos Geológicos del Perú - Franja n° 1* (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000) y *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Tacna* (Luque, G., 2016). Otros estudios que merecen especial atención son los reportes elaborados por otras instituciones: INDECI, 165 emergencias por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Tacna, entre los años 2003 y 2018.

A continuación, se describen brevemente algunos de estos estudios:

- En el estudio *Riesgos geológicos en el Perú - Franja n° 1* (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000), se refieren a los sectores críticos por peligros entre los paralelos 16°00' y 18°00' latitud sur; se analizó a escala regional la problemática de los peligros geológicos y se señalaron tres zonas críticas por este tipo de procesos para la región Tacna.
- En el Informe de *Zonas críticas por peligro geológico en la región Tacna*, Luque señala 45 zonas críticas con evidencia de peligros potenciales activos en cada sector, se expone la infraestructura y población vulnerable a uno o más peligros geológicos.

Durante los últimos 20 años, Ingemmet ha venido realizando diferentes estudios geológicos, volcanológicos y geofísicos en los volcanes Tutupaca y Yucamane (considerados como volcanes activos en el sur peruano). Estos estudios están destinados a conocer y mejorar el conocimiento acerca de la actividad volcánica pasada; como resultado actualmente se cuentan con varias publicaciones:

- *Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Tutupaca* (Fidel & Zavala, 2001; Boletín n° 24, Serie C). El estudio evalúa el peligro o amenaza volcánica que encierra el volcán Tutupaca a partir del tipo de erupciones registradas en su historia; se generó un mapa de zonificación de amenazas principales al ocurrir una eventual reactivación del volcán.
- *Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Yucamane* (Fidel & Huamaní, 2001; Boletín n° 26, Serie C). El estudio evalúa el peligro o amenaza volcánica del volcán Yucamane; se realiza un mapa de zonificación de amenazas principales al ocurrir una reactivación del volcán de acuerdo con el tipo de erupciones o efusiones registradas en su historia.

- *Geología y evaluación de peligros del Complejo Volcánico Yucamane-Calientes* (Rivera *et al.*, 2018; Boletín n° 65, Serie C). Este estudio señala que la evidencia geológica muestra cuatro tipos principales de peligros volcánicos: a) peligros por caídas de tefras; b) por emplazamiento de flujos y oleadas piroclásticas; c) por lahares; d) por avalanchas de escombros y por flujos de lava. En base a los datos geológicos, se ha propuesto cinco escenarios eruptivos en caso de una eventual reactivación volcánica del Yucamane, desde el más posible al menos posible. En caso de una eventual reactivación del volcán Yucamane o volcán Calientes, la zona más propensa a ser afectadas por los productos como caídas de cenizas y eventuales lahares sería principalmente la provincia de Candarave (11 km al SO del volcán), donde habitan cerca de 3482 pobladores, muy cerca de distritos, caseríos/parajes, terrenos de cultivo, pastizales y obras de infraestructura. Asimismo, se vería afectado el ganado camélido que habita en la zona.
- *Geología y mapa de peligros del Complejo Volcánico Tutupaca* (Mariño *et al.*, 2019; Boletín n° 66, Serie C). En este estudio se presentan como principales peligros por el volcán Tutupaca: la caída de cenizas, lahares, flujos piroclásticos, flujos de lava y avalancha de escombros. Tiene como fin que sea utilizado en el ordenamiento territorial, la elaboración de planes de desarrollo, así como en acciones de reducción del riesgo volcánico en la región Tacna. Se han definido cuatro escenarios eruptivos ante una posible erupción del volcán Tutupaca (edificio Tutupaca Reciente): a) crecimiento de domo, acompañado por actividad explosiva de tipo vulcaniano (VEI 1-2); b) crecimiento y colapso de domos con generación de corrientes de densidad piroclástica (VEI 2-3); c) crecimiento de domos con colapso de flanco, emplazamiento de avalanchas de escombros y erupción lateralmente dirigida (VEI 3-4); d) erupción subpliniana a pliniana, con generación de corrientes de densidad piroclástica (VEI 4-5). En base a estos escenarios se elaboró el mapa de peligros múltiples de la zona proximal, el mapa de peligros por lahares, y el mapa de peligros por caída de ceniza y pómez.
- También, se cuenta con la publicación del *Mapa Neotectónico del Perú* (Macharé *et al.*, 2009). Se reconocen importantes fallas neotectónicas en la región. Actualmente, se encuentran en proceso los estudios de Neotectónica en la región Tacna; sin embargo, existen algunas publicaciones relacionadas a fallas activas y grandes depósitos de movimientos en masa en la región como: *Análisis morfoestructural cuantitativo en la falla activa Purgatorio-Mirave: antearco de los Andes Centrales – sur de Perú* (Benavente *et al.*, 2017); *Datación*

de depósitos coluviales utilizando nucleídos cosmogénicos (10Be) – *Cronología del deslizamiento de Aricota* (Delgado et al., 2016).

Cabe mencionar, como información puntual o local, las evaluaciones técnicas de seguridad física realizadas por Ingemmet, que han contribuido en la determinación de zonas vulnerables a los fenómenos de remoción en masa más frecuentes y/o la evaluación de riesgos e impactos a los que están sujetas las poblaciones y obras de infraestructura existentes. Se tiene información de algunas de estas evaluaciones técnicas:

- Informe técnico A5933 *Inspección Geológica-Geodinámica del centro poblado menor de Yarama y alrededores*, distrito Camilaca, provincia Candarave (Núñez, 2004). De acuerdo con la evaluación geológica concluye que el centro poblado se encuentra sobre una pequeña planicie producto de un antiguo deslizamiento, estabilizado con reactivación en el borde inferior del poblado, lo cual no compromete su seguridad física. Asimismo, menciona la presencia de quebradas que cruzan el poblado, que en caso de lluvias extraordinarias generarían flujos de lodo o huaicos. Núñez recomienda encauzar estas quebradas y forestar las laderas superiores al poblado para evitar caída de rocas en caso de sismos.
- Informe Técnico A5934 *Inspección de los peligros geológicos en el anexo de Marjani*, distrito Hualhuani, provincia Candarave (Rivera & Villacorta, 2004). En este informe se identificaron peligros geológicos como derrumbes, caída de rocas, deslizamientos y erosión de laderas debido al intenso fracturamiento en las rocas, pendiente de las laderas, actividad sísmica (sismo del 23/06/2001), intensa deforestación de ladera, infiltración de las aguas de regadío y lluvias que provocaron la saturación del suelo. De acuerdo con las observaciones de campo fue recomendada la reubicación de viviendas en la zona de Aricota a 5 km de Marjani.
- Informe Técnico A6705 *Evaluación de peligros geológicos en el centro poblado Mirave y sector Alto Mirave* (Medina y Luque, 2016). De acuerdo con la evaluación geológica, el centro poblado de Mirave se encuentra asentado sobre depósitos proluviales correspondiente a antiguas ocurrencias de huaicos y flujos de lodo. Dentro del área también se identificaron derrumbes y erosión de laderas. El 26 de mayo del 2015, a las 17:00 horas, se originaron huaicos debido a la ocurrencia de lluvias intensas que en su discurrir afectaron viviendas, vías de comunicación y áreas de cultivo de Mirave. En esta zona fue resaltada la construcción de obras de defensa como diques transversales completamente colmatados por depósitos de huaicos, lo que señala la intensa actividad de la microcuenca

a la ocurrencia de estos huaicos periódicos y/o excepcionales. Debido a esta condición, Medina & Luque consideraron esta zona como de peligro inminente, comprometiendo la seguridad física de las viviendas, tierras de cultivo y toda la infraestructura. Finalmente, recomiendan la reubicación del centro poblado al sector denominado Alto Mirave.

- Informe Técnico A6712 *Evaluación geológica-geodinámica en la quebrada del Diablo* (Luque & Gómez, 2016). Señala que la Asociación de Vivienda La Florida se sienta en el cauce de la quebrada del Diablo, por donde ya discurrieron huaicos y flujos de lodo en el pasado. Identificaron peligros geológicos como derrumbes en forma de canchales de detritos y caída de rocas en ambas márgenes de la quebrada del Diablo. En caso de sismo, las viviendas que se encuentran al pie de las laderas del cerro La Cripta pueden ser afectadas, así como pueden colapsar aquellas edificadas sobre depósitos de relleno (poco o nada compactados). Por las condiciones geodinámicas que se presentan en la zona como son escarpas irregulares y probables flujos en caso de lluvias excepcionales, esta zona es considerada como peligro alto.
- Informe Técnico A6833 (Soncco & Manrique, 2018). *Peligro por deslizamientos en el sector Matarani, distrito Quilahuani, provincia Candarave, región Tacna*. Señala que el sector de Quilahuani y sus alrededores están asentados sobre un megadeslizamiento antiguo, el cual posee 10 km de longitud. Este deslizamiento, aparentemente aún sigue inestable, muestra reactivaciones. En su escarpa se presentan procesos de erosiones de ladera y derrumbes. Esta zona se considera geodinámicamente activa y se considera crítica. El deslizamiento principal en el sector Quilahuani presenta sectores, en los que actualmente se están desarrollando múltiples reactivaciones a manera de pequeños deslizamientos "sector Matarani y Cementerio", por lo que se considera como peligro muy alto.

1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO

El alcance principal de este estudio está relacionado al conocimiento de la geología aplicado a la identificación de los peligros geológicos (movimientos en masa) y geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial); y la evaluación o análisis de susceptibilidad del ámbito territorial a los peligros. Utiliza el método heurístico o de combinación de factores, donde es importante la experiencia del evaluador del territorio; con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica se genera información básica (mapas) adecuada del medio físico, muy útil para la prevención de desastres como para el ordenamiento territorial.

1.4 PARTICIPACIÓN

En el presente estudio participaron profesionales de ingeniería geológica, expertos en la evaluación de peligros geológicos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, y **profesionales en Sistemas de Información Geográfica - SIG de la Dirección de Sistemas de Información del Ingemmet:**

Cartografía geodinámica e inventario, geomorfología, litología, evaluación de peligros geológicos y análisis de susceptibilidad:

Ing. Griselda Luque Poma - Jefe de Proyecto

Ing. Hugo Gómez Velásquez

Geomorfología:

Bach. Edwin Calderón Vilca

Ing. Lucio Medina Allica

Hidrogeología:

Ing. Fluquer Peña Laureano

Bach. Melanie Huamán Nieto

Análisis de peligro sísmico:

Ing. Walter Pari Pinto

Composición, preparación e impresión de mapas:

Ing. Samuel Lu León

La revisión técnico-científica de acuerdo con el procedimiento de elaboración y edición de publicación de boletines en Ingemmet estuvo realizada por:

Revisión por pares - Bilberto Zavala Carrión (especialista en riesgo geológico).

Revisión externa - Iván Santos Paredes.

1.5 OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es contribuir al desarrollo sostenible de la región Tacna, y al mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes, brindando a las autoridades y a la población información de base y temática sobre los problemas geológicos que los afectan.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Obtener información básica sobre el origen, causas y efectos de los peligros geológicos en la región.
- Continuar con la identificación, cartografía e inventario sistemático de peligros geológicos y geohidrológicos por regiones y conocer la geodinámica del territorio nacional.

- Evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de peligros geológicos y geohidrológicos en la región.

- Identificar las zonas críticas a peligros geológicos en la región para obtener alcances de la vulnerabilidad de la población e infraestructura, ante la posible ocurrencia de peligros naturales.

- Generar información técnico-científica de calidad, que sea tomada en cuenta como instrumento para las políticas de prevención de desastres y gestión de riesgo como la ZEE.

- Involucrar, comunicar y sensibilizar a la población en la temática de los peligros naturales, cómo los pueden afectar y qué deben hacer para prevenirlos.

1.6 METODOLOGÍA

La metodología empleada para el presente estudio consta de tres etapas de trabajo:

1.6.1 Trabajos previos (Gabinete I)

Durante esta etapa, se recopiló, evaluó y sistematizó información acerca del área de estudio. Además, se realizó la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite disponibles en la plataforma Google Earth. En estas fotos e imágenes se reconocieron los contactos litológicos, lineamientos, unidades geomorfológicas y áreas afectadas por movimientos en masa como derrumbes, caídas, flujos, etc., los cuales se plasmaron en 11 hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional.

1.6.2 Recopilación de datos en campo (Campo)

En esta etapa se efectuó la cartografía, inventario y caracterización de peligros geológicos en la región Tacna, además de realizar la evaluación preliminar de la seguridad física de los centros poblados e infraestructuras, la difusión del estudio, y sensibilización de la población y autoridades sobre la temática de prevención de desastres. Dichos trabajos se llevaron a cabo durante el año 2015, en el que se realizó el inventario y la cartografía de procesos geológicos y geohidrológicos. Estos trabajos permitieron recolectar una serie de datos geológicos y geomorfológicos en base a los cuales se definió el comportamiento geodinámico en la región, a escala de trabajo 1:50000. Simultáneamente, se efectuó la identificación de zonas críticas o con alto grado de peligro geológico y zonas expuestas o vulnerables para las cuales se brindan, en el capítulo VII, algunas recomendaciones que ayudarán a decidir qué obras de prevención se ejecutarán.

1.6.3 Procesamiento de la información (Gabinete II)

Una vez concluida la etapa de campo se procesó la información previa y la obtenida en campo, categorizando los procesos

inventariados por su grado de peligrosidad. Paralelamente, se generaron los mapas temáticos finales, los modelos de susceptibilidad, se elaboró el informe respectivo y la base de datos georeferenciada.

1.7 AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Gobierno Regional de Tacna, Municipalidad Provincial de Tacna, COER Tacna, a las instituciones

públicas (INDECI, MINAM, CENEPRED), a los Secretarios Técnicos de Defensa Civil de los distritos de la región Tacna y a todos los profesionales que realizaron estudios anteriores en la región, cuya información ha sido valiosa en la elaboración de este trabajo. Asimismo, agradecemos a todos aquellos que contribuyeron brindando facilidades para la ejecución de los trabajos de campo.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES

2.1 SITUACIÓN DE LA REGIÓN

El departamento de Tacna está ubicado en el extremo sur del país; sus coordenadas geográficas se sitúan entre 16°44' y 18°20' de latitud sur y 69°28' y 71°08' de longitud oeste. El territorio abarca zonas de la costa y de la sierra con alturas que varían desde los 2 m s. n. m. (Punta Colorada, Sama) hasta más de 5815 m s. n. m. (volcán Tutupaca, Camilaca), y con presencia de volcanes como el Tutupaca y el Yucamane.

El territorio de Tacna abarca una superficie de 16 044 km² (superficie en que se incluye el islote de Ite), extensión que representa el 1.25 % del territorio nacional. Limita por el norte con Moquegua y Puno; por el sur, con la República de Chile; por el este, con la República de Bolivia; y por el oeste, con el Océano Pacífico.

Políticamente el departamento de Tacna está dividido en cuatro provincias (Candarave, Tarata, Jorge Basadre y Tacna) y 28 distritos. La provincia de Tacna tiene como capital la ciudad de Tacna (568 m s. n. m.), que a su vez es la capital del departamento. Tacna subdivide en diez distritos; Tarata, en ocho distritos; Jorge Basadre, en tres distritos; y Candarave, en seis distritos. Según el XI Censo Nacional de Población (INEI, 2017), la región Tacna cuenta con 329 332 habitantes (figura 1).

Morfológicamente, Tacna es una región de marcados contrastes en su territorio, está ubicada al oeste de la meseta del Titicaca. Se distingue, principalmente, la Cordillera de la Costa que bordea el litoral y que incluso se extiende hacia el mar, formado relieves escarpados a ondulados que en gran parte no superan los 500 m de altitud. Las pampas o llanuras preandinas que

constituyen la Faja Costanera, configurando relieves casi horizontales o levemente inclinados, cortados por quebradas poco profundas; esta faja está formada por una cobertura de terrazas marinas, depósitos aluviales y acumulaciones eólicas. La Cordillera Occidental es la más elevada del departamento, con alturas que superan los 5569 m s.n.m.; la línea de cumbres sigue una dirección paralela al litoral Pacífico y es la divisoria continental de las aguas, a los 4200 m s. n. m., donde en el lado oriental se forma una altiplanicie sobre la cual se levantan conos volcánicos. La franja de conos volcánicos está formada por una cadena de aparatos volcánicos como el Tutupaca y Yucamane. El relieve y la altitud constituyen los factores fundamentales de diferenciación. Geográficamente, presenta tres zonas geográficas: la costa que va de 0 a 2000 m s. n. m.; la zona intermedia de los 2000 a 4000 m s. n. m.; y la zona altoandina de los 4000 m s. n. m., a más. El valle de Tacna se erige sobre desiertos y tierras rocosas de origen volcánico, donde se sitúa la ciudad capital, Tacna. Sus tierras, consideradas como un oasis en medio de zonas agrestes, se dedican a la actividad agrícola y tienen al olivo como uno de los principales cultivos. La sierra de Tacna se encuentra en la cordillera del sur del país y es de relieve accidentado; se encuentra en la Cordillera del Barroso, cuyos picos más altos se elevan sobre los 5000 m s. n. m. (nevado Barroso), además de la cadena de nevados conformados por Larjanco (5585 m), Iscailarcanjo (5415 m), Paucarani (5318 m), Tres Puntas (5350 m), El Fraile (5569 m), Huancune (5567 m) y Chupiquiña (5805 m). En sus laderas y faldas del volcán Tacora (5982 m) se ubican las azufreras que quedaron en territorio chileno por efecto de la delimitación de fronteras.

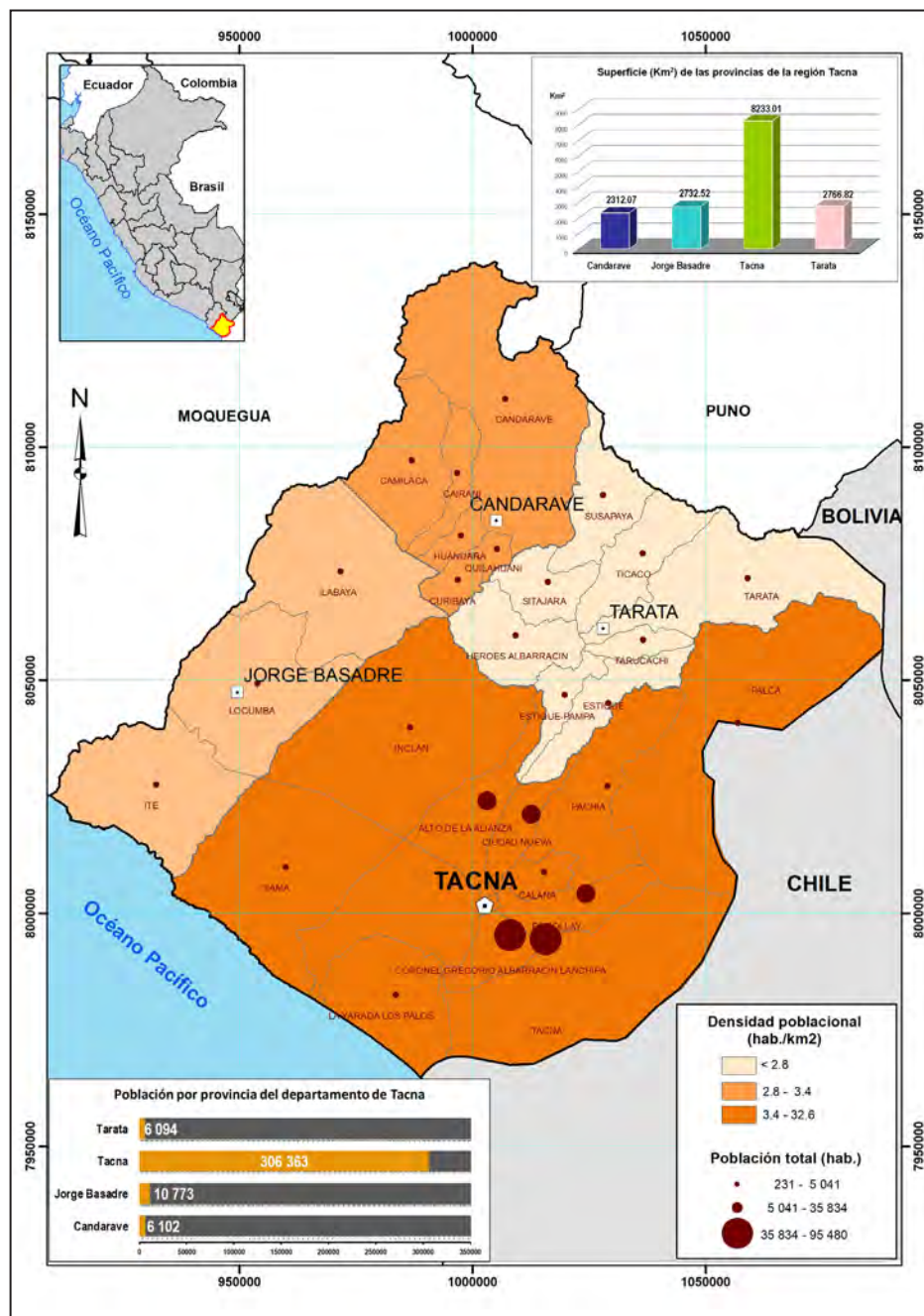


Figura 2.1 Ubicación y características demográficas del departamento de Tacna. Elaboración propia con datos del INEI, Censo 2017.

2.2 OCUPACIÓN ANTRÓPICA

Tacna es uno de los puntos de referencia más importantes para conocer la antigüedad del hombre en el Perú. Se trata de Toquepala, donde existe una impresionante colección de pinturas rupestres que fueron realizadas hace 9500 años. Hacia los años 1500 a. C y 200 d. C, en los valles de Tacna,

se asentaron poblaciones que se alimentaban sobre todo de productos marinos. Estos grupos se volvieron sedentarios y se especializaron en la artesanía, aún antes de desarrollar la agricultura. Las culturas Tiahuanaco y Pucará vieron en estos valles la oportunidad de ampliar sus fronteras agrícolas.

En 1537, luego de que Diego de Almagro retornara por la ruta

costera tras la fracasada expedición a Chile, se convirtió en el primer español en conocer el territorio tacneño. Las condiciones favorables de la región atrajeron diversas personalidades a la denominada Villa de San Pedro de Tacna. Hacia 1620, la zona destacó por su producción de vid y por la gran cantidad de llamas que servían para llevar el vino hasta Oruro y La Paz. Esta villa era el centro obligatorio en el transporte de metal precioso entre las minas de Charcas y el puerto de San Marcos de Arica. Los piratas ingleses y holandeses eran una grave amenaza para el puerto, por lo que en 1718 las autoridades decidieron trasladar las Cajas Reales de Arica a Tacna, e instalar allí la fundición de minerales.

Gracias a la cercanía con los patriotas de la ya emancipada Argentina, los tacneños mantuvieron una intensa actividad conspiradora y fueron testigos del primer levantamiento armado con fines emancipadores en el Perú. Dirigido por Francisco Antonio de Zela y Arizaga, y apoyado por el cuartel argentino, este movimiento logró tomar los cuarteles y con ello el control de Tacna y Arica el 20 de junio de 1811. Sin embargo, días después Zela enfermó y fue capturado con ayuda de un delator; lo llevaron al presidio de Charges, donde falleció años después. El 3 de octubre de 1813, se realizó un segundo levantamiento, en el que los hermanos Enrique y Juan Paillardelle (oficiales del ejército realista) en contacto con el general rioplatense Manuel Belgrano y respaldados por el pueblo organizaron un movimiento insurgente simultáneo en Arequipa, Tacna y Tarapacá, tomando el control de Tacna y Arica. El 31 de octubre, 400 voluntarios sin experiencia militar y con armas insuficientes se enfrentaron a los realistas en Camiara, donde fueron fácilmente derrotados. Tras la capitulación de Ayacucho, Tacna juró la Independencia el 24 de diciembre de 1824 y cuatro años después, recibió el título de "Heroica Ciudad" por su contribución a la causa independentista. El 25 de junio de 1875, el departamento de Tacna fue fundado mediante Ley promulgada por el entonces presidente del Perú, Manuel Pardo y Lavalle, al separarlo del departamento de Moquegua.

El 5 de abril de 1879, Chile declaró la guerra al Perú. Tras suscribir la alianza con Bolivia, el presidente Mariano Ignacio Prado instaló en Tacna el comando militar supremo. El primer enfrentamiento de este conflicto se realizó en Iquique, con Miguel Grau al mando del monitor Huascar, cuya lucha por el control del mar se prolongó durante 4 meses, hasta que el 8 de octubre de 1879, frente a la Punta Angamos, la escuadra chilena, más numerosa y mejor equipada, venció la resistencia del Huáscar. El 27 de noviembre, los aliados vencieron en la batalla de Tarapacá, pero tuvieron que replegarse hasta Arica. En febrero de 1880, Chile bombardeó el puerto de Arica, sus tropas desembarcaron en Ilo y marcharon sobre Tacna. El 26 de mayo se llevó a cabo la batalla del Alto de la Alianza, donde

las fuerzas aliadas se encontraban en desventaja numérica y de armas. Luego de su victoria, los chilenos ocuparon Tacna y se enfrentaron con la última defensa peruana: la guarnición de Arica al mando del coronel Francisco Bolognesi. El 7 de junio, un grupo de valientes, entre ellos Joaquín Inclán y Alfonso Ugarte, batallaron "hasta quemar el último cartucho". No obstante, el coraje no fue suficiente para detener las fuerzas chilenas que sometieron a las poblaciones de Tacna y Arica.

El 20 de octubre de 1883, se firmó en Ancón el Tratado de Paz, por el que Tarapacá pasó a formar parte del territorio chileno, y Tacna y Arica serían retenidas por diez años y luego mediante la votación de sus pobladores se definiría su estatus. Sin embargo, después de diversos intentos por hacer cumplir los términos del Tratado de Ancón, el gobierno de Leguía aceptó un polémico acuerdo mediante el cual se definía la permanencia de Tacna como parte de Perú y Arica pertenecería a Chile. El 28 de agosto de 1929, Tacna regresó formalmente a la heredad nacional. La Municipalidad de Tacna decidió como primer acuerdo bautizar la plaza de Armas con el nombre de Augusto B. Leguía (Empresa Editora El Comercio, 2009).

2.2.1 Densidad poblacional

De acuerdo con el XII Censo Nacional de población y VII de vivienda (CPV, 2017), el departamento de Tacna cuenta con una población de 329 332 personas que equivale al 1.1 % respecto al total nacional.

Según el Censo Nacional 2017, en el departamento de Tacna, el 50.3 % (165 678) son mujeres y el 49.7 % (163 654) hombres. La provincia que concentra el mayor número de habitantes es Tacna, con 306 363 personas, que representa el 92.9 %; sigue la provincia de Jorge Basadre, que alberga 10 773 habitantes (3.3 %); mientras que las provincias Candarave y Tarata son las menos pobladas, con 6102 y 6094 habitantes, ambas con 1.9 %, según se muestra en el cuadro 2.1 (INEI, 2018a).

La densidad poblacional de Tacna es 20.5 hab/km², inferior al promedio nacional (24.3 hab/km²). El incremento de la densidad poblacional de 1940 al 2017 en Tacna fue de 8.9 número de veces (cuadro 2.2). El 90.1 % de sus habitantes vive en áreas urbanas y el 9.9 % en áreas rurales (cuadro 2.3). A nivel de provincias, el porcentaje más alto de la población urbana se encuentra en Tacna (94.3 %), seguido de Jorge Basadre (47.4 %) y Tarata (46.0 %), mientras que en el área rural en la provincia de Candarave (100.0 %) y en la provincia de Tarata (54.0 %).

En cuanto a la composición de la población por edades, el 57.1 % es menor de 35 años y el 23.0 % es menor de 15 años. La edad promedio es 32.5 años, cifra superior al promedio nacional (32 años).

Cuadro 2.1

Población censada por provincias y sexo del departamento de Tacna, 2017

Provincia	Población	%	Hombre	Mujer
Total	329 332	100	163 654	165 678
Tacna	306 363	92.9	150 550	155 813
Candarave	6 102	1.9	3 160	2 942
Jorge Basadre	10 773	3.3	6 516	4 257
Tarata	6 094	1.9	3 428	2 666

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Cuadro 2.2

Densidad poblacional por años censales del departamento de Tacna, 1940-2017

Año censal	Población censada total	Densidad poblacional (hab/km2)
1940	36 349	2.3
1961	66 024	4.1
1972	95 444	5.9
1981	143 085	8.9
1993	218 353	13.9
2007	288 781	18.4
2017	329 332	20.5

Fuente: INEI-Censos nacionales de población y vivienda, 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 y 2017.

Cuadro 2.3

Población censada urbana y rural, según provincia, 2017

Provincia	Total	Urbana		Rural	
		Pob. censada	%	Pob. censada	%
Total	329 332	296 788	100	32 544	100
Tacna	306 363	288 875	97.4	17 488	53.7
Candarave	6 102	--	--	6 102	18.8
Jorge Basadre	10 773	5 111	1.7	5 662	17.4
Tarata	6 094	2 802	0.9	3 292	10.1

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

En los últimos setenta años, la población rural ha mostrado una tendencia a disminuir (1940-2017). Según los censos realizados (gráfico 2.1), se ha confirmado la tendencia creciente

y decreciente para la parte urbana y rural, respectivamente; así para el año 2017 se ha registrado que la población rural fue del 9.9 % y la población urbana fue del 90.1 %.

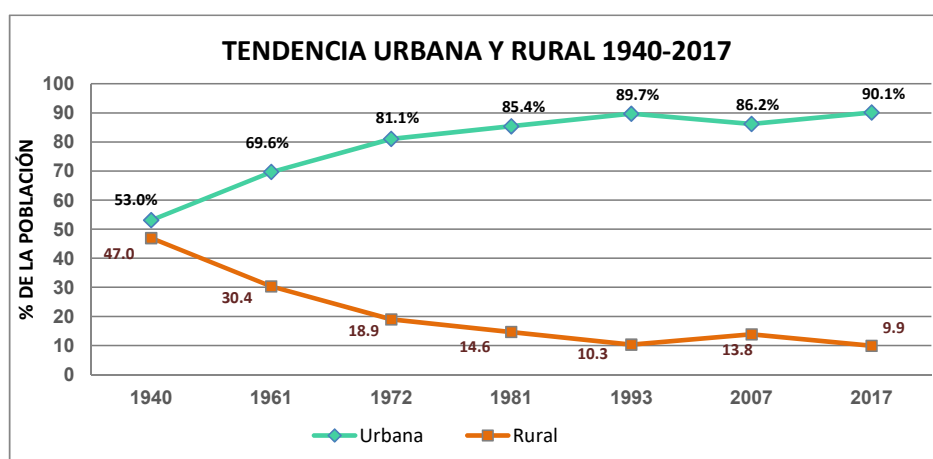


Gráfico 2.1 Tendencia urbana y rural del departamento de Tacna.

Fuente: Censos nacionales de población y vivienda (INEI) 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 y 2017.

Del gráfico 2.2, se puede analizar la evolución de la población que se refleja en la forma de una pirámide poblacional. En décadas anteriores, esta población presentaba una base ancha y vértice angosto. Desde el censo 2007, la base se ha ido reduciendo y mostrando un ensanchamiento progresivo. El censo 2017 presenta una base más reducida y un ensanchamiento progresivo en los centros, que da cuenta de un menor número de nacimientos y mayor población en edad activa. Asimismo, se observa mayor proporción en la población adulta mayor (INEI, 2018a).

En los últimos años, la población comprendida en el grupo de edad de 0 a 29 años tiene un comportamiento decreciente

tanto para hombres y mujeres, observándose una reducción considerable en el grupo de 15 a 19 años. En el grupo de 30 a 34 años, solamente decrece la población femenina. A partir del grupo de 35 a 39 años hasta el grupo de 60 a 64 años, existe un aumento de las personas en edad de trabajar o productiva.

En la cúspide de la pirámide se evidencia el proceso de envejecimiento de la población tacneña; la proporción de mujeres es ligeramente mayor a la de los hombres en edad adulta mayor (80 y más años).

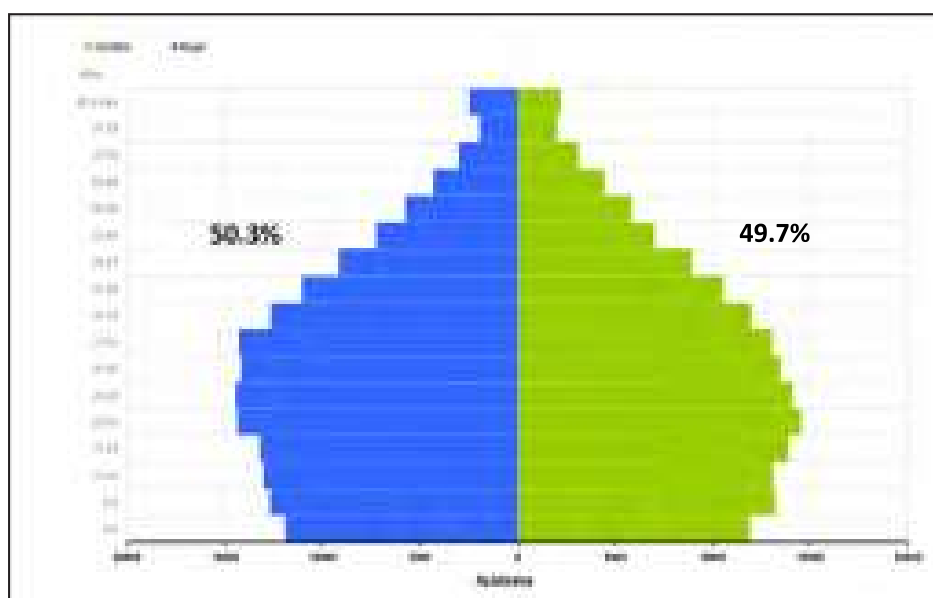


Gráfico 2.2 Edad en grupos quinquenales según sexo del departamento de Tacna.

Fuente: Censo nacional de población y vivienda 2017 (INEI).

2.2.2 Crecimiento poblacional

Como se puede observar en el gráfico 2.3, el mayor incremento promedio anual de población se presentó en el periodo 1972-1981, en el que se alcanzó una tasa de crecimiento de 4.5 %. La tendencia es decreciente en el periodo intercensal de 1981-2007; se registró el más bajo índice de crecimiento poblacional,

llegando a 2.0 % de crecimiento anual, y continuando este proceso en los siguientes años.

Posteriormente, el ritmo de crecimiento ha ido disminuyendo en forma sostenida, llegando a 1.3 % en el último periodo intercensal 2007-2017. Es decir que la población continuará creciendo, pero a un menor ritmo.

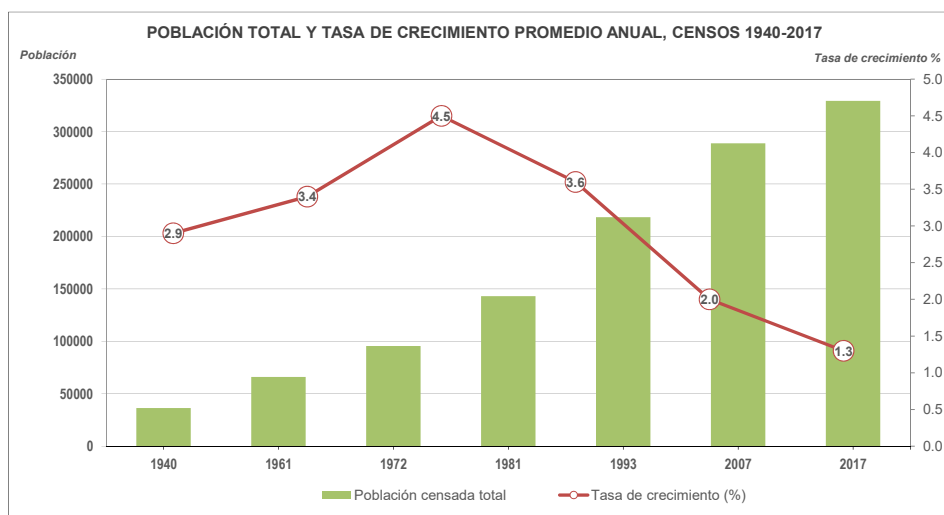


Gráfico 2.2 Población total y tasa de crecimiento promedio anual del departamento de Tacna

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI- Censos Nacionales de Población y Vivienda 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 y 2017.

De acuerdo con el censo nacional 2017, en el cuadro 2.4, se muestra que la provincia que concentra el mayor número de habitantes es Tacna, con 306 363 personas, agrupando más de la mitad de la población del departamento (92.9 %); sigue la provincia de Jorge Basadre que alberga 10 773 habitantes (3.3 %); mientras que las provincias de Candarave y Tarata son las menos pobladas, ambas con 1.9 %.

En el periodo intercensal 2007-2017 (INEI, 2018a), se observa que la tasa de crecimiento promedio anual es mayor en la provincia de Tacna, con un aumento de la población de 16.6 %, que crece a un ritmo promedio anual de 1.5 %. Por el contrario, las provincias que presentan tasas decrecientes son Candarave (-3.1%) y Tarata (-2.4%).

Cuadro 2.4

Población censada y tasa de crecimiento promedio anual, según provincia del departamento de Tacna, 2007-2017

Provincia	2007		2017		Variación intercensal		Tasa de crecimiento prom. Anual
	Pob. censada	%	Pob. censada	%	Absoluto	%	
Total	288 781	100	329 332	100	40 551	14	1.3
Tacna	262 731	91	306 363	92.9	43 632	16.6	1.5
Candarave	8 373	2.9	6 102	1.9	- 2 271	-27.1	-3.1
Jorge Basadre	9 872	3.4	10 773	3.3	901	9.1	0.9
Tarata	7 805	2.7	6 094	1.9	- 1 711	-21.9	-2.4

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2007 y 2017.

2.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS Y SU RELACIÓN CON LA VULNERABILIDAD A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS

2.3.1 Indicadores de pobreza

En el departamento de Tacna, en el año 2017, la incidencia de la pobreza monetaria tenía tasas que fluctúan entre el 12.1% y 14.6 %; la población se encontraba en situación de pobreza, es decir que tenían un nivel de gasto inferior al costo de la canasta básica de consumo compuesto por alimentos y no alimentos.

Según dominios geográficos, la pobreza aumentó en casi todos los niveles, a excepción de la costa rural y sierra urbana que disminuyeron en 4.3 % y 0.6 %, respectivamente.

Tacna se encuentra en el cuarto grupo de acuerdo con la distribución realizada por el INEI (2018a). En la evolución de la pobreza monetaria 2007-2017 (cuadro 2.5), con tasas de pobreza entre 12.1 % y 14.6 %, juntamente con los departamentos de Arequipa, Lambayeque, Moquegua, Provincia Constitucional del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes y Ucayali.

Cuadro 2.5

Grupos de departamentos con niveles de pobreza monetaria estadísticamente semejante, 2017

Grupo	Departamentos	Intervalos de confianza al 95 %	
		Inferior	Superior
Grupo 1	Cajamarca	43.1	52
Grupo 2	Amazonas, Apurímac, Ayacucho, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Pasco, Puno.	33.3	36.8
Grupo 3	Ancash, Cusco, Junín, La Libertad, Piura, San Martín.	23	26.2
Grupo 4	Arequipa, Lambayeque, Moquegua, Prov. Const. del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes y Ucayali.	12.1	14.6
Grupo 5	Ica, Madre de Dios.	2.1	4.8

Nota: Los valores del intervalo corresponden a los límites inferior y superior de cada grupo robusto.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática-Encuesta Nacional de Hogares, 2007-2017.

En el año 2017, la pobreza extrema afectó al 3.8 % de la población del país. Se determinó cinco grupos de departamentos con niveles de pobreza extrema semejantes (INEI, 2018a), encontrándose Tacna en el quinto grupo con una de las tasas más bajas de pobreza extrema (cuadro 2.6). El primer grupo lo integra Cajamarca con tasa de pobreza extrema entre 13.5 % y 20.5 %.

Del análisis precedente, se plantea que los espacios provinciales y distritales con mayor incidencia de pobreza, requieren ser incluidos con prioridad en los planes de desarrollo y asistencia con el propósito de que mejoren sus condiciones de vida con el acceso a los mercados, y su participación en las actividades

productivas y de servicios. Esto significa que para superar gradualmente la pobreza localizada se precisa contar con vías de comunicación terrestre en mejor estado.

Por ello, es necesario tener en cuenta que el riesgo no solo depende de la posibilidad que se presenten eventos o fenómenos naturales, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan que se desencadenen desastres cuando se presentan dichos fenómenos. La vulnerabilidad está íntimamente ligada a los procesos sociales que se desarrollan en las áreas propensas. Por todo ello, estos indicadores sirven para el conocimiento y cálculo de la vulnerabilidad, elemento importante en el análisis de riesgo.

Cuadro 2.6

Grupos de departamentos con niveles de pobreza extrema estadísticamente semejante, 2017

Grupo	Departamentos	Intervalos de confianza al 95%	
		Inferior	Superior
Grupo 1	Cajamarca	13.5	20.5
Grupo 2	Amazonas, Huancavelica, Loreto, Puno	7.4	10.2
Grupo 3	Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Junín, Pasco, Piura	4.7	6.5
Grupo 4	Ancash, Cusco, La Libertad, San Martín, Ucayali	2.9	4.4
Grupo 5	Arequipa, Ica, Lambayeque, Madre de Dios, Moquegua, Prov. Const. del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes	0.4	1

Nota: Los valores del intervalo corresponden a los límites inferior y superior de cada grupo robusto

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática-Encuesta Nacional de Hogares, 2013-2017.

2.3.2 Indicadores de vivienda

De acuerdo con el censo de población y vivienda del año 2017 (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática, 2018a), existen 150 915 viviendas particulares en el departamento de Tacna, de los cuales 136 573 (90.2 %) se encuentran en la provincia de Tacna; seguido de la provincia de Jorge Basadre con el 3.9 % (5865); la provincia de Tarata con el 3.0 % (4549) y la provincia de Candarave con 4458 viviendas equivalente al 2.9 % (gráfico 2.4). La mayoría con 89.8 % (135 589) son casas independientes, seguido de las viviendas improvisadas con 3.6 % (5499), las

chozas o cabañas con 3.2 % (4781) y los departamentos en edificio 2.9 % (4329), mientras que las viviendas en quinta, casas de vecindad y locales no destinados para habitación humana representan en conjunto el 0.5 %, de las cuales el 88.7 % (133 879 viviendas) son ocupadas y el 11.3 % (17 036 viviendas) están desocupadas.

Por área de residencia, del total de viviendas particulares del departamento (150 915), el 79.7 % (120 274) corresponden al área urbana y el 20.3 % (30 641) al área rural (cuadro 2.7).

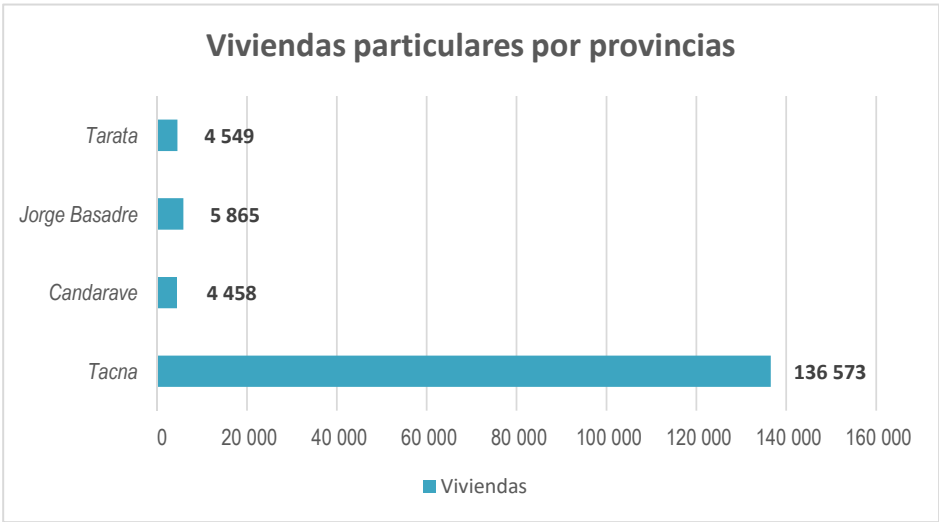


Gráfico 2.4 Viviendas por provincias del departamento de Tacna, según el Censo INEI, 2017.

Cuadro 2.7

Viviendas particulares, según área urbana y rural y tipo de vivienda del departamento de Tacna

Tipo de vivienda	Total	Urbana		Rural	
		Viviendas	%	Viviendas	%
Total	150 915	120 274	100	30 641	100
Casa independiente	135 589	109 877	91.4	25 712	83.9
Departamento en edificio	4 329	4 323	3.6	6	0
Vivienda en quinta	295	295	0.2	--	--
Vivienda en casa vecindad	280	264	0.2	16	0.1
Choza o cabaña	4 781	--	--	4 781	15.6
Vivienda improvisada	5 499	5 407	4.5	92	0.3
Local no destinado para habitación humana	139	108	0.1	31	0.1
Otro tipo ^{1/}	3	--	--	3	0

1/ Incluye cualquier estructura no destinada para habitación humana como cueva, vehículo abandonado o refugio natural.

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

En la figura 2.2, se muestra el perfil físico y servicios básicos de las viviendas como el abastecimiento de agua potable en Tacna. Abarca la mayoría de las viviendas con un 73.2 % que tiene conexión interna con la red pública; el 13.6 % que se abastece con pilón o pileta de uso público; el 7.5 % que se abastece de camión-cisterna, pozo u otro similar; el 3.9 % que tiene conexión externa; y el 1.8 % que se abastece por manantiales, ríos o similares. La cobertura del servicio higiénico abarca la mayoría de las viviendas del departamento de Tacna (75.1 %) que disponen de servicio higiénico conectado a la red pública, dentro o fuera de la vivienda; sigue el 9.9 % de viviendas que acceden a pozo ciego o negro; el 3.7 % de las viviendas que acceden a letrina (con tratamiento); y el 8.4 % de las que cuentan con pozo séptico. Cabe señalar que el 2.9 % de las viviendas utilizan otro tipo de eliminación de excretas (campo abierto, al aire libre, en el mar, casa abandonada, río, acequias, entre otros).

En cuanto al servicio de alumbrado eléctrico, el 86.7 % (84 558) de las viviendas particulares con ocupantes presentes en Tacna

cuentan con conexión a la red pública y el 13.3 % (12 987), no disponen de este servicio.

Con respecto a los materiales con que están construidas las viviendas, el 80.9 % tiene paredes de ladrillo y cemento; el 7.8 % tiene paredes de adobe o tapia; el 2.7 % de madera; el 7.4 % con paredes de triplay, calamina o estera; y el 1.2 % con otro tipo de material (quincha, piedra con barro, sillar, entre otros). Asimismo, el 50.8 % de viviendas tiene pisos de cemento; de tierra 27.4 %; losetas y terrazos 15.4 %; de parquet, madera pulida, madera el 3.2 %; y el resto 3.2 % de láminas asfálticas y otros.

En el departamento de Tacna hay 97 545 hogares, el 94.3 % de las viviendas particulares con ocupantes presentes tiene un solo hogar, el 4.5 % dos hogares, el 0.9 % tres hogares y el 0.3 % tienen de cuatro a más hogares. El 84.7 % cocina con gas (balón GLP), el 17.3 % emplea leña y el 3.3 % utiliza electricidad. En menor proporción, usan combustible rudimentario como leña, bosta, carbón y otros (residuos agrícolas como ramas, paja, hojas secas, entre otros) y el 3.1 % no cocina.

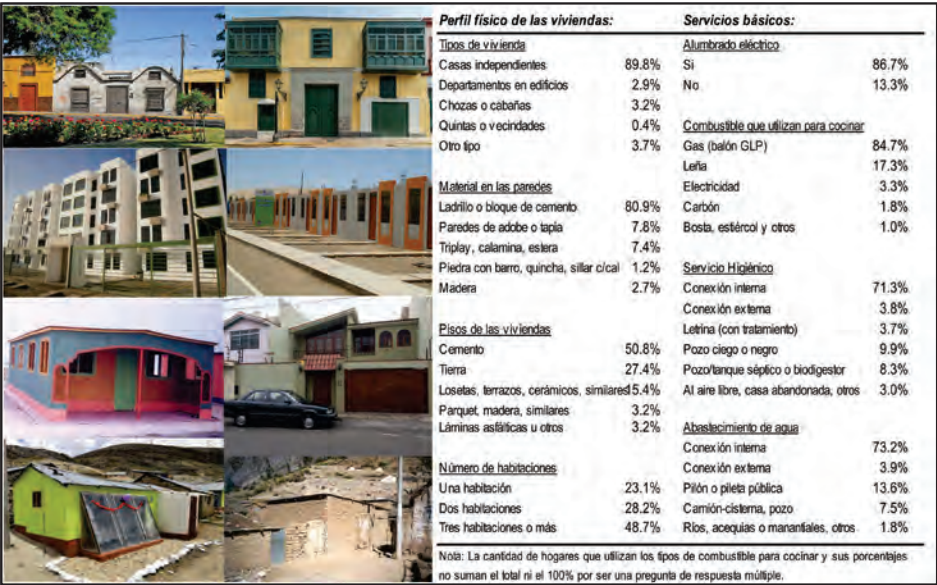


Figura 2.2 Perfil físico y servicios básicos de las viviendas en el departamento de Tacna. Elaboración propia.

2.3.3 Indicadores de educación

Los resultados del censo 2017, según el nivel educativo (cuadro 2.8), muestran que el mayor porcentaje de la población tacneña alcanzó a estudiar algún año de educación secundaria (44.1 %) seguido de aquellos que lograron estudiar algún año de educación superior (39.1 %).

Por área de residencia, la población de 15 y más años del área urbana obtuvo mayor acceso a la educación superior que los habitantes del área rural. Así, el 41.2 % de la población del área urbana alcanzó algún año de educación superior, mientras que en el área rural el 21.7 % logró este nivel educativo. Asimismo,

el 43.8 % de los habitantes del área urbana estudió algún año de educación secundaria, en tanto que en el área rural el 46.6 % alcanzó este nivel (INEI, 2018a).

En relación con la población sin nivel educativo, en el área urbana representó el 2.1 % y en el área rural, el 5.4 %.

Existen 7983 personas de 15 y más años que declararon en el último censo nacional 2017 que no saben leer ni escribir, es decir que 3.1 % de la población es analfabeta. Comparando con el censo nacional 2007, la tasa de analfabetismo se redujo en 0.2 % en el área rural y 1.1% en el área urbana.

Cuadro 2.8

Población censada de 15 y más años, según nivel educativo alcanzado, 2017

Nivel educativo alcanzado	Total	%	Urbana		Rural	
			Pob. censada	%	Pob. censada	%
Total	253 458	100	227 497	100	25 961	100
Sin nivel	6 265	2.5	4 865	2.1	1 400	5.4
Inicial	329	0.1	290	0.1	39	0.2
Primaria ^{1/}	35 971	14.2	29 196	12.8	6 775	26.1
Secundaria	111 760	44.1	99 647	43.8	12 113	46.6
Superior	99 133	39.1	93 499	41.2	5 634	21.7
Sup. No Universitaria	38 770	15.3	35 937	15.8	2 833	10.9
Sup. Universitaria ^{2/}	60 363	23.8	57 562	25.3	2 801	10.8

1/ Incluye Educación Básica Especial.

2/ Incluye Maestría y Doctorado.

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

En las principales provincias de la costa se concentra el mayor número de estudiantes en relación con la concentración poblacional que se tiene debido al flujo migratorio de las zonas de sierra hacia el corredor costero. En las provincias de la sierra y zonas marginales de la costa, la tasa de deserción escolar en los niveles primario y secundario es creciente, originada principalmente por la necesidad extrema que tiene el alumno de contribuir a la economía familiar o al autosustento.

Según el Compendio estadístico 2018 de la Dirección Regional de Educación-Tacna, en lo que respecta a la infraestructura educativa, en el 2018, se contaba con 791 locales escolares (cuadro 2.9), donde laboraban 5926 docentes y tenían 90 874 alumnos matriculados (distribuidos de la siguiente manera: inicial 15 959, primaria 34 600 y secundaria 27 440). Estos recursos e infraestructura corresponden a las modalidades de educación inicial, primaria y secundaria de la Educación Básica Regular (EBR) de gestión pública y privada (Ministerio de Educación, 2018). La mayor concentración de recursos se encuentra en la gestión pública; así el 73.6 % de la matrícula, 69.4 % de los docentes y

el 69.2 % de las instituciones educativas pertenecen al sector público. Sin embargo, la carencia de un plan de mantenimiento y la falta de un control de calidad en las edificaciones ha ocasionado que actualmente algunos centros se encuentren bastante deteriorados y otros estén a punto de colapsar. Respecto de la educación superior, existen 17 instituciones, la mayoría de ellas son tecnológicos de gestión privada (12), mientras que solo existe una institución artística y tres instituciones pedagógicas (dos privadas y una pública) en toda la región.

En cuanto a los institutos de educación superior pedagógica y tecnológica a cargo de la DRET, según el censo 2018, existen 5729, de los cuales 5212 pertenecen a la provincia Tacna, 374 a Jorge Basadre y 143 a Tarata. La mayoría son tecnológicos (4707), pedagógicos (725) y artísticos (297).

Un óptimo estado de la infraestructura y dotación de la escuela es vital para una educación de calidad y un adecuado entorno de la enseñanza. La disponibilidad de servicios públicos y material de enseñanza en las instituciones educativas influye en la calidad de la educación.

Cuadro 2.9

Instituciones educativas por UGEL en el departamento de Tacna, 2018

Nivel y Modalidad	REGIÓN TACNA	Gestión																
		Pública + Privada					Pública					Privada						
		DRSET	UGEL TACNA	UGEL J. BASADRE	UGEL TARATA	UGEL CANDARAVE	TOTAL	DRSET	UGEL TACNA	UGEL J. BASADRE	UGEL TARATA	UGEL CANDARAVE	TOTAL	DRSET	UGEL TACNA	UGEL J. BASADRE	UGEL TARATA	UGEL CANDARAVE
Total	791	17	574	70	68	62	547	5	351	61	68	62	244	12	223	9	--	--
Básica Regular 1/	690	--	502	65	64	59	489	--	310	56	64	59	201	--	192	9	--	--
Solo Inicial*	308	--	239	25	22	22	216	--	150	22	22	22	92	--	89	3	--	--
Solo Primaria*	248	--	162	28	32	26	183	--	100	25	32	26	65	--	62	3	--	--
Solo Secundaria*	134	--	101	12	10	11	90	--	60	9	10	11	44	--	41	3	--	--
Solo Básica Alternativa	40	--	32	4	2	2	35	--	27	4	2	2	5	--	5	--	--	--
Solo Básica Especial 2/	9	--	8	--	1	--	6	--	5	0	1	--	3	--	3	--	--	--
Solo Técnico-Productiva	35	--	32	1	1	1	12	--	9	1	1	1	23	--	23	--	--	--
Solo Sup. No Universitaria 3/	17	17	--	--	--	--	5	5	--	--	--	--	12	12	--	--	--	--
Pedagógica	3	3	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	2	2	--	--	--	--
Tecnológica	13	13	--	--	--	--	3	3	--	--	--	--	10	10	--	--	--	--

Continuación...

Nivel y Modalidad	REGIÓN TACNA	Gestión																
		Pública + Privada					Pública					Privada						
		DRSET	UGEL TACNA	UGEL J. BASADRE	UGEL TARATA	UGEL CANDARAVE	TOTAL	DRSET	UGEL TACNA	UGEL J. BASADRE	UGEL TARATA	UGEL CANDARAVE	TOTAL	DRSET	UGEL TACNA	UGEL J. BASADRE	UGEL TARATA	UGEL CANDARAVE
Artística	1	1	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

* Por acceso de vía las II.EE. Inicial, Primaria y Secundaria: distrito Pachia (Ancoma, Toquela y Challaviento) son administrados por la Ugel Tarata y la Ugel J. Basadre administra el distrito de (Curibaya y anexo Totorales).

Nota: Excluye locales en que funcionan programas no escolarizados de educación inicial. La categoría gestión pública comprende locales escolares en que funciona al menos una institución educativa pública.

1/ Incluye locales en los que se ofrece además otra modalidad de la educación básica o técnico-productiva.

2/ Incluye locales en los que se ofrece además educación básica o técnico-productiva.

3/ Incluye locales en los que se ofrece además algún nivel de la educación básica o técnico-productiva, u otra modalidad de la educación superior.

Fuente: MINISTERIO DE EDUCACIÓN – Censo Escolar 2018.

2.3.4 Indicadores de salud

Uno de los principales indicadores de la oferta de salud son los recursos humanos (médicos, obstetras y enfermeras) y de infraestructura. En el 2016, los recursos humanos del sector salud en el departamento de Tacna eran en total de 3279: de los cuales 2338 eran de MINSA y Gobiernos regionales; 725 de Essalud; y 216 de otros como PNP, FFAA, MINEDU, SISOL, etc. Según el INEI (2017), la región Tacna cuenta con 1091 médicos y 324 enfermeras. De acuerdo con la densidad de recursos humanos

(por 10 000 habitantes) en el sector salud, el departamento de Tacna alcanzó 39.8 % de los cuales la razón de médicos por cada 10 000 habitantes es de 14.6 %, de enfermeros es de 17.7 % y de obstetras 7.8 % (Perú. Ministerio de Salud, 2016). Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la razón recomendada del número mínimo de recursos humanos en salud por cada 10 000 habitantes debe ser de 25 %.

Con relación a la infraestructura de salud (cuadro 2.10), existen en la región 5 hospitales, 30 centros de salud y 80 puestos de salud.

Cuadro 2.10

Establecimientos de salud en el departamento de Tacna, 2016

Departamento	Total	Tipo de establecimiento					
		Hospitales	Inst. de Salud especializado	Centros de salud	Puestos de salud	Cons. Médicos y de otros prof. de la salud ^{1/}	Centro odontológico ^{2/}
Tacna	334	5	--	30	80	208	11

Nota: En hospitales incluye, hospitales del MINSA, EsSalud, Gobierno Regional, Fuerzas Armadas y Policiales, Municipalidad provincial, distrital y Clínicas privadas.

1/ Incluye los consultorios médicos privados, Consultorios del Gobierno Regional y otros.

2/ Incluye Centros Odontológicos privados y otros.

Fuente: Superintendencia Nacional de Salud- Intendencia de Investigación y Desarrollo, 2016.

A pesar de que Tacna cuenta con regular infraestructura de salud, es el primer departamento con menor cobertura de seguro social, algo más de la cuarta parte de su población carece de seguro de salud, 39.3 % que es equivalente a 129 573 personas; mientras que el 60.7 % de la población tacneña cuenta con algún

tipo de seguro, es decir, 199 759 personas (INEI, 2018d). En el periodo intercensal 2007-2017, la cobertura de seguro de salud en Tacna se incrementó en 97.2 %, que equivale a 98 485 personas, con una tasa de crecimiento promedio anual de 7.0 % (cuadro 2.11).

Cuadro 2.11

Población censada del departamento de Tacna con seguro social, 2007-2017

Departamento	Censo 2007			Censo 2017			Valor intercensal 2007-2017	%	Tasa de crecimiento promedio anual
	Pob. Total	Pob. con seguro	%	Pob. Total	Pob. con seguro	%			
Tacna	288 781	101 274	35.1	329 332	199 759	60.7	98 485	97.2	7

Fuente: INEI- Censos Nacionales de Población y vivienda 2007 y 2017.

En Tacna, está afiliado el 31.6 % al Seguro Integral de Salud (SIS); el 24.0 % al Seguro Social de Salud del Perú (EsSalud); el 4.4 % a otro seguro (seguro privado, seguro de las Fuerzas

Armadas y Policiales, Seguro Universitario, Entidad Prestadora de Salud y Seguro escolar privado); el 0.7 % tiene más de un seguro y el 39.3 % no tiene seguro (cuadro 2.12).

Cuadro 2.12

Población censada con cobertura de salud, según el tipo de seguro, 2017

Departamento	Pob. Total	Únicamente SIS	%	Únicamente ESSALUD	%	Otro seguro de salud	%	%	Sin seguro	%
Tacna	329 332	103 918	31.6	79 070	24	14 478	4.4	0.7	129 573	39.3

Fuente: INEI- Censos Nacionales de Población y vivienda 2007 y 2017.

2.3.5 Indicadores de economía

En el cuarto trimestre de 2017 (INEI, 2018b), la producción del departamento de Tacna se incrementó en 1.9 % influenciado por el crecimiento de los sectores Construcción (29.7 %), Telecomunicaciones y Otros Servicios de Información (11.5 %), Agropecuario (11.0 %) y Administración pública y Defensa (5.7 %), entre otros. Sin embargo, descendieron los sectores Minería e Hidrocarburos (-7.8 %), Pesca (-91.1 %) y Manufactura (-8.8 %). En el año 2017, la producción aumentó en 0.5 % (gráfico 2.5).

El sector Construcción aumentó en 29.7 %, debido al mayor avance físico de obras del Gobierno Regional en el mejoramiento de los servicios de salud del Hospital Hipólito Unanue; mejoramiento del servicio educativo en la I.E. n° 42217 Nuestros Héroes de la Guerra del Pacífico, en el distrito de Tacna; y construcción y equipamiento de local para personas altamente vulnerables de Ciudad Nueva (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (2018b).

El sector Telecomunicaciones y otros servicios de Información subió en 11.5 %, sustentado por la mayor demanda de los servicios de telefonía móvil al incrementarse las líneas en servicio prepago y postpago, además por el mayor acceso al servicio de internet y televisión por cable.

El sector Agropecuario se elevó en 11.0 %, impulsado por el incremento del subsector agrícola, explicado por la mayor producción de sandía, orégano y alfalfa, entre los más destacados. De igual manera, el subsector pecuario aumentó por la mayor producción de huevos (5.8 %) ante el mayor número de gallinas ponedoras, ave (4.3 %) y porcino (1.8 %), entre otros.

El sector Minería e Hidrocarburos descendió en 7.8 %, debido a la menor producción de molibdeno (-43.5 %) por los bajos niveles extraídos en Southern Peru Copper Corporation Sucursal del Perú, resultado que fue atenuado por la mayor producción de oro (25.3 %), plata (21.3 %) y cobre (6.3 %).

En el sector Comercio, en la región, se tiene la ZOFRATACNA que cuenta con una infraestructura que goza de extraterritorialidad aduanera y de un régimen especial en materia tributaria. Sin embargo, tiene pocas empresas constituidas, las cuales no copan el potencial para el que fue creado. Esto está sumado a la falta de cobertura de servicios (agua y electricidad) para implementar grandes empresas y la restricción constitucional de transferir propiedades a extranjeros dentro de los 50 km de la frontera. En la provincia, el CITEagroindustrial es una institución de carácter privado conformada por el Gobierno Regional de Tacna, la ZOFRATACNA y diversas asociaciones de aceitunas, olivícolas, orégano y vitivinícolas. Se encarga de impulsar la innovación tecnológica a través de la investigación aplicada, la transferencia tecnológica y la difusión de conocimiento a las cadenas productivas agroindustriales de la región con el fin de alcanzar mayores niveles de competitividad. Sin embargo, existe incertidumbre sobre su continuidad debido a que la administración de la ZOFRATACNA ha decidido no renovar la permanencia de las instalaciones ubicadas en un terreno de su propiedad. Finalmente, en la provincia se cuenta con un parque industrial, con un área de 137 ha; al 2011 contaba con 149 empresas de las cuales solo el 20 % se dedica a la actividad industrial, y las demás correspondían a actividades comerciales, talleres, servicios aduaneros y otros servicios.

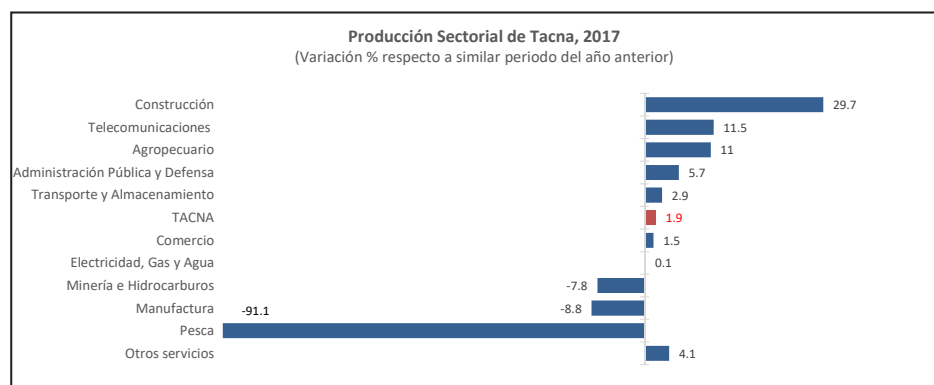


Gráfico 2.5 Producción Sectorial del departamento de Tacna. Fuente: INEI, 2018b.

2.3.5.1 Actividad minera

En el 2017, a nivel mundial, Perú se ubicó como el segundo productor de cobre y plata, y el sexto en oro; a nivel de América Latina, como el primer productor de oro y el segundo productor en cobre y plata. Actualmente, cuenta con las mayores reservas de plata a nivel mundial y se posiciona como el tercer país con las mayores reservas de cobre, zinc y molibdeno del orbe.

La producción de cobre en Perú registró un incremento de 3.9 %, respecto del año 2016, debido al aumento de producción en 37.5 % por parte de Minera Las Bambas S.A., sumado al buen desempeño de Minera Chinalco Perú S.A. que tuvo un crecimiento de 15.6 % respecto al año anterior. Sin embargo, pese al resultado favorable alcanzado por dichas empresas, otras registraron caídas de producción como los menores volúmenes de producción reportados por Southern Perú Copper Corporation que afrontó algunas huelgas, todo lo cual aminoró el crecimiento de la producción nacional de cobre.

A nivel regional, Arequipa se posicionó como la principal región productora de cobre con una representación del 20.6 %, mientras que Apurímac ocupó por primera vez el segundo lugar con una participación del 18.5 %, desplazando a otras importantes regiones. En el tercer y cuarto lugar se encuentran Áncash y Cusco, con una participación de 18.3 % y 13.4 %, respectivamente. Las cuatro regiones antes mencionadas, en conjunto, contribuyen con el 70.8 % de la producción nacional de cobre, mientras que Tacna ocupa el séptimo lugar con el 5.9 % de la producción total.

Pese a registrar una disminución en su producción, Tacna se encuentra como la segunda región en producción de molibdeno (4184 TMF) después de Arequipa, siguen Áncash (3968 TMF) y Moquegua (3746 TMF), que conjuntamente representan el 42.3 % de la producción nacional (Perú. Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Arequipa concentró las mayores inversiones mineras con US\$ 529 millones. En segundo y tercer lugar, se encuentran Tacna y Cusco, con una inversión equivalente a US\$ 518 millones y US\$ 387 millones, respectivamente. Esto se traduce en mayores oportunidades para la población, generación de empleo, así como en mejores ingresos para los gobiernos regionales, provinciales y locales que pueden ser usados en proyectos de infraestructura que generen efectos multiplicadores hacia los demás sectores.

Por su parte, la región Tacna concentra un proyecto con una inversión de US\$ 1255 millones, destacando el proyecto Ampliación Toquepala. Tacna es una de las regiones beneficiadas con las transferencias de recursos generados por la actividad minera como el canon minero, regalía minera, derecho de vigencia y penalidad, con 4.07 % de participación (134.56 millones de soles) (cuadros 2.13 y 2.14, y figura 2.3).

El proyecto Ampliación Toquepala se ubica en el distrito de Ilabaya, provincia Jorge Basadre. La ampliación de la capacidad de una planta concentradora de 60 mil a 120 mil toneladas por día permitirá aumentar la producción anual en 100 000 TMF de cobre y 3100 TMF de molibdeno, a un costo de capital total de US\$ 1255 millones. Asimismo, dicha expansión permitirá ampliar la vida útil de la operación a 23 años y generará cerca de 2200 puestos de trabajo durante toda su etapa de construcción. En el 2014, se aprobó el Estudio de Impacto Ambiental mediante Resolución Directoral n° 611-2014/MEM-DGAAM, mientras que el 14 de abril del 2015 se autorizó el inicio de construcción de dicho proyecto. De esta manera, la empresa Southern Perú Copper Corporation inició los trabajos de ampliación de la planta concentradora en noviembre del 2015, luego de lograr la aceptación social de las poblaciones de Jorge Basadre y Candarave, donde se ubica la mina y las fuentes de agua, respectivamente. Al 31 de diciembre del 2017, la compañía ha invertido US\$ 892.9 millones en dicha expansión. Actualmente, el proyecto ha alcanzado un 89 % de avance y tiene proyectado concluir la construcción en el tercer trimestre del 2018.

Cuadro 2.13

Cartera de proyectos de exploración minera, región Tacna

N°	Proyecto de exploración	Operador	Instrumento de Gestión Ambiental	Fecha de aprobación	Inversión global US\$ Millones
1	Huilacollo (MDIA)	Corisur Perú S.A.C.	DIA	12/11/2017	0.8
2	Pucamarca Regional	Minsur S.A.	EIAsd	7/9/2017	2.2

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2017.

Cuadro 2.14

Cartera de proyectos de construcción de mina, región Tacna

N°	Proyecto	Operador	EIAd	Producto principal	Inversión global US\$ Millones
1	Ampliación Toquepala	Southern Peru Copper Corporation, Sucursal del Perú	Aprobado	Cobre	1255

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2017.

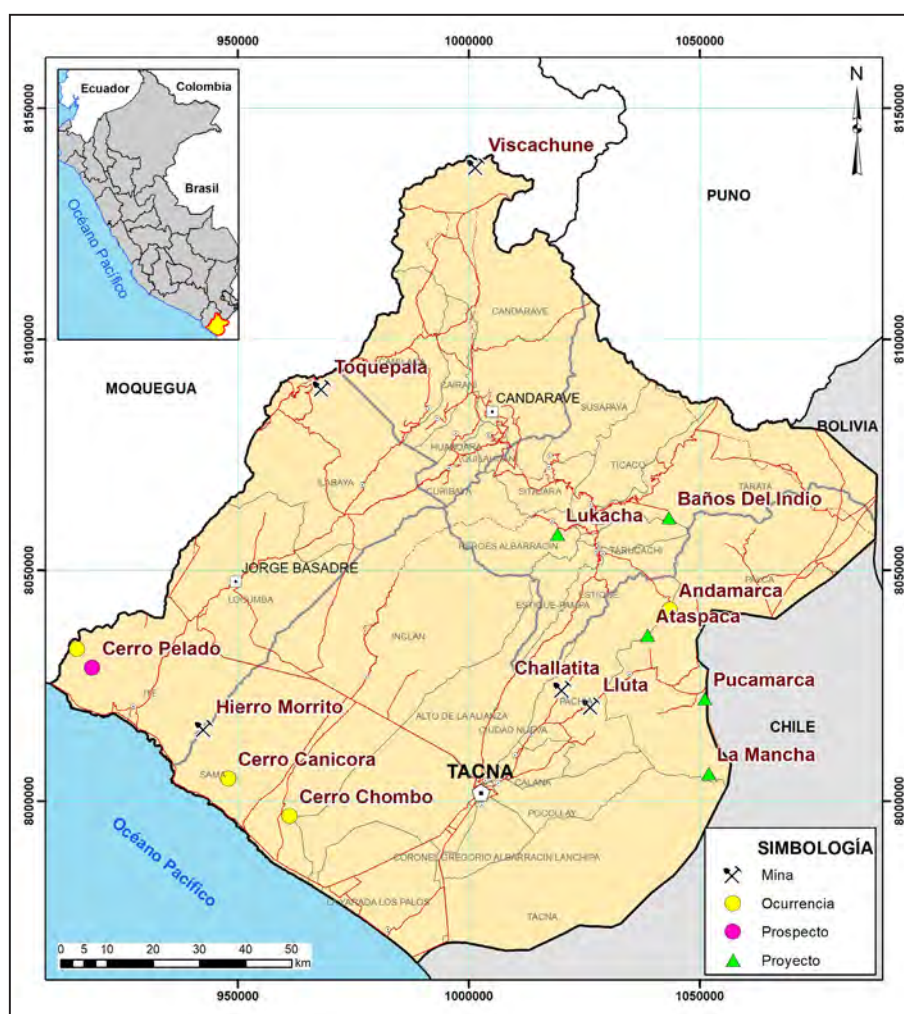


Figura 2.3 Principales yacimientos mineros en el departamento de Tacna.

Fuente: Elaboración propia con datos del MINEM, 2017.

2.4 INFRAESTRUCTURA MAYOR

2.4.1 Infraestructura de transporte

Debido a la ubicación estratégica de Tacna, y con el fin de mejorar la integración vial con el resto del país y con los países Bolivia y Chile, en el 2018, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) transfirió más de S/ 8.7 millones al Gobierno Regional de Tacna y municipalidades del departamento para que ejecuten proyectos viales y el mantenimiento de la infraestructura vial en beneficio de la población.

Asimismo, se viene ejecutando proyectos de mejoramiento de 43.2 km de vías en la región que beneficiará a más de 11587 personas, mejoramiento y mantenimiento de infraestructura vial de los caminos departamentales y vecinales de la región.

Todos los recursos destinados a este fin forman parte de un paquete que el sector transportes ha gestionado y transferido a los gobiernos regionales y locales referidos a la construcción y el mejoramiento de infraestructura que facilite la transitabilidad peatonal y vehicular.

La principal vía de conexión con otros departamentos del país es la Carretera Panamericana, una vía longitudinal de la costa de 2376 km que parte de Tumbes y llega hasta Tacna, continuando su curso hacia Chile. Por este motivo, el gobierno programó una ampliación y mejoramiento de la red vial de la región que sirve para consolidar la posición de Tacna como un eje articulador y promotor de desarrollo, facilitando el desarrollo turístico y apoyando al transporte con reducción de tiempos, costos y comodidad. Con esta inversión, las carreteras pavimentadas de la red vial nacional en la región Tacna ampliarán las conexiones viales de la red regional y provincial; con criterio técnico, se priorizan vías que unan pueblos con potencial de desarrollo económico y a su vez estén conectadas con carreteras nacionales.

2.4.1.1 Transporte terrestre por carretera

Según el Ministerio de Transporte y comunicaciones, hasta el 2017, el sistema vial existente en Tacna cuenta con una longitud de 2549.5 km, de los cuales 791.4 km (31 %) son pavimentados. Esta red vial está compuesta por carreteras nacionales (24.9 %), departamentales (20.5 %) y vecinales (54.6 %), que permiten la articulación de la ciudad de Tacna con el resto del Perú y sus regiones, y a su vez también posibilitan su conexión con el norte de Chile (cuadro 2.15).

Se cuenta con dos importantes vías: la carretera Panamericana se encuentra asfaltada a lo largo del territorio peruano con una longitud de 2636.3 km. Su tramo en Tacna tiene una longitud de 125.8 km, sumando a ello también se encuentra la carretera

Costanera Sur con una longitud de 151 km, que articula los territorios del ámbito regional con las costas del Pacífico. Esta última vía constituye uno de los proyectos de mejoramiento y construcción de nuevos tramos de carretera más importantes del Perú por su importancia articuladora de diferentes centros de producción agropecuaria y minera, puertos y ciudades del sur peruano, y su futura conexión con dos ejes de las carreteras IIRSA-Sur (Perú-Brasil).

En cuanto a las vías departamentales tenemos:

- **Carretera Tacna - Tarata - Candarave - Huaytire:** con una longitud de 177 km, se encuentra asfaltada hasta el 67 km; los restantes 120 km de su recorrido se encuentran en situación de afirmado.
- **Carretera Tacna - Tarata - Mazocruz:** con una longitud de 229 km de carretera afirmada.
- **Carretera Locumba - Ilabaya - Curibaya - Aricota:** ruta departamental y vecinal, con una longitud de 103.6 km. Tiene como punto de partida y final el puente de Camiara (en la Panamericana Sur a 80 km de la ciudad de Tacna) y el anexo de Aricota en el distrito de Quilahuani, integrando las localidades de Locumba, Mirave, Ilabaya, Ticapampa, Curibaya. De igual forma es articulable con la zona costera, específicamente con el distrito de Ite y con el poblado de Camiara a través de la carretera establecida entre estas localidades. En la actualidad, se encuentra asfaltada hasta el poblado de Locumba a 12.6 km y hasta el distrito de Ilabaya.
- **Carretera Quebrada Honda - Toquepala - Pasto Grande:** con una extensión total de 181.7 km. En la actualidad se encuentra asfaltada hasta la localidad de Toquepala en tramo de 55.4 km; el resto de la vía se encuentra sin afirmar, su estado es transitable en su totalidad.
- **Carretera Tacna - Collpa - La Paz:** red nacional con una longitud de 187 km, asfaltada en un tramo de 41 km, desde Tacna hasta Palca; luego con un tramo de 21 km en estado afirmado y 125 km sin afirmado.
- **Carretera Tacna - Quebrada de Burros:** (Ilabaya) asfaltada en su totalidad.

Cabe resaltar aquí que aproximadamente el 83.7 % de las vías departamentales observan una condición de solo afirmado.

Asimismo, las conexiones viales de Tacna con los puertos de Ilo, Matarani y Arica colocan la región en una situación privilegiada, puesto que se permite optar por cualquiera de estos puertos según las características y volumen de las cargas de exportación

y de importación. La recuperación y puesta en valor del muelle peruano de Arica ha significado un impulso al comercio de importación y su uso podría intensificarse significativamente si se mejoraran sus instalaciones.

Tacna presenta el octavo mayor parque automotor del país, compuesto aproximadamente por más de 40 000 vehículos en el año 2010.

Cuadro 2.15

Infraestructura vial del departamento Tacna, por tipo de superficie, 2017

Infraestructura vial	Total	Existente por tipo de superficie de rodadura (km)						Proyectada
		Pavimentada	No Pavimentada				Total existente	
			Afirmada	Sin Afirmar	Trocha	Subtotal		
Total	2549.5	791.4	754.7	276.8	694.8	1 726.2	2 517.5	31.9
Nacional	635.8	543.3	54.4	0	38	92.5	635.8	0
Departamental	521.7	85	398.5	0	6.2	404.7	489.7	31.9
Vecinal	1392.1	163.1	301.7	276.8	650.6	1 229.0	1 392.1	0

Fuente: Grupo Técnico de Trabajo (DGCF, PVN, PVD, OGPP). MTC, 2017.

2.4.1.2 Transporte ferroviario

La infraestructura y servicio de esta vía en la actualidad se encuentra bajo administración del Gobierno Regional de Tacna. Este servicio ha permitido el intercambio comercial y turístico entre las ciudades fronterizas de Tacna y Arica.

La vía férrea de Tacna-Arica, con una longitud de 60 km (38 km en territorio peruano), si bien en estado precario de mantenimiento, representa un medio potencial de transporte de carga si se completan las inversiones para su puesta en valor y construye un pequeño ramal necesario para interconectarla con las instalaciones de la ZOFRATACNA.

Cuadro 2.16

Infraestructura ferroviaria por empresa, tramo y longitud según régimen de propiedad, 2013-2017 en el departamento de Tacna

Régimen de propiedad	Empresa y tramo	Longitud (km) 1/				
		2013	2014	2015	2016	2017
Total		277.7	277.7	277.7	277.7	277.7
Público no concesionado	Gobierno Regional de Tacna	60	60	60	60	60
	Tacna-Arica	60	60	60	60	60
Privado	Southern Perú Copper Corporation	217.7	217.7	217.7	217.7	217.7
	Ilo - Toquepala	186	186	186	186	186
	El Sargento - Cuajone 2/	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7

1/ Se considera únicamente la vía férrea principal.

2/ El Sargento se encuentra en el km 183.312 de la vía Fundación-Concentradora.

Fuente: MTC - DGCF - Dirección de Ferrocarriles, 2017.

2.4.1.3 Transporte marítimo

Actualmente, Tacna no cuenta con un puerto para grandes embarcaciones, solo existen dos desembarcaderos para pesca artesanal, Morro Sama y Vila Vila; sin embargo, el litoral tacneño presenta condiciones favorables para la construcción de un puerto moderno en la zona de Punta Meca por presentar una batimetría de 20 metros, con la posibilidad de recepcionar naves de gran calado. Además, producto del tratado de Ancón, se cuenta con un malecón de atraque en Arica (Chile), el mismo que opera eventualmente por su reducido calado (Gobierno Regional de Tacna, 2015).

La transformación o procesamiento de los recursos pesqueros en los rubros: enlatado, congelado y seco-salado (curado) está destinada casi en su totalidad al mercado externo. Tacna, actualmente, cuenta con siete establecimientos industriales pesqueros dedicados principalmente al procesamiento de mariscos en los rubros de enlatado, congelado y curado, cuya

producción en un 90 % es destinada a los mercados de Japón, China, España, EE. UU., entre otros.

2.4.1.4 Transporte aeroportuario

La dinámica del transporte aéreo en Tacna se realiza en el Aeropuerto Internacional Capitán Carlos Ciriani administrado por CORPAC S.A., facilitando el movimiento de pasajeros y carga interregional con las ciudades de Lima y Arequipa e Internacional hacia las ciudades de Santiago (Chile) y Córdoba (Argentina). Cuenta con una pista de aterrizaje de 2500 m de largo por 45 m de ancho una capacidad de máximo permisible para el tipo de avión Boeing 727 DC-8 (cuadro 2.17).

Actualmente, cuenta con un proyecto general de modernización del aeropuerto para generar un Hub logístico de transporte destinado al reforzamiento de las operaciones en la zona franca de Tacna (Gobierno Regional de Tacna, 2015).

Cuadro 2.17

Infraestructura aeroportuaria operativa en el departamento de Tacna, 2017

N°	Instalación aeroportuaria	Tipo	Administrador
1	Aeropuerto Crnl. FAP Carlos Ciriani Santa Rosa	Aeropuerto	Aeropuertos Andinos del Perú S. A.

Fuente: MTC - DGAC.

Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística, 2017.

2.4.2 Infraestructura agrícola

Constituyen una fuente disponible del recurso hídrico, importante de la región, de régimen temporal o permanente y de tamaño variable. La región cuenta con ocho presas inventariadas por el ANA (cuadro 2.18). A continuación, se describen:

En Tacna, se mejoró, rehabilitó y construyó nuevas infraestructuras de riego que conforman parte de los sistemas, incluyendo represas, bocatomas, canales principales y secundarios, defensas ribereñas, y obras de control y medición. Una de estas acciones es para abastecer con agua para el riego en las áreas de cultivo, con el fin de aumentar la productividad de la región

Tacna. Por ello, una obra trascendental para el futuro agrícola de Tacna, implementada por AGRO RURAL, es el Sistema de Almacenamiento Nocturno Miguel Grau, uno de los reservorios más grandes del país y que tiene como objetivo ponerle fin a la brecha hídrica en este departamento. Este reservorio tiene una capacidad de 44 000 m³ de agua y cubrirá el riego de más de 197 hectáreas agrícolas, las cuales permitirán mejorar la economía de más de 180 familias en la zona. La inversión de esta obra asciende a más de 1.4 millones de soles. Este proyecto se llevó a cabo en la comunidad de Pallata, distrito Quilahuani, provincia de Candarave (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016).

Cuadro 2.18

Presas inventariadas en la región Tacna

Nº	Nombre de la presa	Administración Local del Agua	Río/quebrada	Distrito	Provincia
1	Casiri	Caplina-Ocoña	Quebrada Chungara	Tarata	Tacna
2	Condorpico	Caplina-Ocoña	Quebrada Iñuma	Palca	Tacna
3	Paucarani	Caplina-Ocoña	Uchusuma	Palca	Tacna
4	Cularjahuira	Caplina-Ocoña	Qda. Sipincalane/ qda. Huanuara	Camilaca	Candarave
5	Dique Cano	Caplina-Ocoña	Salado	Susapaya	Tarata
6	Huayñuma	Caplina-Ocoña	Camilaca/ qda. Huanuara	Huanuara	Candarave
7	Jarumas	Caplina-Ocoña	Jaruma/qda. Quequesane	Ticaco	Tarata
8	Pampa de Vaca	Caplina-Ocoña	Capillune/Cinto	Ilabaya	Jorge Basadre

Fuente: Inventario de presas en el Perú (ANA, 2015).

2.4.3 Infraestructura energética

La energía eléctrica que consume el departamento de Tacna proviene del Sistema Nacional Interconectado a las Centrales Hidroeléctricas de Charcani (Arequipa), Mantaro (Junín) y Aricota I y II (Tacna); esta abastece una parte de Moquegua. Desde el año 2013, se estimaba una demanda que representaba el 17.5 % (1034 MW) de la máxima demanda nacional hasta alcanzar, en el año 2016, una demanda eléctrica del 26 % (2106 MW) de la demanda de potencia a nivel nacional. Ello se explica principalmente por las nuevas cargas de grandes proyectos que superarán los 1000 MW durante este periodo; entre ellos, la ampliación de la concentradora de Toquepala en Tacna (72

MW en 2015), el proyecto Las Bambas en Apurímac (157 MW en 2015) y la ampliación de Cerro Verde en Arequipa (406 MW en 2016).

En el mediano y largo plazo, se espera que la consolidación del proyecto de expansión de la oferta de gas natural hacia el sur (Gasoducto Sur Peruano) permita la generación de un foco energético regional que facilite el acceso de energía eficiente para uso residencial, comercial, industrial y eléctrico; en una primera etapa, en Cusco, Arequipa y Moquegua y, en una segunda etapa, en Puno y Tacna (Gobierno Regional de Tacna, 2015).

Cuadro 2.19

Centrales Eléctricas por unidad de generación de la región Tacna

Nº	Empresa	Origen	Central eléctrica	Potencia instalada	Producción
				(MW)	(GW.h)
1	Emp. de Generación Eléctrica del Sur S.A.	Hidráulico	C.H. Aricota I	23.8	62.6
2	Emp. de Generación Eléctrica del Sur S.A.	Hidráulico	C.H. Aricota II	11.9	41.7
3	Tacna Solar S.A.C.	Solar	C.S. Tacna Solar	20	48.8
4	Minsur S.A.C.	Térmico	C.T. Pucamarca	3.9	41.1

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)-Dirección General de Electricidad, 2016.

Según el mapa geotérmico de Tacna se identifican cinco zonas geotermales promisorias de alta entalpía: Calientes, Borateras, Chungará-Kallapuma, Ancocollo y Tutupaca (figura 2.4), con un potencial de energía geotérmica de 420 MWe para la producción

de electricidad (West Japan Engineering Consultants, 2012). La instalación de una planta de energía geotérmica convencional permitirá incrementar la proporción en la que se utilizan energías renovables en la región y el país (Cruz, *et al.*, 2013).

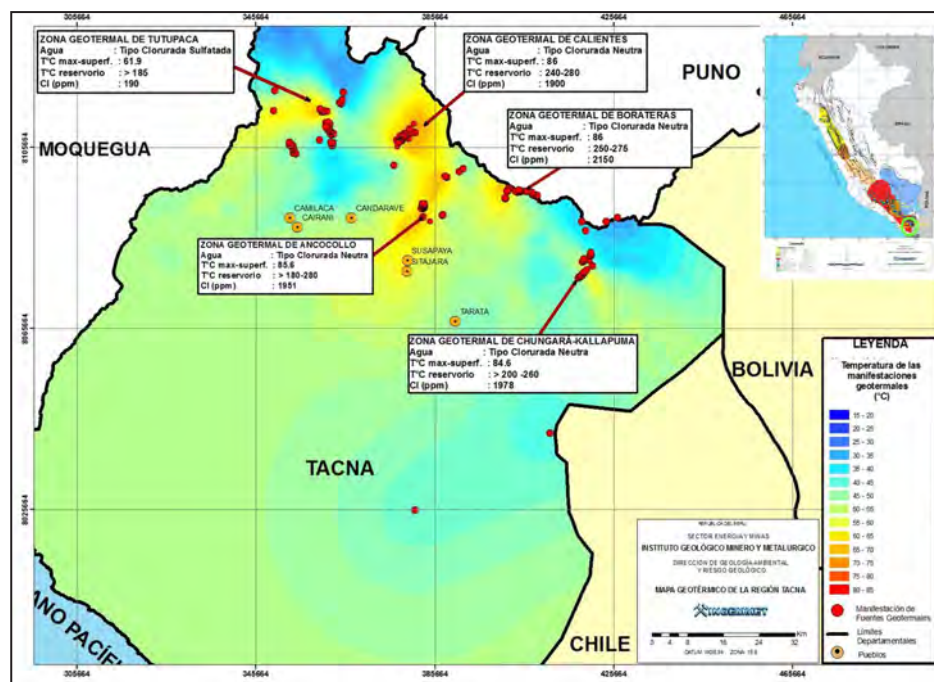


Figura 2.4 Zonas geotérmicas diferenciadas por Ingemmet en la región Tacna.

Fuente: Cruz *et al.*, 2013.

Proyectos hidroeléctricos en la región

Nodo Energético del Sur

El Nodo Energético del Sur es un proyecto de US\$ 800 millones que busca promover la inversión privada en plantas de generación termoeléctrica. Consta de dos centrales térmicas. La primera se adjudicó a la empresa Samay I y se encontrará localizada en Mollendo (Arequipa), y la segunda se adjudicó a la empresa Enersur que desarrollará la central térmica en Ilo (Moquegua).

La capacidad del proyecto de "Nodo Energético del Sur" es de 1000 MW (aproximadamente, el 15 % de la potencia actual del sistema a nivel nacional); por lo que, a través de este proyecto, la región Moquegua contribuirá con un adicional del orden de 7.5 % a la oferta actual. La nueva central de Enersur en Ilo utilizará un sistema dual (Diesel B5 y Gas Natural) para la generación.

En la primera etapa de operación se usará Diesel B5, pero luego se utilizará gas natural proveniente del Proyecto

Gasoducto del Sur. Es importante mencionar que el Nodo Energético del Sur asegurará el 70 % de la demanda de gas procedente del Gasoducto del Sur, por lo que las centrales de Mollendo e Ilo son parte integral para la expansión del uso del gas natural en el sur del país.

La zona de influencia del Nodo Energético del Sur abarca los departamentos de Apurímac, Cusco, Moquegua, Puno, Arequipa y Tacna.

Proyecto Gasoducto del Sur

El Gasoducto del Sur forma parte del proyecto de *Mejoras a la Seguridad Energética del País y Desarrollo del Gasoducto Sur Peruano*, que proyecta una inversión total de US\$ 3,6 mil millones. Este proyecto afianzará el sistema energético del país e impulsará el desarrollo del Nodo Energético del Sur, y en una etapa posterior el Polo Petroquímico en la zona sur del Perú. La zona de influencia del proyecto abarca los departamentos de Arequipa, Cusco, Moquegua y Tacna.

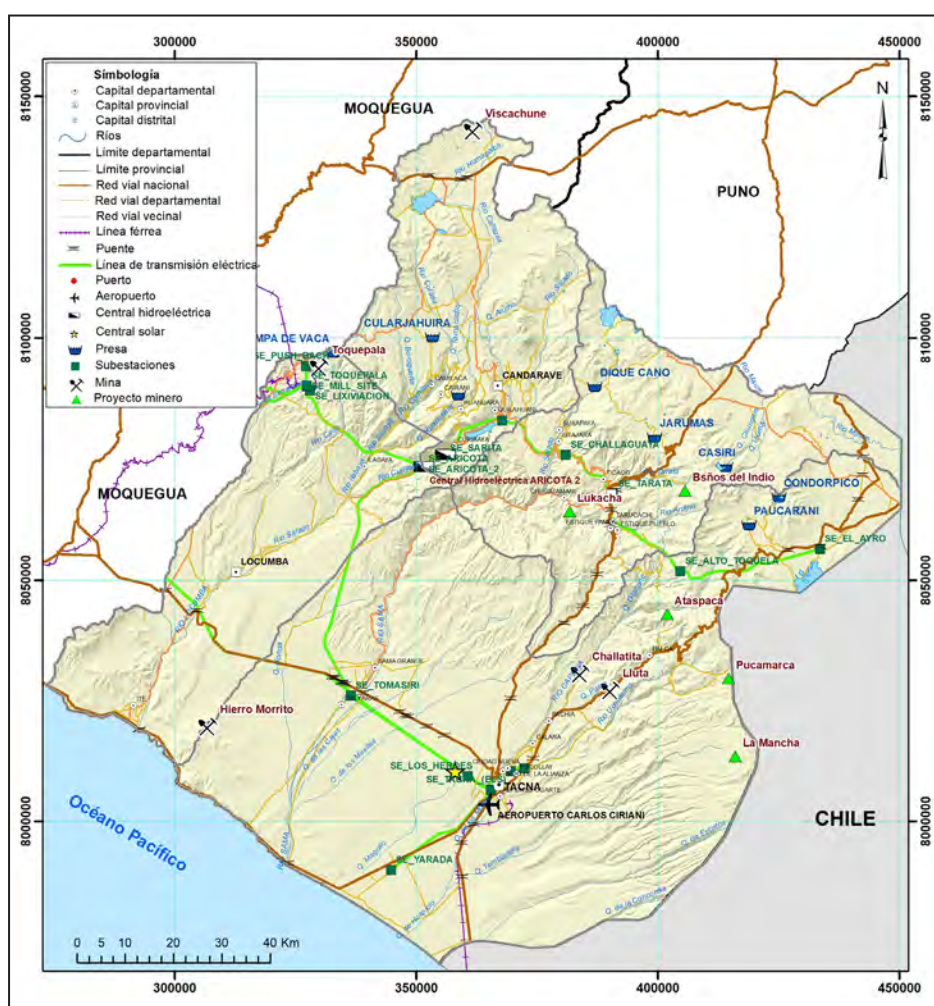


Figura 2.5 Infraestructura vial, agrícola, minera y energética del departamento Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

2.5 CLIMA

La variación de la altitud desde el nivel del mar hasta las zonas andinas influye directamente en el comportamiento de la temperatura y la humedad.

Tacna posee una diversidad de climas (figura 2.6), debido a la influencia de la Corriente Peruana de aguas frías y la fisiografía

formada por la llanura costera, las estribaciones occidentales y la cordillera altoandina. En sus zonas costeras, es templado y nuboso; mientras que en las zonas de sierra el clima es seco y varía según la altitud desde cálido templado hasta frío intenso, la temperatura va en descenso a medida que se asciende hasta alcanzar los 3 °C.

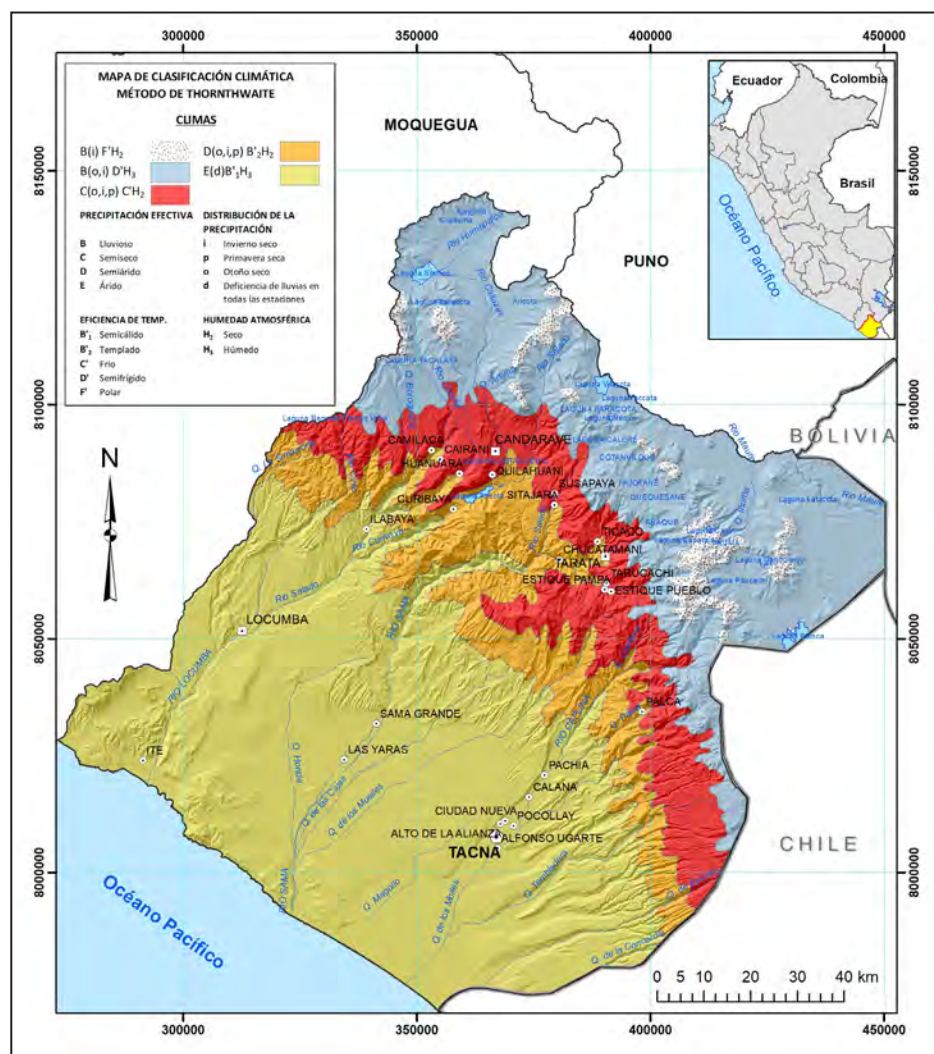


Figura 2.6 Mapa climático del departamento de Tacna (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010a).

Según la clasificación climática de Thornthwaite (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010a), Tacna cuenta con los siguientes tipos de climas:

E(d)B'1H3: clima del tipo árido, semicálido y húmedo, con escasas lluvias durante todo el año, corresponde a este clima a zonas emplazadas entre 0 a 1000 m s. n. m., como las localidades de Ite, La Yarada, Tacna, Sama Grande y Locumba, pertenecientes a las provincias de Jorge Basadre y Tacna.

D(o,i,p)B'2H2: clima del tipo semiárido, templado y seco, con carencia de lluvias en otoño, invierno y primavera. Este clima corresponde a las zonas comprendidas entre los 1000 y 2000 m s. n. m. en las estribaciones andinas de las provincias de Jorge Basadre y Tacna.

C(o,i,p)C'H2: clima del tipo semiseco, frío con carencia de lluvias en otoño, invierno y primavera. Corresponde este tipo de clima a las localidades de las provincias de Jorge Basadre, Candarave y Tarata, ubicadas entre los 2000 y 4000 m s. n. m.

B(o,i)D'H3: clima del tipo lluvioso, semifrío y seco, con carencia de lluvias en otoño e invierno. Corresponde este tipo de clima a las zonas altas de las provincias de Candarave y Tarata, ubicadas entre los 4000 y 5000 m s. n. m.

B(i)F'H2: nieve, clima del tipo polar, característico de los nevados Churivichop, Achacollo, Barroso, Iñuma, Auquitaie, Coruna en la Cordillera El Barroso, Larjanco de las provincias de Tarata, Candarave, por encima de los 5000 m s. n. m.

2.5.1 Temperatura y humedad

En el litoral del departamento, las temperaturas máximas promedio mensuales varían entre los 18 °C y los 26 °C, y están condicionadas por el efecto termorregulador de la superficie oceánica y por una mayor cobertura nubosa; las temperaturas mínimas promedio mensuales varían entre los 10 °C y los 17 °C.

Las temperaturas del agua del mar en las playas tacneñas, durante los meses de verano, oscilan alrededor de los 16 °C. **Estas aguas son poco transparentes debido al afloramiento marino.** En los meses de invierno, se presentan días con cielo cubierto, mientras que en verano predominan los días con escasa nubosidad, cielo despejado e intenso brillo solar. Las mareas en general son ligeras; las temperaturas del agua de mar en las playas son más altas que en las playas de los departamentos del centro. Cuando ocurre el evento El Niño de intensidad leve, **por lo general, no se manifiesta en estas zonas,** y cuando el evento es de magnitud fuerte, la temperatura se incrementa entre los 4 °C y los 5 °C. Cuando ocurre el fenómeno El Niño de intensidad fuerte o cuando el viento es del norte, se presentan temperaturas máximas mayores o iguales a 30 °C en varias localidades de la costa tacneña. Del mismo modo, **cuando los vientos son del sur se intensifican, las temperaturas máximas de invierno pueden bajar hasta los 15 °C.**

Las temperaturas extremas disminuyen gradualmente con la altura. Así, la provincia de Tacna tiene una temperatura promedio anual máxima de 23 °C y 11 °C como mínima, alcanzando sus mayores rangos entre enero y febrero. En la localidad de Tarata, **las temperaturas máximas promedio mensual fluctúan alrededor de 18 °C;** el rango anual es de aproximadamente 3 °C, debido a la intensa variabilidad de la cobertura nubosa en el periodo de lluvias; similar comportamiento se presenta en la localidad de Candarave, donde la temperatura máxima fluctúa alrededor de los 15 °C y la temperatura mínima promedio fluctúa alrededor

de los 3 °C; y Jorge Basadre fluctúa alrededor de los 28 °C como máxima y 12 °C como mínima en la zona de Locumba y ciudades cercanas al litoral (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010a).

2.5.2 Precipitación

Las lluvias en el departamento son escasas, lo que contribuye a la formación de un paisaje desértico en la franja costera. Durante los meses de otoño e invierno la presencia de neblina y las esporádicas lluvias contribuyen a reverdecer vastas zonas del territorio tacneño. En las zonas altoandinas, los descensos bruscos de temperatura dan lugar a las heladas, fenómeno meteorológico que afecta a los pobladores y ocasiona pérdidas materiales. En periodo lluvioso normal las precipitaciones en la parte alta varían hasta 500 mm anuales y en periodo de El Niño no sobrepasan los 400 mm anuales, según el mapa de isoyetas de precipitación acumulada anual de SENAMHI (figura 2.7).

Las precipitaciones en las localidades costeras son por lo general del tipo llovizna; persistentes en los meses de agosto a septiembre, cuando los vientos alisios del sur y la inversión térmica se intensifican. **Las localidades más expuestas a la brisa marina son propicias para la ocurrencia de lloviznas,** las mismas que favorecen el crecimiento de plantas herbáceas (vegetación de lomas).

En las serranías, la precipitación aumenta con la altura hasta alcanzar valores anuales de 400 l/m² en las localidades ubicadas en las punas del departamento. En las localidades de Tarata y Candarave, las precipitaciones entre enero y febrero son ligeras, de corta duración, especialmente durante la tarde y primeras horas de la noche. En la puna se presentan algunas tormentas entre enero y marzo; en los meses restantes, esporádicamente pueden ocurrir nevadas por la incursión de aire frío procedente del sur sobre los 3000 m s. n. m.

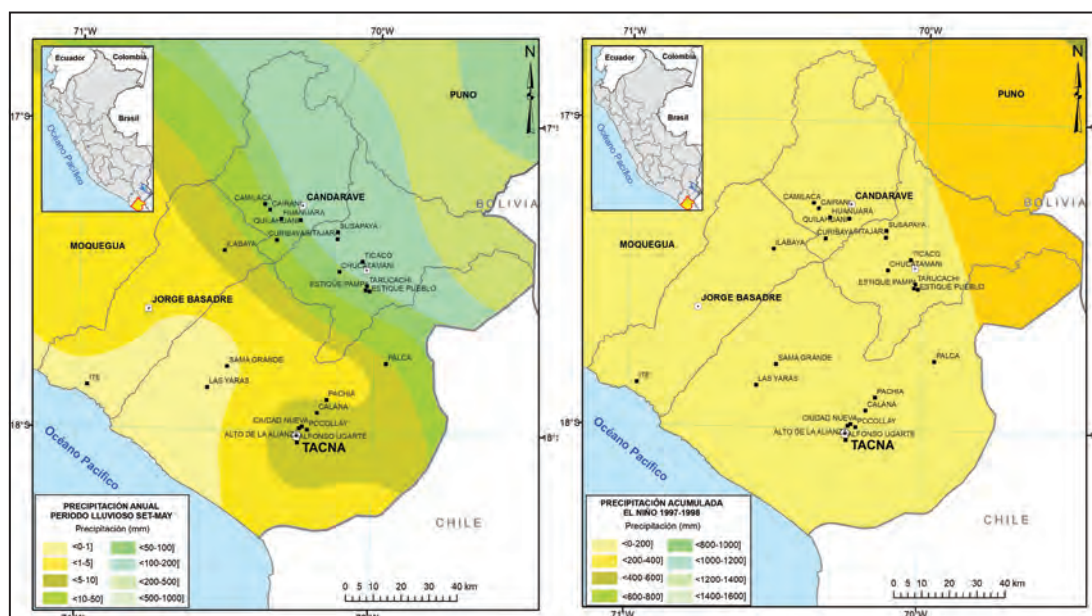


Figura 2.7 Mapa de isoyetas de Tacna para el periodo lluvioso, septiembre-mayo (izquierda) y con presencia del Fenómeno El Niño 1997-1998 (derecha).

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010 b y c.

2.6 HIDROGRAFÍA

El departamento de Tacna se caracteriza por la extrema escasez de escorrentía superficial del sistema hídrico y por la acentuada aridez de su suelo, siendo sus principales fuentes superficiales las cuencas de los ríos Locumba, Sama, Caplina, Hospicio, Uchusuma y por cuatro Intercuencas (13159, 13157, 13153 y 13155).

Estos ríos son de corto trayecto y desembocan sus aguas en el Océano Pacífico. El incremento de sus aguas varía años tras año y es particularmente mayor cuando se presenta el fenómeno El Niño. En promedio, la descarga total de los ríos del departamento alcanza los 10.9 m³ /s, lo que grafica la crónica escasez de este recurso. Además, se cuenta con recursos

hídricos subterráneos en La Yarada (86 pozos), así como en las Pampa del Ayro (10 pozos), Maure y otras zonas altoandinas. También, existen lagunas principales como Vizcachas, Loriscota, Vilacota, Aricota y Suches.

El Uchusuma y el Caplina nacen en el nevado Barroso, ubicado en este mismo departamento. El río Locumba, a su vez, nace en los cerros Oquelaca y Chanane (Moquegua) con el nombre de Umapalca. En Tacna, este río sigue varios cursos por lo que da origen a diversas cuencas: Huaytiri, Humapalca, Callazas, Matazas, Salado, Curibaya y Cinto.

El río Sama, a su vez, recibe este nombre a partir de la confluencia de los ríos Tala y Salado. Recorre un total de 160 km antes de verter sus aguas en el Océano Pacífico. La red hidrográfica está formada por siete subcuencas (figura 2.8).

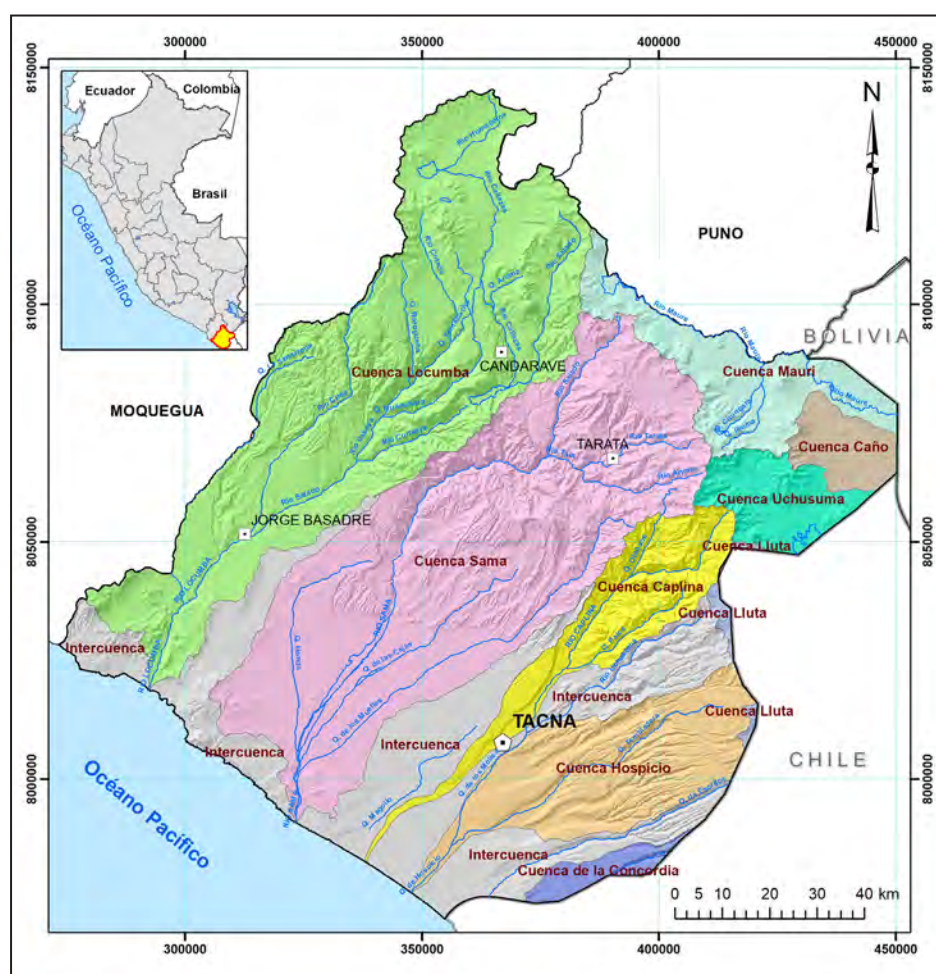


Figura 2.8 Mapa de cuencas hidrográficas en la región Tacna. Elaboración propia con información del ANA.

2.7 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Cabe resaltar que un Área Natural Protegida (ANP), según la Ley 26534, se define como aquel espacio continental o marino del territorio nacional, que sirve para conservar la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico. En el departamento de Tacna, existe un Área de Conservación Regional (ACR 05) denominado Vilacota Maure, creado mediante D.S. n° 015-2009-MINAM, el 28 de agosto del 2009. Forma parte del patrimonio de la nación, encargado al Gobierno Regional de Tacna, en coordinación con las municipalidades, poblaciones locales y comunidades campesinas que habitan en el área. Esta área está ubicada en la jurisdicción de los distritos de Palca (provincia de Tacna);

Susapaya, Ticaco y Tarata (provincia de Tarata); y Candarave (provincia de Candarave) del Departamento de Tacna (figura 2.9). Comprende una superficie de 124 313.18 ha. El ACR VM contiene una muestra representativa de ecosistemas y paisajes altoandinos que son un fuerte respaldo y sirven de cobertura a todo el sistema natural y antropogénico.

El ANP está ubicado en la zona altoandina, donde se encuentran algunos anexos de los distritos contiguos a la cordillera. Está a una altitud promedio de 4300 m s. n. m. y su conformación es de pampas onduladas en las que se forman bofedales para la crianza de camélidos. Sobresalen algunos picos elevados que sobrepasan los 5000 m s. n. m.

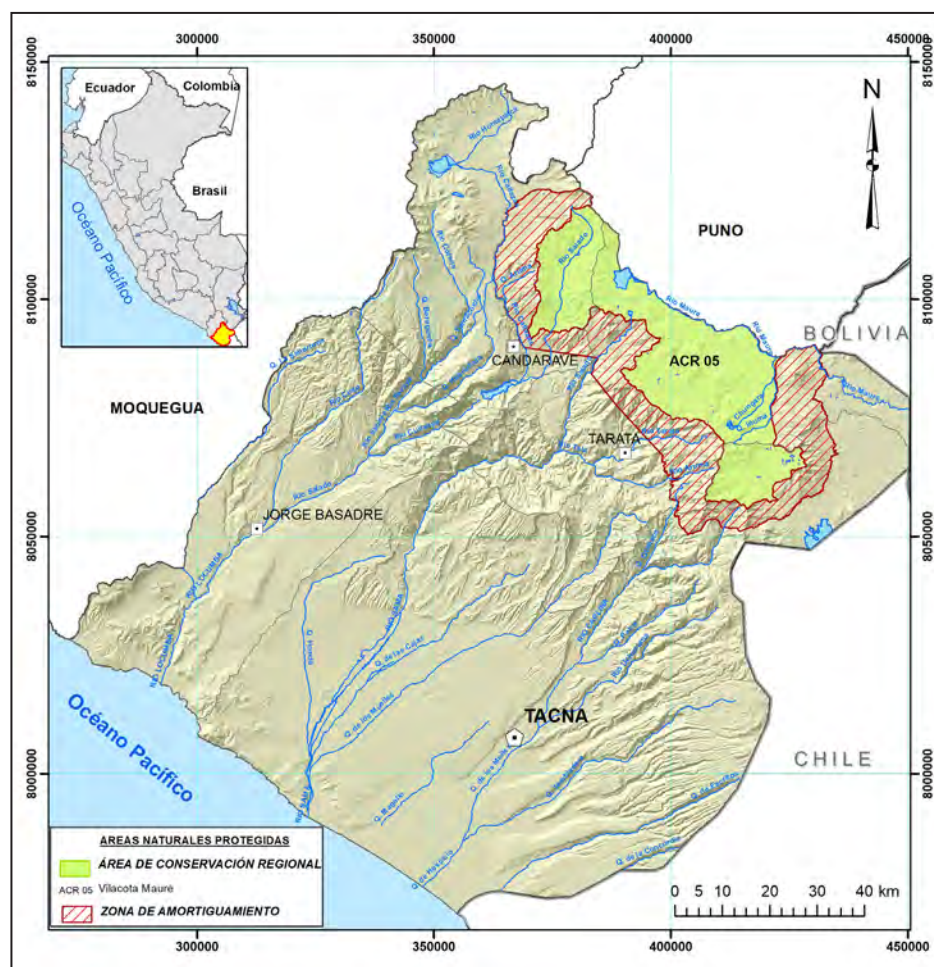


Figura 2.9 Áreas Naturales Protegidas en el departamento de Tacna.

Fuente: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, SERNANP actualizadas al 2020.

2.8 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

Tomando como referencia el mapa de cobertura vegetal del Perú (Perú. Ministerio del Ambiente, 2015), a escala 1:2 000 000 y considerando la necesidad de contar con información referente a la susceptibilidad de un área determinada a la ocurrencia de movimientos en masa en función del factor de cobertura vegetal existente, se preparó el mapa de distribución de la cobertura vegetal para la región Tacna. Se diferenciaron trece zonas con tipo de vegetación dominante, considerándose las características de densidad o ausencia de vegetación (mapa 1).

En la región Tacna, la cobertura de suelo no necesariamente es de tipo vegetal, sino el denominado desierto costero; luego, siguen las zonas cubiertas con pajonal altoandino, matorral arbustivo, las zonas periglaciares, ocupadas por agricultura costera o andina; y finalmente, extensiones reducidas de vegetación de tipo bofedales y los bosques relictos altoandinos.

Esta vegetación se distribuye en los siguientes tipos de cobertura vegetal natural:

Bosque relicto altoandino (Bral)

Se encuentra distribuido de manera fraccionada, muy reducida y ubicación poco accesible en algunas zonas puntuales de la región altoandina, sobre piedemonte, laderas empinadas y cimas montañosas, así como en monte ribereño de ciertos ríos y quebradas, aproximadamente. Ocupa una superficie de 73.09 km² desarrollada entre 3600 y 4200 m s. n. m., ocupando parte de las provincias de Tarata y Candarave.

La vegetación está representada por el "quenual". En ciertas ocasiones se asocia a los géneros "cotoquisuar", "chachacomo" y "tasta". Este bosque alcanza alturas máximas de hasta 10 m en sitios con humedad permanente, mientras que, en sitios con largos periodos secos, los bosques son de porte casi arbustivo (3 m).

La población rural utiliza las especies vegetales de este bosque principalmente como leña, carbón, cercos y también en trabajos de artesanía.

Matorral arbustivo (Ma)

Se encuentra distribuido en el lado central de la región hasta el límite de los pajonales naturales desde aproximadamente 2400 hasta 3950 m s. n. m. Tiene una superficie de 2163.71 km², equivalente al 13.48 % del área total.

Por debajo de los 2500 m s. n. m. al sureste de la región en la provincia de Tacna, las condiciones áridas y semiáridas propician el desarrollo de asociaciones arbustivas que pierden totalmente su follaje durante el periodo seco del año, mezcladas con suculentas y herbáceas de vida efímera. Entre las cactáceas se tiene al "candelabro" y el "gigantón".

El nivel comprendido entre 2950 a 3800 m s. n. m., parte central de la región, debido a sus condiciones subhúmedas, permiten un desarrollo de asociaciones arbustivas. Entre las especies más frecuentes se tiene la "chamana", "lloque", "chinchilcuma", "yauli", "maguey azul", "huaranhuay", "marco", "retama", entre otras. Se incluyen algunas especies arbóreas de porte bajo y de manera dispersa, tales como el "faique", "molle" y "tara".

En el nivel superior, comprendido entre los 3500 a 3950 m s. n. m. en la parte central-occidental y norte de la región, existen mejores condiciones de humedad y menores valores de temperatura, lo que propicia el desarrollo de una mayor diversidad de especies arbustivas como "chocho", "tayanco", "tola", "manzanita", "mutuy".

Pajonal altoandino (Pj)

Conformado por herbazales, se ubica entre los 3800 y 4800 m s. n. m. Presenta gran distribución desde la parte central hacia el límite con las regiones Puno y Moquegua. Ocupa una superficie de 2405.62 km² equivalente al 14.98 %. Se desarrolla sobre terrenos casi planos a ondulados en zonas de altiplanicies, en depresiones y en el fondo de valles glaciares, hasta empinados o escarpados en las laderas montañosas y cumbres altoandinas. Está conformado por asociaciones de hierbas con dos estratos bien definidos. El estrato dominante está conformado por matas de gramíneas de hasta 1 m de alto, cuyas hojas son de consistencia rígida, enrolladas y punzantes "tipo paja" (ichu). El estrato inferior, conocido como "vegetación de piso", está conformado por hierbas que crecen pegadas al suelo con alturas hasta de 10 cm de altura y que constituyen la verdadera fuente forrajera. El pajonal constituye una fuente de forraje para camélidos y ganado ovino; sin embargo, muchas áreas se encuentran en proceso de degradación debido al sobrepastoreo, la quema periódica y la ampliación de la frontera agrícola.

Bofedal (Bo)

Ecosistema hidromórfico distribuido a manera de parches en la extensa región altoandina, encima de los 3800 m s. n. m., hacia el norte y este de la región. Ocupa una superficie de 52.61 km².

Se encuentra normalmente en los fondos de valle fluvio-glacial, conos volcánicos, planicies lacustres, piedemonte y terrazas fluviales. Se alimenta del agua proveniente del deshielo de los glaciares, de manantiales y de la precipitación pluvial. Los suelos permanecen inundados permanentemente con ligeras oscilaciones durante el periodo seco.

La vegetación es densa y compacta, siempre verde, de porte almohadillado o en cojín. Las especies más frecuentes son la "champa", "champa estrella", "yareta", entre otras. Este ecosistema frágil viene siendo afectado por el sobrepastoreo, obras de drenaje para el desarrollo de actividades productivas, construcción de reservorios de agua o presas, extracción para leña u otras actividades.

Loma (Lo)

Se localiza en las estribaciones andinas cercanas al mar, en el gran desierto costero de la región entre las provincias de Tacna y Jorge Basadre. Se extiende en una superficie de 214.93 km² representa el 1.34 % del total de la región.

Constituye un ecosistema originado por la baja temperatura de las aguas marinas continentales (corriente peruana de Humboldt), que recorre paralela a la costa, produciendo capas densas de neblina durante el invierno austral (junio-septiembre). Al ponerse en contacto con los primeros contrafuertes andinos genera un tipo especial de vegetación que puede empezar desde la orilla del mar hasta aproximadamente 1000 m de altitud. Destacan los cerros Piedra Grande, Huaca Luna, Airampal Sur, Yarando, Pelado, Cajones, Bravo, Batancito, Meca Chiquita, Las Lomas de Sama, entre otros.

La vegetación predominante es herbáceas estacionales o efímeras que tapizan la superficie del suelo durante el periodo de nieblas invernales, seguido de un estrato arbustivo, en algunos casos en forma dispersa y en otros relativamente concentrado, de carácter temporal y perenne. Solo en los sectores con mayor captación de humedad se desarrollan algunas especies arbóreas, siendo más comunes el mito, tara y palillo.

Agricultura costera y andina (Agri)

Cobertura antrópica, donde se realiza actividad agropecuaria, actualmente activa y en descanso, ubicada en todos los valles que atraviesan el desierto costero, y ascienden a la vertiente occidental andina hasta el límite con el pajonal

altoandino. Corresponde también los fondos y laderas de los valles interandinos de Ticaco, Taratam Tarucachi, Susapaya, Quilahuani, Candarave, Camilaca, entre otros.

Las zonas cultivables principales se encuentran en los valles de Caplina, Sama y Locumba; ocupan parte de los abanicos y terrazas aluviales (zonas de Caplina, Hospicio, Arunta y Caramolle). Ocupan una superficie de 607.85 km², que representa el 3.79 % del área total de la región.

Otras áreas

Corresponde aquellas áreas sin cobertura vegetal como son los glaciares, zonas periglaciares, áreas con actividad minera, cuerpos de agua y el desierto costero. En esta última cobertura no significa que en absoluto no exista vegetación; lo cierto es que sí existe, pero de manera muy esporádica.

Periglaciario (Ap)

Se denomina así a cualquier ambiente o proceso sobre la superficie terrestre, regulado por fenómenos de hielo-deshielo (permafrost, ciclos de helada o coberteras nivales). En la región Tacna, estas zonas se ubican en el lado norte y noreste de la región, las cuales forman parte de la Cordillera Occidental, los cerros cuyas cimas conforman el límite regional con Puno y Moquegua. Ocupa una superficie de 1985.45 km² equivalente al 12.36 % del área total de la región.

Glaciar (Gl)

Conformado por masas de hielo que se ubican de manera reducida en la región, como en las cumbres de los nevados de la cordillera del Barroso y volcanes Yucamane y Tutupaca, entre otros. Ocupa una superficie de 26.70 km².

Desierto costero (D)

Ocupa una gran extensión de la pampa costanera, Cordillera de la Costa y las primeras estribaciones del flanco oeste de la Cordillera Occidental. La vegetación aparece de manera esporádica y en baja densidad. Abarca una superficie de 8375.62 km², que representa el 52.16 % del área total de la región.

El clima de esta zona se caracteriza por ser árido y cálido en verano (diciembre-marzo) y con neblinas en el invierno (mayo-

septiembre) provenientes del mar, las cuales se disipan al chocar con las primeras elevaciones del contrafuerte occidental, aproximadamente entre los 700 y 1000 m s. n. m., dando origen a la vegetación de lomas. Al margen de las lomas es común observar, en los años con fuertes neblinas, un diminuto y efímero tapiz herbáceo de pocos centímetros de altura que crece sobre grandes planicies (que carecen de cultivos o campos sin labrar); otra especie muy típica es la llamada "siempre viva" en los cerros Caramolle e Intiorko.

Lagunas, ríos y reservorios de agua (Lag/R)

Son cuerpos de agua estancada o de movimiento lento, de origen natural o artificial. Su uso puede ser recreacional, agropecuario, piscícola, generación de energía, o para abastecimiento de agua y riego. Algunos se encuentran utilizados por obras hidráulicas como presas o reservorios.

En la región, se tienen grandes cuerpos de agua que conforman lagunas: Aricota, Caparaja, Ñeque, Vilacota, Paracota, Suhez, Blanca, entre otras; y obras mayores de regulación: Embalses Casiri, Condorpico, Paucarani, Cularjahuira, Dique Cano, Jarumas y Pampa de Vaca. En conjunto ocupan una superficie de 32.28 km².

Actividad minera y canteras (Mi/C)

Se encuentra el área con actividad minera (terrenos usados para desmontes, tajo abierto, canteras y relave) de las minas de Toquepala, Pucamarca, entre otros; así como canteras que se ubican en el distrito Gregorio Albarracín en la margen derecha de la quebrada del Diablo. Ocupan una superficie de 31.15 km² del área total de la región.

Áreas urbanas (Aur)

También se la denomina zona urbana; es la porción de territorio donde actualmente se desarrollan las ciudades importantes de la región (Tacna, Ite, Calana, Pachía, entre otras). Incluyen zonas de expansión urbana, aún no ocupadas, construidas, potencialmente urbanizables y que pueden incorporarse a la ciudad sobre la base de una planificación de desarrollo urbano. Ocupan el 0.53 % del área total de la región.

CAPÍTULO III

CONTEXTO LITOLÓGICO ESTRUCTURAL

3.1 GENERALIDADES

El mapa litológico expresa la distribución de rocas en cualquier territorio e indica la clase a la que pertenecen dentro de una clasificación petrológica. Su complejidad está condicionada por la asociación de diferentes tipos de rocas, agrupadas en formaciones geológicas (litoestratigráficas), principalmente en sus características de competencia geomecánica (discontinuidades) y resistencia (erosión y meteorización). Para suelos y/o detritos se agrupan de acuerdo con su génesis, y se describe principalmente su granulometría, espesor, grado de compactación (suelos granulares) y consistencia (suelos cohesivos).

El mapa litológico se elaboró a partir de la información geológica disponible en los boletines de la serie A, números: 4, 6, 7, 10, 11, 15 y 29 de la Carta Geológica Nacional, a escala 1:100 000 (Wilson & García, 1962; Jaén *et al.*, 1963; Narvaez, 1964; Mendivil, 1965; Jaén, 1965; García, 1978; Bellido, 1979); las actualizaciones de la Carta Geológica Nacional, números: 139 y 145 a escala 1:50 000 (Acosta, *et al.*, 2011 y Acosta, *et al.*, 2012); las memorias descriptivas de la actualización de Carta Geológica Nacional, a escala 1:100 000 (Monge & Cervantes, 2000; Martínez & Zuloaga, 2000; Sanchez *et al.*, 2000, De la Cruz & De la Cruz, 2001); y el *Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja n° 1* (Ingemmet, 2000), acompañado de trabajos de revisión en campo que sirvieron para caracterizar las rocas.

Asimismo, se tomó como patrón la división litológica establecida en las Especificaciones Técnicas DGAR-ET-004 V (01): *Leyenda y simbología de mapa litológico*, elaborado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2014), para lo cual se consideró el grado de homogeneidad de sus propiedades geomecánicas que indican su resistencia y susceptibilidad a procesos de erosión y remoción en masa. Las características tomadas en cuenta para la clasificación de las unidades de roca y suelos han sido el tipo de roca, la presencia de fracturas, fallas, grado de meteorización, presencia de agua subterránea y origen del suelo.

3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

La delimitación de unidades litológicas se basó en el predominio de la litología dominante de las formaciones geológicas existentes sin considerar su edad. Se dio énfasis en las características geotécnicas como intensidad de fracturamiento, grado de meteorización, resistencia a la erosión y, en general, características de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

De acuerdo con lo mencionado, los principales grupos de suelos y rocas fueron agrupados en dos grandes unidades de clasificación: depósitos inconsolidados y substrato rocoso (mapa 2).

3.2.1 Unidad I: Depósito inconsolidado

La unidad de depósitos inconsolidados agrupa a materiales poco o nada coherentes y consolidados con edad reciente. Además de extensión y grosor variable, naturaleza litológica heterogénea y heterométrica han sido depositados desde el Pleistoceno hasta la actualidad y están agrupados básicamente en función a su origen.

En la región Tacna, se han determinado nueve subunidades de materiales no consolidados; son productos de la meteorización, erosión, transporte y posterior depositación, así como de precipitación química. Presentan diferente morfología que va desde planas a plano-onduladas, terrazas, lomadas y acumulaciones de piedemonte con cierta pendiente. Ocupan en conjunto un porcentaje de 35.38 % del total del área de estudio. De acuerdo con su origen se clasifican en:

Depósito residual o eluvial (I-1)

Son materiales generados por la descomposición física y química de la roca *in situ* (proceso de meteorización intensa del substrato rocoso). Estos depósitos no han sufrido ningún tipo de transporte, en parte conservan la estructura original de la roca; se presentan inconsolidados a poco consolidados, con una permeabilidad media a baja. Tienen como principales

agentes formadores la alteración físicoquímica, la presencia de abundante humedad y lluvias, y los fuertes cambios de temperatura.

La laterita y la bauxita son típicos depósitos residuales; también, la *terra rossa* en zonas calcáreas, que representa el residuo insoluble después de que el carbonato ha sido disuelto y eliminado. En la región Tacna se presenta este tipo de depósitos en el lado occidental de la región (en la planicie costera y cubriendo desniveles formados en la Cordillera de la Costa) en las provincias de Tacna, Jorge Basadre y Candarave; un ejemplo representativo es el sector El Alto, en ambas márgenes del río Sama, como resultado de los intensos cambios de temperatura que se produce en esta zona desértica, que altera la estructura original de las rocas. Los depósitos residuales representan el 1.47 % del área total en la región Tacna.

Depósito fluvial (I-2)

Los depósitos fluviales constituyen los materiales del cauce o lecho de los ríos y quebradas tributarias, terrazas

bajas inundables y llanura de inundación. Son depósitos heterométricos constituidos por bolones, cantos, gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y arenolimosos, que están en proceso de transporte y deposición 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 y la sedimentación, quedando 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. Los depósitos mejor desarrollados se encuentran en los grandes cursos fluviales como el río Sama (fotografía 3.1). Geomorfológicamente, están asociados principalmente a las llanuras de inundación y son susceptibles a erosión e inundación fluvial. Abarca un área de 85.88 km² que equivale al 0.54 % del área total de la región.



Fotografía 3.1 Depósitos fluviales en el fondo del valle del río Sama, puente Tomasiri al noroeste de la ciudad de Tacna; se observa material gravo-arenoso en la llanura inundable y terrazas bajas en ambas márgenes.

Depósito aluvial (I-3)

Son depósitos semiconsolidados, es decir, tienen cierto grado de consolidación y están erosionados por las corrientes actuales. Están constituidos por una mezcla heterogénea de bolones, cantos, con abundantes bloques y matriz de arena gruesa con clastos redondeados a subredondeados, que han sido acumulados por la combinación de procesos aluvionales y fluviales. Tienen de regular a buena selección, presentándose niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Están ubicados principalmente en las márgenes de ríos Locumba, Sama, Caplina, entre otros,

y quebradas principales formando llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes a los valles principales y tributarios mayores, son utilizados como terrenos de cultivo (fotografía 3.2 y figura 3.1).

Estos depósitos están ampliamente distribuidos en la región, abarcando un área de 2957.70 km² equivalente al 18.61 %. Son susceptibles a flujos de detritos, a la erosión fluvial (socavamiento en el pie de terrazas); se producen algunos derrumbes y hasta deslizamientos pequeños en márgenes de ríos y quebradas.



Fotografía 3.2 Vía asfaltada a 4.2 km del desvío de la carretera Costanera Sur a Los Palos, con vista hacia el noroeste. Se observa depósito aluvial formado por una secuencia de arenas y limos mal seleccionados en matriz limo arcilloso.

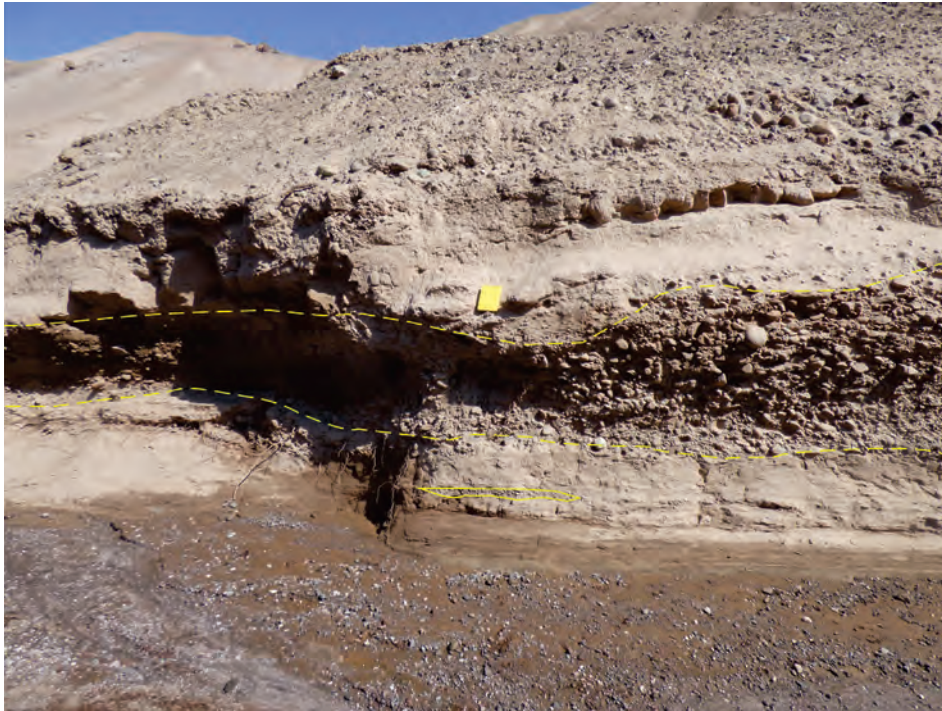


Figura 3.1 Quebrada Puquio, coordenadas UTM 353223 E – 8034677 N, se observa depósito aluvial formado por intercalación de capas delgadas limos y arcillas con lentes de arena; también, conglomerados con clastos redondeados en matriz limoarcilloso, con vista hacia el noroeste.

Depósito proluvial (I-4)

Están conformados por conos deyección y abanicos de diferentes dimensiones en función a su dinámica y capacidad de transporte de ríos o quebradas, o cualquier tipo de suelo cuaternario que haya sufrido movimiento o proceso de reacomodo lento o escurrimiento rápido. Se confunden con las terrazas aluviales o se interdigitan con estas. A diferencia de los depósitos aluviales, estos están mal clasificados; presentan fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolones, bloques, etc.), con relleno fino arenoso-arcilloso depositado en el fondo de

valles tributarios y conos deyección en la confluencia con el río principal (fotografía 3.3). Pueden presentar cierta estratificación, que representa la ocurrencia de varios flujos de detritos (huaicos) o lahares a través del tiempo; los materiales que conforman estas capas pueden ser gruesos y finos, dependiendo de la intensidad de la precipitación pluvial que los originó y de la disposición de material suelto en la cuenca donde se originan. Son susceptibles a erosión fluvial (socavamiento en el pie del depósito). Representan el 0.54 % de la superficie total de la región Tacna.



Fotografía 3.3 Depósito proluvial en la desembocadura de la quebrada Mirave, tributario del río Sama por la margen derecha, distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre Grohmann.

Depósito coluvio-deluvial (I-6)

Son depósitos formados por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte); estos se encuentran interestratificados y no es posible diferenciarlos. Están conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos cuando es un solo depósito y forman piedemontes cuando hay varios depósitos ubicados consecutivamente. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, aunque puede encontrarse material fino de arena y limo entre los clastos, son sueltos sin cohesión y conforman taludes de reposo poco estables (fotografía 3.4).

También, se consideran dentro de esta categoría a los depósitos formados por los materiales que fueron movilizados por algunos tipos de movimientos en masa, los cuales están conformados por fragmentos de tamaños heterométricos, mezclados de forma caótica, pudiendo presentarse algo consolidados. Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, movimientos en masa (deslizamientos, caídas y movimientos complejos).

Son susceptibles a derrumbes, caída de rocas y cuando es el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones, a realizar modificaciones en sus taludes naturales, así como erosión de laderas, remoción y generación de flujos. Representan el 2.11 % de la superficie total de la región.



Fotografía 3.4 Depósito coluvio-deluvial, que conforma un cono de talus, depositado en la ladera media del Ilabaya al noreste de Mirave, en la margen derecha del río Curibaya.

Depósito lacustrino/bofedal (I-7)

También son denominados bofedales, conforman generalmente planicies y están relacionados a las cuencas altas o valles cerrados. Su génesis está relacionada a represamientos naturales, por depositación y decantación de material fino en aguas tranquilas, así como la depositación de material fino en cuencas endorreicas. Se pueden presentar por afloramientos del

nivel freático en superficie, dando origen a humedales, donde crece vegetación; se deposita material fino y material orgánico resultado de la descomposición de la vegetación como es el caso de los bofedales. Están constituidos por sedimentos muy finos arcillo-limosos, a veces con intercalaciones de lentes areno-gravosos. Se encuentran estratificado en capas muy finas denominadas "varves"; también ocurren intercalaciones con lentes orgánicos.

Geomorfológicamente, son susceptibles a inundación pluvial, lagunar. Se han diferenciado varios depósitos al norte y noreste de Tacna, en las provincias de Tarata y Candarave. Representan el 0.74 % del área total de la región Tacna.

Depósito glaciar/fluvio-glaciar (I-8)

Dentro de esta subunidad se han considerado los depósitos de origen netamente glaciar, así como los materiales de similar origen glaciar que fueron transportados y redepositados por escorrentía pluvial o pluvial posterior o por deshielo de los nevados. Representan el 5.13 % del área total de la región Tacna.

Depósitos glaciares se localizan en zonas de gran elevación generalmente descubiertas y que solo presentan cobertura de nieve estacional-temporal. Esto debido al proceso de retroceso glaciar marcado que han sufrido las zonas de cordillera en los Andes por el cambio climático en el Cuaternario reciente. Su principal exposición se localiza en la Cordillera del Barroso, al noreste y norte de la región Tacna y recorre siguiendo una dirección noroeste-sureste. Las acumulaciones generadas en estas vertientes como resultado de este proceso, durante el Pleistoceno y Cuaternario reciente, corresponden a las acumulaciones masivas y hasta caóticas, heterométricas de gravas angulosas, bloques, guijarros y arena, dispuestas sin estratificación en una abundante matriz de limo y arcilla, a las que se denomina "morrenas". Las morrenas pueden ser clasificadas según su ubicación en el valle glaciar en laterales, frontales y de fondo; también, se pueden tener acumulaciones de detritos de gelifración más recientes en forma de talus expuestos por el retroceso de los glaciares.

Depósitos fluvio-glaciares se distribuyen en los escasos sectores altoandinos y de montaña que posee la región Ica. Son materiales glaciares (morrenas) que han sufrido removilización por acción fluvial o por gravedad. Están compuestos por material gravoso subredondeado, heterométrico, matriz areno-arcillosa, de espesor y permeabilidad variables, medianamente compactos. Generalmente, se ubican a cotas por encima de los 4200 m s. n. m., y ocupan extensas planicies altoandinas o laderas de montañas en zonas de valles glaciales o frentes montañosos de estratovolcanes muy erosionados, generalmente con pendiente moderada.

Depósito volcánico y volcanoclástico (I-9)

Acumulación de caída de cenizas, lapillis y tefras volcánicas, asociados a volcanes activos con actividad en el Cuaternario.

Los campos de cenizas se caracterizan por ser depósitos sueltos, de muy fácil remoción (fotografía 3.5). Los flujos piroclásticos han rellenado superficies preexistentes, conformadas por diferente granulometría, llegan a tener tamaños de bloques, presenta una estructura clasto-soportada. Los depósitos volcánicos pueden ser residuales por alteración de los materiales infrayacentes, resultando depósitos limo-arenosos y arcillosos, que son transportados como productos de las emisiones volcánicas dando acumulaciones de piroclastos. Estos depósitos se encuentran en las inmediaciones de los volcanes Tutupaca, Yucamane, Purupuruni y Casiri. Se pueden presentar procesos de deslizamientos, derrumbes, lahares y erosiones de ladera. Ocupa el 0.81 % del área total de la región Tacna.

Depósito químico/ travertino, sinter, pozos de lodo y depósitos de yeso (I-11)

Están constituidos por travertinos, sínTERS y pozos de lodo, asociados a aguas termales (fotografías 3.6 y 3.7), así como zonas alteradas azufreras. En algunos sectores como al norte de Tacna, límite con la región Puno, existen terrazas de travertinos y sinter que se forman a partir de manantiales de aguas termales, debido a la existencia de fallas regionales con dirección NO-SE y fallas locales con dirección NE-SO, las cuales probablemente han controlado el emplazamiento del sistema geotermal de Borateras.

En la parte baja de la quebrada Putina, se distinguen surgencias de fuentes termales, las cuales han originado la depositación de sinter, que ha ido depredando el bofedal del río Maure. En la región, existen aparatos volcánicos antiguos que presentan zonas de alteración hidrotermal y fuentes termales. Las alteraciones hidrotermales pueden obedecer a una intensa actividad hidrotermal que presenta un volcán en su fase final de actividad, así como a procesos de alteración debido a la actividad glaciar o debido a ambos procedimientos. Las alteraciones hidrotermales también están relacionadas a zonas donde la actividad geotérmica fue intensa y constante, lo que altera la textura y los componentes minerales de las rocas originales reemplazándolos por minerales secundarios como sílice o carbonatos. Ocupan el 0.24 % (37.97 km²) del área total de la región.



Fotografía 3.5 Depósito de caídas piroclásticas, capas de cenizas y pómez en ambas en el flanco oeste del volcán Tutupaca.



Fotografía 3.6 Terrazas de travertinos en las márgenes del río Maure, sector de los baños termales de Calachaca. Vista aguas arriba.

Están conformados por depósitos de yeso en el distrito de Sama, 46 km en línea recta al suroeste de la ciudad de Tacna (figura 3.2). Sus coordenadas UTM son 7998096N y 321598E. El acceso desde la ciudad es por la carretera Tacna-La Yarada, recorriendo 55 km de camino asfaltado y luego 4 km de carretera afirmada, tomando un desvío a la altura de la caleta Vila Vila. Están constituidos por una formación de yeso en forma de

manto; el yeso se presenta amorfo y mezclado con arena. El manto de yeso tiene una potencia variable entre 1.5 a 2.5 m, con intercalaciones de arcilla y lentes de arena, superficialmente cubierto por arenas y gravas. El depósito de yeso, de edad pleistocénica, yace discordantemente sobre los volcánicos Chocolate y la Formación Guaneros (Díaz *et al.*, 2011).



Figura 3.1 Depósito evaporítico de yeso, en la cantera Viernes Santo, al suroeste de la ciudad de Tacna. Vista Google Earth.

Depósito eólico (I-12)

Se trata de acumulaciones de arena depositadas por el viento sobre extensas planicies como mantos de arena de unos pocos metros de espesor o como dunas aisladas (longitudinales, parabólicas, trepadoras). Los mejores ejemplares de dunas se encuentran en las pampas Cruz Verde, La Yarada y Hospicio, formando una delgada cubierta discontinua que algunas veces constituyen dunas y médanos, tal como se observa en el sector situado entre Cruz Verde y Pampa de Hospicio. Desde Hospicio hacia el sur, estas acumulaciones eólicas se presentan formando médanos, los mismos que se prolongan hacia territorio chileno.

Como mantos de arena, en la región existen tres zonas donde hay una importante acumulación de material eólico. El primero y más importante está ubicado en los cerros Conchitas, Cubetas y Punta Paloma. En este sector se distribuyen de forma alargada con dirección preferencial NE-SO paralelo a la dirección de los vientos procedentes del mar. La segunda zona está ubicada al sur del cerro Magollo. Esta acumulación de material eólico sucede debido al cambio abrupto de la topografía que impide el desplazamiento de los vientos que proceden del mar. La última

zona con importancia se presenta entre los cerros Cajones, Canicora y La Mina, cubriendo áreas importantes en la cima de estos cerros y formando planicies que adquieren una dirección NE-SO paralelos a los vientos procedentes del mar (fotografía 3.7).

Al norte de la región, las acumulaciones de depósitos eólicos son escasas y de poco grosor; están alojadas en algunas depresiones pequeñas al pie de ciertas laderas y escarpas o simplemente se hallan dispersas en áreas abiertas. Debido a la deflación que es intensa, en la región, generalmente se distingue en las rocas de menor consistencia y en las superficies meteorizadas de las rocas más duras, vestigios de pulimento, surcos de orientación caprichosa y desgastes que han dado lugar a formas topográficas variadas, principalmente en los tufos, cuyas partículas desprendidas ha sido esparcidas por el viento como en la Pampa Collota y los depósitos de arena que circunscribe al noreste de la laguna Vilacota. Estas arenas de grano fino se acumulan cubriendo las gramíneas dando una topografía de montículos. Ocupan el 4.84 % del área total de la región.



Fotografía 3.7 Presencia de dunas trepadoras en laderas del cerro La Mina, invade carretera de acceso a Ite (Km 82+000).

Depósito marino (I-13)

Los depósitos marinos están constituidos por acumulaciones de conglomerados, arena y limo con restos de conchillas del borde litoral, así como la faja playera inundable. Su afloramiento se encuentra a lo largo de toda la costa desde la localidad de San Pedro. Se expone como una delgada franja playera, la cual se hace más amplia a partir de la localidad El Chasqui, donde alcanza un ancho de hasta 2 km en el sector Llostay para luego reducir su ancho nuevamente cerca de la localidad La Yesera; desde ahí se adelgaza hasta la pampa Tacahuay.

Se aprecian antiguos depósitos aluviales que alcanzaron el mar y fueron retrabajados formando depósitos en desnivel producto de la acción dinámica de las olas, los que han generado un desgaste en la costa hasta formar una plataforma de abrasión.

El material observado en esta terraza está conformado por conglomerados con clastos de roca volcánica mayormente. Estos conglomerados no consolidados tienen clastos subredondeados a redondeados cuyo diámetro promedio es de 4 cm en una matriz soportada en areniscas cuarzo feldespáticas. En la superficie de la terraza se aprecia conchillas y evidencias de actividad biótica marina.

En la región podemos encontrar este tipo de depósitos a lo largo de la zona litoral y también como costas emergentes, que fueron antiguos fondos marinos, que se encuentran actualmente por encima del nivel del mar; representan el 0.30 % de la superficie total de la región. Ejemplos de estos depósitos los encontramos en la margen izquierda del río Sama (fotografía 3.8), hacienda La Siquina, al norte y noreste de Llostay.



Fotografía 3.8 Vista de depósitos marinos en la playa Boca del Río, en la margen izquierda del río Sama.

Depósito antropógeno (I-14)

Está constituido por depósitos generados por el hombre sin intervención de procesos de transformación industrial: ruinas desechos, construcciones civiles (terraplenes, diques de presas, enrocados, espigones, canteras, etc.) y por los depósitos generados por el hombre mediante procesos de transformación industrial: depósitos de relaves, de desecho industrial, escorias, canchas de minerales, etc.

En el caso de la región Tacna, se tienen depósitos de cantera en el distrito Gregorio Albarracín (fotografía 3.9) y de relaves como es el caso de Toquepala. También están incluidos aquellos generados por el hombre y están formados por desmonte y basurales. Los depósitos de desmonte están representados por escombros de viviendas, canteras abandonadas de ignimbrita de la Formación Huaylillas; mientras que en relación con los depósitos de basura se consideran, además, los antiguos botaderos municipales. Ocupan el 0.03 % del área total de la región.



Fotografía 3.9 Canteras de agregados del distrito Gregorio Albarracín, al sureste de Tacna.

3.2.2 Substrato rocoso

Estas unidades han sido divididas de tal forma que las diferentes litologías se agrupan según su naturaleza, diferenciándose en la región: rocas intrusivas (II), rocas volcánicas (III), rocas volcánico-sedimentarias (IV), rocas sedimentarias (V) y rocas metamórficas (VI). Estos símbolos pueden estar acompañados de un número según el tipo de litología particular de cada una de ellas. Ocupan el 64.62 % de la superficie total de la región Tacna.

a) Unidad II: Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas ocupan un porcentaje de 4.88 % del área total de la región Tacna. Se presentan principalmente a manera de diques, batolito y cuerpos subvolcánicos dispersos principalmente en los alrededores de la Cordillera de la Costa y la Occidental. Su resistencia varía según la composición, textura y su localización por efectos del clima a la que están expuestas; granodiorita y diorita son las rocas más comunes de la familia de las rocas intrusivas, y tienen una resistencia a la compresión de 100 - 200 Mpa.

Los afloramientos de rocas intrusivas son frecuentes en Tacna; su ubicación coincide con el de las principales minas. Estas rocas constan de stocks de granodiorita, diorita y monzonita. Las rocas intrusivas que afloran en la zona de estudio se han dividido en cuatro subunidades:

Granitos y monzogranitos (II-1)

Constituyen afloramientos de topografía moderada a fuerte con una distribución limitada en la región. Están bien expuestos en los cuadrángulos de Tarata y Pachía; una pequeña apófisis de granito aflora en las vecindades de los pueblos de Huanuara y Cairani, en ambos casos cortando a los volcánicos Toquepala. Se exponen como rocas de color rosado a rojizo, de grano medio a grueso, equigranular y holocristalino. También, afloran en el flanco suroeste del cerro Ancocala, cuya distribución es bastante regular formando un solo cuerpo intrusivo (Jaén, 1965).

Dentro de esta subunidad destacan los cuerpos intrusivos de la unidad Yarabamba y Sucllamachay, presentándose fracturados. Esta subunidad ocupa el 0.14 % de la superficie total de la región.

Los peligros geológicos que se presentan en esta unidad son derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos y erosión de laderas.

Granodioritas (II-2)

Las intrusiones compuestas en su mayoría por granodiorita y sienogranito en los batolitos Challaviento y de la Costa (Unidades Yarabamba e Ilo) tienen una mayor distribución en la región Tacna (2.28 % de la superficie total). Son afloramientos de topografía moderada a muy fuerte, cuerpos ígneos que se

cristalizan a una profundidad considerable dentro de la corteza terrestre; además, se clasifican dentro de plutones tabulares y masivos.

En la región tienen mayor exposición en los cuadrángulos de Pachia, Palca y Tarata, donde los mayores intrusivos afloran en las áreas de Lluta, Toquepala, Challaviento, Caplina, Ataspaca y el este de la quebrada Chero. Su distribución en la región es probablemente más amplia de lo que está expuesto, porque la cobertura terciaria oculta un área mayor del basamento en el que pueden existir tales rocas (fuente).

La granodiorita es de color gris claro a gris verdoso, de textura granular, grano grueso a fino, holocristalino. Las granodioritas intruyen a las formaciones Pelado, Chachacumane y volcánicos Toquepala. Superficialmente, la roca se encuentra alterada presentando un color marrón rojizo; en algunas localidades se encuentra fuertemente diaclasada.

La granodiorita de Ilabaya posee frecuentes variaciones locales a diorita y se encuentra cortando a los volcánicos de la Formación Toquepala. En esta roca se alojan los principales depósitos metálicos de la zona. En algunos sectores presenta intenso fracturamiento (fotografía 3.10). Se asocia a caída de rocas, derrumbes, erosión de laderas y flujo de detritos.

Dioritas, tonalitas, melodioritas, gabrodioritas, gabro (II-3)

Es una unidad constituida principalmente por dioritas y gabros de la Unidad Yarabamba del Batolito de la Costa y tonalitas del Batolito de Challaviento.

En la región Tacna, tienen una mayor exposición en los cuadrángulos de Moquegua, Tarata, Ilo y Locumba; los ejemplos más representativos de afloramientos de dioritas se encuentran en los cerros Salinas, Chapollita y Torrillo y granodioritas en los cerros Puite, Alto Grande y Morrito.



Fotografía 3.10 Vista al este, carretera Calientes-Pallagua, se observa afloramiento de rocas intrusivas de la Unidad Yarabamba.

El más importante de estos afloramientos es el macizo que se encuentra en el cerro Llallave. Hacia el SE de este macizo se encuentran los *stocks* de Alto de Poquera y Alto de Chulibaya; otro afloramiento relativamente pequeño se encuentra en las inmediaciones de la mina Curibaya. Litológicamente, las rocas de estos afloramientos son muy similares; en término medio son de color gris verdoso, grano medio a fino. Sus constituyentes reconocibles macroscópicamente son plagioclasas, hornblenda,

ortosa y cuarzo. En los afloramientos citados, la diorita atraviesa a los volcánicos de la Formación Toquepala, observándose en sus contactos variaciones texturales y cambios de coloración de la roca encajonante.

Ocupan el 2.07 % del área total de la región. Morfológicamente, constituyen montañas y laderas de moderada pendiente que se asocia a flujos de detritos, caída de rocas, erosión de laderas y movimientos complejos.

Pórfidos, intrusivos hipabisales (II-4)

Constituyen intrusiones menores e hipabisales de pequeñas dimensiones constituidas principalmente por diques y pequeños stocks de naturaleza subvolcánica y de edad más reciente, que afloran de manera aislada y dispersa. Esta unidad está representada por una serie de diques de diferentes dimensiones que varían entre 1 a 30 m de ancho y con longitudes máximas que alcanzan los 200 m. Estos cuerpos abarcan el 0.32 % del área de la región.

También, se encuentran en esta subunidad pórfidos dacíticos en el río Sama, entre las localidades de Chipispaya y Londoniza que se prolonga hacia el cuadrángulo de Pachía.

Esta subunidad es susceptible a los procesos geodinámicos por movimientos en masa, flujos de detritos y erosión de ladera.

b) Unidad III: Rocas volcánicas

Constituyen una importante extensión dentro de la región Tacna, ocupando el 34.74 %; sus afloramientos se circunscriben a la zona sur de la región. Los valores de resistencia a la compresión de la matriz rocosa están entre 1000 a 5000 kp/cm² en las andesitas, 100-460 kp/cm² en las tobas y entre 600-3500 kp/cm² en los basaltos. La resistencia a la tracción para estas mismas rocas es de 70, 10-40 y 50-250 kp/cm², respectivamente. La litología principal expuesta ha permitido subdividirlas en cuatro grupos:

Rocas piroclásticas (III-1)

Se presentan en gran parte de la región Tacna, ocupando un área de 3484.78 km² equivalente al 21.93 % del área total de la región. Son afloramientos de rocas representadas por las siguientes unidades litoestratigráficas: el Grupo Barroso, conformado de tobas de lapilli cristalolíticas; la Formación Huilacollo formada por piroclastos de bloques y clastos, tobas riolíticas y andesitas porfíricas; la Formación Huaylillas constituida por tobas ignimbritas riolíticas de color beige rosácea, areniscas tobáceas; la Formación Tarata inferior, con flujos de bloques y clastos volcánicos; la Formación Huaracane formada por tobas de cristales subredondeados a angulosos en matriz arenotobácea de composición andesita a dacita; la Formación Sencca compuesta por tobas riolíticas-dacíticas poco compactas; la Formación Paralaque formada por derrames de dacitas, riolitas y andesitas, y del centro volcánico Yucamane, conformado por tobas riolíticas y del Complejo volcánico Tutupaca (fotografía 3.11).

Por sus características texturales y de compacidad como estructurales (fracturamiento y discontinuidades), son susceptibles principalmente a caídas de rocas, derrumbes, lahares, erosiones de laderas y avalancha de rocas debido a las fuertes pendientes que caracterizan a este sector.



Fotografía 3.11 Afloramiento de ignimbritas de la Formación Huaylillas, en el sector La Florida, al noroeste de la ciudad de Tacna.

Rocas piroclásticas y lavas (III-2)

En la región se tiene una reducida exposición en el cuadrángulo La Yarada. Corresponde a afloramiento de rocas de la Formación Guaneros superior formada por derrames de lava andesítica porfirítica y aglomerados. Ocupan el 0.34 % del área total de la región.

Dado el tipo de litología de esta subunidad pueden ser susceptibles a la ocurrencia de caída de rocas y erosiones de laderas y en menor ocurrencia de flujos de detritos y deslizamientos.

Secuencia lávica andesítica/dacítica (III-3)

En la región Tacna, se tiene mayor exposición en los cuadrángulos Huaytire, Tarata, Río Maure y Palca. Son afloramientos de rocas representadas por la Formación Quellaveco Miembro Asna conformada por riolitas; y el Grupo Barroso compuesto por andesita porfídica vesicular, andesita seriada, riolita porfídica, andesita afanítica, cuarzo latito, traquiandesita afanítica, domo lava de latita y andesita microporfídica. Esta subunidad ocupa el 12.34 % del área de la región.

En los frentes de lava y por su grado de fracturamiento son propensas a caídas de rocas, derrumbes, erosiones en cárcavas, flujos de detritos y deslizamientos (fotografía 3.12).



Fotografía 3.12 Vista tomada en el flanco este del nevado Huancune, se observa afloramiento de roca volcánica conformado por traquiandesita porfídica del Grupo Barroso.

Andesitas basálticas (III-4)

Corresponden afloramientos de rocas andesitas basálticas; en la región se expone en el cuadrángulo Tarata, en el flanco sureste del Nevado Carcave y flanco suroeste del cerro San Francisco. Esta unidad litoestratigráfica es susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos de tipo: derrumbes y erosión de ladera. Ocupa el 0.13 % de la superficie total de la región.

c) Unidad IV: Rocas volcánico-sedimentarias

Constituyen una extensión de 11.89 % del área de la región. En esta unidad se ha agrupado las secuencias de unidades sedimentarias clásticas con intercalaciones de secuencias

volcánicas (tobas y lavas). Su exposición se circunscribe a la zona occidental y suroccidental de la región; de acuerdo con su litología se dividen en dos subunidades:

Rocas piroclásticas y lavas dacíticas y andesíticas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados (IV-1)

Estos afloramientos se encuentran dispersos en la región. Están representados por la Formación Chocolate, constituidos por derrames de andesita y basalto, aglomerados y tufos con intercalaciones de cuarcitas, calizas y lentes irregulares de arrecifes coralinos; y el miembro inferior de la Formación Guaneros, constituidos por areniscas rojizas a brunáceas, de grano fino, bien estratificadas y con algunos lentes de

aglomerados y bancos de andesitas (fotografía 3.13). Ocupan el 1.73 % de la superficie total de la región.

Esta unidad litoestratigráfica es susceptible a los procesos geológicos por movimientos en masa de tipo: derrumbes, caída de rocas y erosión de laderas.

En el cuadrángulo de Locumba, se hallan dos exposiciones del volcánico Chocolate: una ubicada al norte del cerro Meca Grande y otra al sur formando el morro Sama desde la orilla del mar hasta la Pampa El Eslagonal (fotografía 3.14).



Fotografía 3.13 Cerro Moreno, vista hacia el este. Afloramiento de areniscas de la Formación Guaneros miembro inferior fuertemente fracturado.



Fotografía 3.14 Afloramiento de lavas andesíticas de la Formación Chocolate en la desembocadura del río Sama al mar, playa Boca del Río, al suroeste de la ciudad de Tacna.

Rocas piroclásticas y lahares, lavas, tobas andesíticas y andesíticas intercaladas con areniscas, limolita, lutitas y conglomerados (IV-2)

Esta subunidad está representada principalmente por la Formación Matalaque, compuesta por secuencias de rocas volcánicas tobáceas líticas y litocristalinas, y presenta conglomerados de litología clástica tobácea; la Formación Quellaveco está representada por lavas porfíricas gris claro macizas, que se intercalan con flujos piroclásticos soldados; la Formación Capillune consiste en tufos redepositados, areniscas arcósicas, tufáceas y conglomerados finos a muy

gruesos compuestos de rodados de andesita y traquiandesita en matriz areno tufácea; el Grupo Maure está formado por limolitas tobáceas, tobas re trabajadas, areniscas tobáceas y conglomerados; la Formación Sotillo está formada por una secuencia de limolitas, areniscas rojas, tobas lapilli pobremente seleccionada; y la Formación Tarata superior está conformada por piroclastos, limolitas calizas oscuras (fotografías 3.15 y 3.16).

Ocupa el 10.16 % del área de la región Tacna. Debido a su morfología esta unidad es propensa a caídas de rocas, derrumbes, erosión de laderas y a flujos de detritos.



Fotografía 3.15 Sector Cuaylata, se observa afloramiento de la Formación Sotillo formada por limolitas, areniscas rojas, intercaladas con tobas lapilli pobremente seleccionadas, con vista hacia el oeste.



Fotografía 3.16 Carretera Camilaca – Yucamane en la coordenada UTM/WGS84 355187 E – 8094666 N, se observa afloramiento de roca formada por lavas porfíricas gris claro macizas, intercalan con flujos piroclásticos de la Formación Quellaveco, con vista hacia el oeste.

d) Unidad V: Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias mantienen una distribución y control estructural, y se distribuyen espacialmente en porcentaje importante. Ocupan la parte central y norte de la región con

un 12.97 %; se presentan estructuras plegadas, falladas e imbricadas.

Los valores de resistencia a la compresión y tracción para materiales sedimentarios se muestran en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1

Valores de resistencia a la compresión y tracción en algunas rocas sedimentarias

Tipo de roca	Arenisca	Limolita	Arcillita	Marga	Caliza	Pizarra
Resistencia a la compresión Simple (kp/cm ²)	300 – 2350	350 - 2500	100 - 900	200 - 900	500 - 2000	300 - 2000
Resistencia a la tracción (kp/cm ²)	50 - 200	27	15 – 100	--	40 - 300	70 - 200

Fuente: Datos tomados de Rahn, 1986, Walthan, 1999, Obert & Duval, 1967 y Farnet, 1968 (González de Vallejo *et al.*, 2002).

Esta unidad ha sido dividida en cuatro subunidades tomando en cuenta la litología predominante de cada una de ellas.

Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas (V-1)

Sus afloramientos se restringen a los cuadrángulos de Pachía y Palca, y están representadas por la Formación Pelado,

constituida por secuencias de calizas grises, calizas silicificadas, arcillitas calcáreas, limolitas calcáreas y conglomerados de guijarros volcánicos; calizas grises, fosilíferas, lutitas negras carbonosas fisibles de la Formación Socosani; calizas grises, areniscas cuarzosas y arcillitas bituminosas de la Formación Gramadal. Son agrupaciones que influyen notablemente en

la morfología, lo que permite la presencia de pendientes muy escarpadas (fotografía 3.17). Ocupan el 0.91 % del área en la región.

Estas subunidades son susceptibles, principalmente, a la ocurrencia de peligros geológicos como caída de rocas y derrumbes.



Fotografía 3.17 Vista tomada en el flanco este del cerro Cactus, donde se aprecia un afloramiento de roca sedimentaria conformada por intercalación de caliza de grano fino de color gris, areniscas cuarzosas y arcillitas bituminosas de la Formación Gramadal.

Areniscas y lutitas (V-2)

Esta subunidad aflora en el sector central-oriental de la región, abarcando el 0.43 % del total en la región Tacna. Aflora en el cuadrángulo Pachía, donde se distinguen arcillitas muy deleznales, areniscas calcáreas con nódulos calcáreos de la Formación Cachíos; intercalación de areniscas y arcillitas micáceas en estratos medianos del Grupo Cabanillas.

Los afloramientos dispuestos en colinas y montañas en pequeñas extensiones se muestran susceptibles a caída de rocas, derrumbes, deslizamientos, flujos de detritos y erosión de laderas.

Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas (V-5)

Esta subunidad aflora regularmente en la región Tacna, abarcando el 10.96 % del área total. Tiene mayor exposición en los cuadrángulos de Locumba, Pachía y Tacna. Sus afloramientos están representados por conglomerados polimícticos y arenas de grano grueso de la Formación Moquegua miembro inferior, como también conglomerados con matriz arena limosa y niveles de lodolita del miembro superior; conglomerados, areniscas y limolitas poco consolidadas con intercalaciones de tobas retrabajadas

de la Formación Millo y secuencia de conglomerados con potentes niveles de yeso de 0.2 m intercalados con delgados niveles de limolitas, areniscas y tobas riolíticas de la Formación Huaylillas miembro superior.

Por su composición litológica y su morfología escarpada, es susceptible a caída de rocas, derrumbes, flujos de detritos, deslizamientos y erosión de laderas.

Areniscas cuarzosas (V-6)

En la región afloran con mayor exposición en los cuadrángulos de Tarata, Pachía y Palca. Esta secuencia siliciclástica se encuentra constituida por rocas de la Formación Hualhuani, formada por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, coloraciones blanquecinas; y la Formación Labra, compuesta de areniscas cuarzosas rosadas a verdes en capas medianas con intercalación de limoarcillitas. Ocupa 105.90 km² (0.67 %) del área total de la región. Está sujeta a derrumbes y caída de rocas.

e) Unidad VI: Rocas metamórficas

Se exponen en forma muy reducida en la región. Según su litología dominante se agrupan en dos subunidades: esquistos/milonitas y

gneis, que corresponden a rocas del Complejo Basal de la Costa, que ocupan un porcentaje de 0.21 % en la región.

Esquisto y esquisto micáceo/milonitas (VI-1)

Esta subunidad se encuentra formada por rocas metamórficas de tipo esquistos micáceos, milonitizados. Son característicos los pliegues y repliegues en los planos de foliación formados por procesos de arrastre en el interior de zonas de cizalla. Se exponen en el cuadrángulo de Pachia, en el flanco suroeste del cerro Lluta. Por sus características son susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos, caída de rocas, derrumbes y erosión de ladera. Ocupan el 0.11 % del área total de la región.

Gneis (VI-2)

Esta subunidad es parte del Complejo Basal de la Costa. Presenta una litología formada por gneis, y son las rocas más antiguas

en la región. Se trata de ortogneis granítico y granodiorítico, de un color claro. En la región de Tacna afloran en ambos flancos de la quebrada Huacano Grande, atravesando los cerros Ancolcani y Chinchillane, a la altura del km 60+000 de la carretera Tacna-Tarata, en Pachia. Están constituidos por gneis que subyacen a rocas de la Formación Machani. El gneis se encuentra cortado por pegmatitas de forma irregular, que varían en su composición desde una pegmatita típica compuesta de ortosa, muscovita y cuarzo a una compuesta completamente de cristales grandes de anfíbol, siendo estas pegmatitas restringidas únicamente al gneis (Díaz *et al.*, 2011). Ocupa el 0.10 % del área total de la región.

Es susceptible a la ocurrencia de procesos por movimientos en masa (deslizamientos, caída de rocas, derrumbes, flujos de detritos y erosión de ladera).

CAPÍTULO IV

CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

4.1 GENERALIDADES

La geomorfología es una disciplina científica que se ocupa de la descripción, análisis e interpretación del espacio temporal de las formas del relieve y los depósitos recientes asociados (formaciones superficiales).

Los estudios sobre geomorfología en nuestro país han tenido gran interés especialmente para el aprovechamiento de los valles fluviales (a nivel nacional y a nivel de cuencas) y recientemente por el actual cambio climático que nos afecta. Los mapas geomorfológicos como herramientas para el análisis de los peligros naturales son indispensables al estar relacionados con procesos geodinámicos.

Para interpretar la geomorfología es necesario conocer previamente el clima (capítulo II); el punto de partida de la morfología actual en la región es la consideración del relieve como el resultado de la interacción de fuerzas, agentes y procesos endógenos (sismicidad y volcanismo) y exógenos (movimientos en masa), factores que controlan el modelado del relieve, factores tectónicos, volcánicos, bioclimáticos (deglaciación, fenómeno El Niño) y geomorfológicos.

En general, desde el punto de vista morfoestructural regional, el territorio de Tacna comprende de oeste a este, el Océano Pacífico elevándose hacia las cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes. Su relieve es irregular, atravesado por las estribaciones de la Cordillera Occidental, y cerca a la costa, extensas zonas de menor pendiente llamadas "pampas". El segmento de la Cordillera de los Andes que atraviesa la región Tacna es denominado localmente "Cordillera del Barroso" y forma parte de una zona volcánica que se extiende desde el norte de Chile hasta la región de Arequipa en Perú. Comprenden las elevaciones más altas, pues consisten en conos volcánicos que alcanzan una altura máxima de 5500 m s. n. m. Atravesando la Cordillera Occidental se encuentra la meseta del Collao, en el límite con la región Puno y la República de Bolivia. En esta región se ubica la laguna Vilacota, naciente del río Maure y principal afluente del río Desaguadero, la represa de Paucarani, y el hito tripartito entre Perú, Bolivia y Chile. La costa en el límite con Chile presenta un relieve de baja pendiente;

a esta zona se la conoce como Pampa de La Yarada. Estas pampas se extienden hasta casi alcanzar la desembocadura del río Sama. La pampa de La Yarada es una irrigación que se mantienen mediante la explotación de agua subterránea. Desde la costa próxima al río Sama hacia el norte se inicia un sistema de montañas cercanas a la costa que penetran hasta formar acantilados como el del Morro Sama (750 m s. n. m.), siendo estas estribaciones de tipo acantilado constantes en la costa norte de la región. Asimismo, la erosión, la incisión por el drenaje (principalmente los ríos Locumba, Sama y Caplina) y la acumulación de arena eólica sobre grandes extensiones de la zona han dado la configuración actual del relieve, el mismo que va desde el nivel medio del mar en el borde litoral hasta 5400 m de altura, sobresaliendo rasgos geomorfológicos, clasificados como unidades geomorfológicas.

4.2 PENDIENTE DE LOS TERRENOS

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, puesto 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. Asimismo, aparte del relieve, la pendiente de los terrenos es considerada un aspecto importante en la clasificación de las unidades geomorfológicas.

Se puede decir que es más fácil que ocurran movimientos en masa, en laderas y cauces, cuya pendiente principal varía entre media a fuerte; también, es más alta la erosión de laderas (laminar, surcos y cárcavas) en colinas o montañas, puesto que a mayor pendiente se facilita el escurrimiento superficial y, por ende, la erosión hídrica o pluvial. Sin embargo, algunos procesos lentos como la reptación y ocasionales deslizamientos ocurren con un mínimo de pendiente. En el caso de las inundaciones y erosión fluvial, además de influir otros factores netamente geomorfológicos y dinámicos, también es usual en terrenos de muy baja a baja pendiente.

El mapa de pendientes para la región Tacna fue elaborado en base a los planos topográficos del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), a escala 1:100 000, con espaciado de curvas de nivel cada 50 m, las cuales fueron procesadas con ayuda del software ArcGis 10.4, obteniendo para ello un modelo de elevación digital y a la vez polígonos que presentan igual pendiente o inclinación en diferentes sectores de la región.

Se tomaron en consideración seis rangos o grados de pendiente: muy baja, baja, media, fuerte, muy fuerte y abrupta (mapa 3); estas se describen a continuación:

Pendiente muy baja (<1°)

Son terrenos llanos cubiertos por depósitos cuaternarios que se distribuyen a lo largo de las zonas de planicies costeras (disectadas o elevadas) y el altiplano. Asociados a unidades como piedemontes aluviales, terrazas aluviales, bofedales, mesetas, superficies con flujos piroclásticos y valles fluviales o fluvio-glaciares, entre otros. Comprende el 15.73 % del área total de la región. Presenta grandes extensiones en las zonas costeras. Los principales poblados que se ubican dentro de estos terrenos son Las Lagunas, Nuevo Copare, Estación El Hospicio, Pueblo Libre, Tito, Ite, Llostay, Vila, Las Bambas, San Pedro y San Pablo y Santa Rosa.

Estos terrenos están sujetos a arenamientos, erosiones fluviales, lacustres y marinas e inundaciones de tipo fluvial y pluvial (especialmente cuando se presenta el fenómeno El Niño).

Pendiente baja (1° - 5°)

Corresponde amplios terrenos ligeramente inclinados y ondulados con baja pendiente, se encuentran las unidades de piedemonte (aluvial y aluvio-torrencial), abanicos, terrazas aluviales, altiplanicie sedimentaria, valles fluviales o glaciares y numerosas laderas de lomadas entre otras. Resaltan básicamente en la rampa costera y zonas límite con la cuenca del Titicaca, entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental con recurrencia en pequeñas áreas casi en toda la región. Estos terrenos son zonas de depositación de material acarreado por los diversos agentes dinámicos.

Sobre estos terrenos se han desarrollado principales poblaciones urbanas como Pampa Baja, Ite, La Concha, Amopaya, Vila, Llostay, El Pozo, Angola, Magollo, Ciudad de Dios, 24 de Junio, Silpay, Sobraya, Cuartel de la FAP, Pachía, entre otros. En estos terrenos también se desarrollan ampliamente zonas agrícolas. Comprende el 28.05 % del área total, las de mayor extensión en la región. Están asociados a la ocurrencia de arenamiento, erosión e inundaciones fluviales y pluviales.

Pendiente media (5° - 15°)

Comprende el 24.61 % del área total, presentando una buena distribución en la región. Resaltan sectores de la Cordillera de la Costa, y la ubicada entre la cordillera Occidental y Franja de Conos Volcánicos. Lo conforman las estribaciones costeras y altoandinas, en gran mayoría por colinas y lomeríos; estas inclinaciones condicionan la erosión de laderas en las vertientes. Presentan una buena distribución en depósitos aluviales antiguos, terrazas, laderas de los relieves de las colinas, montañas y lomadas, entre otros.

Condicionan la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes, erosión de laderas y movimientos complejos.

Pendiente fuerte (15° - 25°)

Los terrenos con pendiente fuerte en la región cubren el 15.27 % del área total. Ocupan una amplia distribución indistintamente en las laderas de la Cordillera Occidental, concentradas en los flancos superiores de los valles de los ríos Locumba, Sama, entre otros. Asimismo, en laderas de montañas y colinas expuestas en la Cordillera de la Costa, y alineamientos en valles tributarios, conformando las laderas superiores y cima de los cerros.

Estos terrenos son parcialmente proclives a los movimientos en masa asociado con factores desfavorables a la estabilidad de los materiales. En este rango de pendiente se han desarrollado, por ejemplo, sectores de los distritos de Ite, Ilabaya, Camilaca, Inclán, Estique, Pachía, Pocollay, Tarucachi, Ticaco, Sitajara, Quilahuani, entre otras.

Pendiente muy fuerte (25° - 45°)

Terrenos con este rango de pendiente comprenden el 15.98 % del área total. Corresponden a relieves distribuidos principalmente en las laderas de montaña de la Cordillera Occidental, cuencas medias y altas de la región. Son vertientes dinámicas principalmente por la acción gravitacional, la erosión y litología. También, pueden presentarse en la Franja de Conos de Volcanes, cotas superiores de la Cordillera Occidental y en la Cordillera de la Costa, distribuidos en los distritos Ilabaya, Curibaya, Chucatanani, Estique, Estique Pampa, Ite, Pachía, Tarucachi, Ticaco y Tarata, entre otros. Los deslizamientos, movimientos complejos, avalancha de rocas, huaicos y erosión de laderas ocurren en terrenos con este rango de pendiente.

Pendiente abrupta (> 45°)

Presentan una distribución muy reducida equivalente a un 0.36 % del área total. Se encuentran localizados en zonas escarpadas, barrancos, desfiladeros, como resultado de procesos erosivos,

movimientos en masa. Entre las zonas podemos mencionar laderas de los cerros Yucamane, Paracocho, Molleraco, Negro, Padre Cucho, entre otros. En la parte baja de la región, corresponde a zonas de los acantilados costeros o las paredes de terrazas antiguas, elevadas por procesos de tectonismo. Estas zonas son muy propensas a caídas de rocas, avalancha de rocas y derrumbes.

4.3 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

El reconocimiento y la clasificación de las unidades geomorfológicas en la región Tacna son muy importantes para el análisis de la susceptibilidad.

La configuración geomorfológica de la región está relacionada con los procesos geológicos, el relieve y la variedad de microclimas asociados a su territorio. Se refleja claramente los contrastes morfológicos expuestos de oeste a este en el país: una franja costera desarrollada sobre una llanura aluvial erosionada por acción del mar, originando acantilados frente a islas rodeada por colinas y montañas, con laderas de pendientes moderadas a fuertes, a través del tiempo geológico. Estos promontorios, que forman las primeras estribaciones de la Cordillera Occidental, se encuentran disectados por los ríos principales Locumba, Sama y Caplina, y quebradas afluentes que desembocan en el Océano Pacífico. La acumulación de piedemontes aluviales y aluvio-torrenciales en el tiempo ha generado grandes superficies, donde se asientan las ciudades como Tacna. Destaca, también, en este conjunto morfológico el área desértica constituida por pampas y colinas cubiertas de mantos de arena y pequeñas dunas, que se inician en las playas del litoral hasta el límite de las estribaciones andinas.

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, incluyendo la zona de cordillera volcánica y altiplano; hacia el este, está muy ligado al proceso del levantamiento andino (expresado en la profundización y ensanchamiento de valles), asociado a eventos de glaciación y deglaciación, vulcanismo, actividad neotectónica y procesos de movimientos en masa, entre otros.

Para la elaboración del mapa geomorfológico de la región Tacna (mapa 4), además de la información topográfica (MDT) se utilizó la información litoestratigráfica de la Carta Geológica Nacional; se han tenido en cuenta los límites de las unidades geológicas (substrato rocoso y depósitos superficiales), fotografías aéreas, imágenes satelitales Landsat TM5, Google Earth y datos geomorfológicos cartografiados en campo. Las unidades geomorfológicas agrupadas según su origen son las que siguen:

4.3.1 Unidades de carácter tectónico-degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de 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, ocupan el 36.91 % del área total de la región. Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

Unidad de montañas

Las montañas comprenden el 4.78 % del área total de la región, considerando como tal a esta unidad los relieves que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local; se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.). Sus laderas presentan como pendiente promedio superior al 30 % (como se cita en Villota, 2005, p. 63).

En el contexto general, se encuentran conformadas por alineamientos alargados, constituidos por rocas de tipo intrusiva, metamórfica, sedimentaria, volcánica y volcánico-sedimentaria, con un moderado a fuerte estado de meteorización superficial y de erosión. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

Relieve montañoso en roca intrusiva (RM-ri)

Son relieves parcialmente abruptos con cumbres suavemente contorneadas, sus laderas con fuerte a muy fuerte pendiente (15° - 25° a 25° - 45°), conformadas en rocas intrusivas como granodiorita y diorita de la Superunidad Ilo; granodiorita, monzodiorita de las unidades intrusivas Yarabamba, Challaviento; rocas de granitos y otros (figura 4.1).

Esta subunidad está distribuida principalmente en la Franja de Conos de Volcanes; sus cumbres subredondeadas, con algunas zonas asociadas a alteraciones hidrotermales.

Se tiene ejemplos en los sectores del cerro Puite en el distrito El Algarrobal de la provincia Ilo; cerros Las Penas, Rosarine, Cocane, Ticana, Agua Milagrosa, Ancoma, Vilacollo, Challaviento, Patien y Sije en el distrito de Pachía, provincia Tacna; cerros Ancocalan y Chinchillane en el distrito Estique, provincia Tarata.



Figura 4.1 Cumbres montañosas subredondeadas a convexas en el sector del cerro Rosarine, con drenaje dendrítico, típico de rocas intrusivas. Vista hacia el noroeste.

Relieve montañoso en roca volcánica (RM-rv)

Geoformas montañosas con cumbres escarpadas destacan al este de la región, en la cuenca alta de los ríos Sama y Caplina, entre los cerros Alto Tambillo, Apacheta Mogotito, Mamani, Paracocho, entre otros.

Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de rocas volcánicas (derrames lávicos andesíticos), sus elevaciones alcanzan los 3500 m s. n. m., sus laderas presentan pendientes fuertes a muy fuertes. Son susceptibles a derrumbes y caída de rocas y en algunos sectores presentan intenso fracturamiento y meteorización (fotografía 4.1).

Estas formas de relieve se exponen entre los poblados Toco Chico, Londeniza, Borogña, Huanuara, Barrio Obrero, entre otros.

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Relieve abrupto con pendientes muy fuertes (25° a 45°), erosionadas en cárcavas, y con sistema de drenaje dendrítico, cumbres suavemente aristas por rocas de mayor dureza, que se prolongan hasta la base de la montaña. Lo conforma rocas sedimentarias de las formaciones Pelado, Labra, Puente, Socosani, Gramadal y Hualhuani (fotografía 4.2).

Está localizado en el sureste del territorio de la región con una distribución menor. Se tienen ejemplos en los sectores de los cerros Pelado, Guañacahua, Chachacamani, Sarani, Quillapampa, Llaullacane, Pampa Quetune y Sino en el distrito de Palca (Tacna), y cerro Paquercara en el distrito de Estique (Tarata).



Fotografía 4.1 Montaña en rocas volcánicas de la Formación Moquegua superior, con laderas de fuerte pendiente, en la localidad de Huacano y Nache.



Fotografía 4.2 Se observa la montaña constituida por una secuencia de areniscas de la Formación Hualhuani con fuerte buzamiento al este. Vista hacia el norte en el cerro Quillapampa, distrito Palca, provincia Tacna.

Montaña con cobertura glaciar (RM-cgl)

Cumbres de montañas con intensa actividad glaciar, denominados “nevados” por encima de los 5500 m s. n. m. Actualmente, están afectados por los efectos negativos de variaciones climáticas que está originando el retroceso glaciar.

Dejan como remanente de su existencia estrías en los macizos rocosos, acumulación de bloques y material morrénico. Se tiene ejemplos en los flancos de los centros volcánicos Chuquinanta, Tutupaca, Yucamane y los cerros Cancarave López Extrama, y Caracara (figura 4.2).

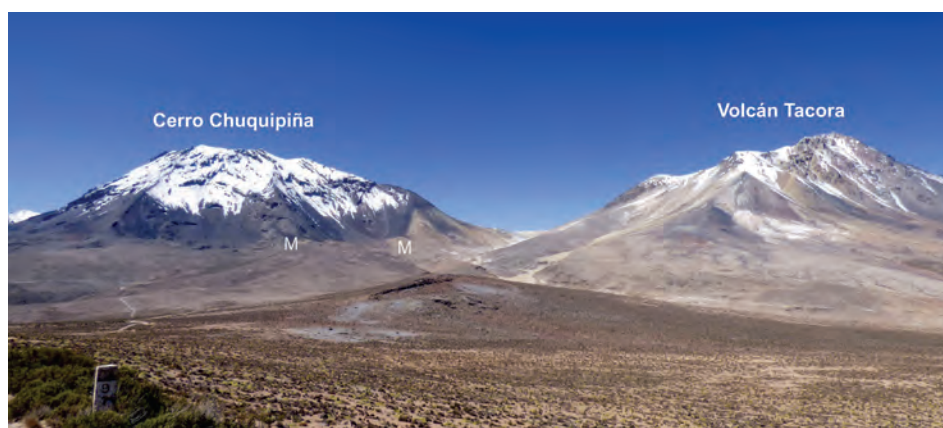


Figura 4.2 Relieve de montaña en roca volcánica con cobertura glaciar, en el cerro Chuquipiña y volcán Tacora ubicado entre los límites fronterizos entre Perú y Chile, con vista hacia el este. La vertiente sur muestra depósitos de morrenas (M).

Ladera de montaña en roca intrusiva (LM-ri)

Vertiente de una montaña modelada en rocas intrusivas, ligeramente erosionada por surcos; las pendientes varían entre fuerte y muy fuerte (15° a 25° y 25° a 45°) en forma convexa, suelen depositarse delgadas capas de detritos. La litología lo conforman unidades intrusivas Yarabamba, granodiorita, monzonita y granitos.

En la región representan porcentajes menores; ejemplos son los sectores del cerro Alto Caballuna en el distrito de Huanuara (Candarave); cerros La Mina y Palo en el distrito de Pachia (Tacna).

Ladera de montaña en roca sedimentaria (LM-rs)

Declive montañoso en rocas sedimentarias con surcos de erosión por aguas superficiales, suelen estar relacionado a los valles; presentan pendientes variables entre fuerte y muy fuerte (15° a 25° y 25° a 45°). Están conformados por litologías de la Formación Huaylillas, miembro superior de la Formación Moquegua, Formación Hualhuani, entre otras.

En la región está distribuido en el sector suroeste, territorio de la Faja de Conos de Volcanes. Se tienen como ejemplos los sectores de los cerros Challacahua y Borogueña, entre otros, en el distrito de Camilaca; en los sectores La Rampuquio, Cairani y Pauromani en el distrito Cairani (Candarave); cerro El Perdido y cerro Punta Paloma en el distrito de Pocollay (Tacna); en los

sectores de cerro Blanco, cerro Cantera, cerro Espíritus, cerro Escritos y cerro Inquieto en el distrito (Tacna).

Unidad de montañas y colinas

Está conformada entre relieves de montañas y colinas que corresponden el 14.20 % del área total. Sus altitudes varían en torno a los 300 metros. Suelen limitar con unidades de montañas y/o colinas en las estribaciones cordilleranas. Generalmente, son áreas recurrentemente concentradas de extensiones regulares, que presentan erosión en cárcavas en sus laderas. Se asocian litológicamente a rocas de tipo intrusivo, volcánico, volcánico-sedimentario y sedimentaria.

Dentro de este grupo se diferenciaron cinco subunidades:

Relieve de montañas y colinas en roca intrusiva (RMC-ri)

Elevaciones ligeramente abruptas, con laderas que varían entre moderada y fuerte pendiente (5° a 15° y 15° a 25°), cárcavas suavemente marcadas y cumbres algo aristadas por la erosión diferencial. Están modeladas en rocas intrusivas; también, va a depender de la altura donde se ubica y la temperatura a la que están expuestas para obtener el grado de disección moderado que llegan a formar quebradas y valles.

En la región esta unidad se observa con mayor exposición en los distritos de Ilabaya y Sama, y en menor porcentaje en los distritos de Pachia, Ticaco y Chucatamani.

Relieve de montañas y colinas en roca volcánica (RMC-rv)

Relieves de montañas y colinas representan unidades generalizadas con fines de clasificación y mejor manejo en la escala trabajada; estos relieves tienen pendiente fuerte (15° a 25°), laderas con grado de disección moderada y cumbres algo aristadas, en sus laderas. Están formadas por cuerpos volcánicos como las formaciones Paralaque, Quellaveco, Tarata, Chocolate, Huilacollo y Matalaque.

Relieve de montañas y colinas en roca volcánico-sedimentaria (RMC-rvs)

Geoformas con superficie abrupta y pendientes que varían entre fuerte y muy fuerte (15° a 25° y 25° a 45°) que se

incluyen en esta subunidad incluyen afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias (del Cretácico superior al Neógeno), pertenecientes a las formaciones Huilacollo, Tarata, Sotillo, Quellaveco y Matalaque, entre otras. Presentan cumbres encrestadas altas e irregulares, con pendientes que llegan a superar los 35° , sus elevaciones alcanzan los 4500 m s. n. m. (fotografía 4.3).

Se encuentran en la cuenca alta de los ríos Sama y Caplina, al este de la región Tacna y entre los poblados de Anquipiña, Tarucachi, Chascani, Quequejana, Carapaja. Geodinámicamente, se encuentran asociadas a derrumbes y deslizamientos.



Fotografía 4.3 Relieve de montaña modelada en roca volcánico-sedimentario, ubicada en la margen izquierda del río Sama.

Montañas y colinas en roca sedimentaria (RMC-rs)

Son relieves ligeramente abruptos, con laderas entre moderada y fuerte pendiente (5° a 15° y 15° a 25°), cárcavas suavemente marcadas y cumbres algo aristadas por la erosión diferencial. Están modeladas en rocas sedimentarias como areniscas del Grupo Cabanillas, o secuencias arcillosas o calcáreas de las formaciones Moquegua Superior, Socosani, Hualhuani, Labra, Gramadal u otras (fotografía 4.4).

En la región están distribuidas entre la Cordillera Occidental y la Franja de Conos de Volcanes. Se tiene ejemplos en los sectores de los cerros La Toma, Dos Cumbres, Jancocala, Cururune, Murunuyo, San Francisco, Tocuco, Challata, Palanaca, Mina,

Challatita, Negro, Pallagua, Elintana, entre otros, en el distrito de Pachía.

Montañas y colinas en roca metamórfica (RMC-rm)

Relieves de montañas y colinas compuestas por gneis del Complejo Basal de la Costa. Presentan pendientes entre moderada, fuerte y muy fuerte (5° a 15° , 15° a 25° y 25° a 45°), laderas ligeramente con surcos y cumbres algo aristadas; sus laderas presentan delgadas capas de detritos producto de la meteorización del substrato rocoso.

En la región representa un porcentaje menor localizado en los sectores de Mal paso, cerro Ancocalani y cerro Chinchillane en el distrito de Estique.



Fotografía 4.4 Colinas y montañas en calizas y lutitas de la Formación Socosani, presentan capas delgadas y laderas cubiertas por depósitos deluviales, ubicado en el sector Huanune en un tramo de la carretera entre Chuñave-Huanune.

Unidad de colinas

Son relieves menores a 300 metros de altitud que comprende una menor distribución en la región con 1.48 % del área total. Están constituidos en rocas sedimentarias. A diferencia de las montañas, las colinas presentan relativamente menores pendientes.

Colina en roca sedimentaria (RC-rs)

Son relieves localmente abruptos con laderas suavemente disectada y de fuerte pendiente (15° a 25°) conformada por conglomerado de la Formación Moquegua Superior, calizas y lutitas de la Formación Socosani, y areniscas, conglomerados de la Formación Sotillo.

En la región están distribuidos espacialmente a lo largo de la Cordillera Occidental. Se tiene ejemplos en los cerros Azul, Gangolar, Calientes, Aciruni, entre otros, en el distrito de Ciudad Nueva.

Unidad de colinas y lomadas

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo, y en diferentes grados de disección, conformando alineamientos "tipo serranías" de carácter denudativo y volcánico; pueden constituir superficies colinosas, alomadas, onduladas o lomeríos

en general, de amplia extensión y resultantes de la degradación prolongada e intensiva de anteriores piedemontes y altiplanicies, o resultantes del casi aplanamiento por la denudación extrema de una antigua cordillera; estas geoformas presentan menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local). Las colinas presentan una inclinación promedio en su ladera superior a 16 % y divergen en todas direcciones a partir de la cima relativamente estrecha, siendo su base aproximadamente circular. Las lomadas presentan similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8 % y 16 % (Villota, 2005).

Estas subunidades se ubican dentro o en los bordes de la unidad de montañas, en la zona de altiplanicies y conformando las vertientes de ríos; se distribuyen en toda la región, con mayores exposiciones en la Cordillera de la Costa, Llanura Preandina, Occidental y Franja de Conos Volcánicos; en conjunto, representan el 13.93 % de la superficie total de Tacna. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades, cuyas descripciones ofrecen principalmente información referida al tipo de roca asociado y su ubicación a grandes rasgos:

Colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri)

Son afloramientos de rocas ígneas intrusivas con desniveles de hasta 300 m. Presentan formas redondeadas, pendientes

moderadas, donde se desarrollan procesos de erosión en laderas. Se disponen de manera discontinua y reducida al lado noroeste de la región (figura 4.3).

Se tienen ejemplos en los cerros Alto los chilenos, del Medio, Sopladera y Pampa Salinas, cercanos a la planicie costera que rodean las localidades de Miramar y Puerto Ite.



Figura 4.3 Imagen Google Earth, relieve de colinas y lomadas en rocas intrusivas, en cerros del Medio y Alto Los Chilenos, sector Ite.

Colinas y lomadas en roca volcánica (RCL-rv)

Geoformas de este tipo corresponde a afloramientos de rocas volcánicas tales como tobas, piroclásticos y derrames lávicos, distribuidos en la parte norte de la región. Sus pendientes son moderadas a fuertes ($5^\circ - 15^\circ$ a $15^\circ - 25^\circ$); el macizo rocoso en superficie presenta erosión intensa. Algunas colinas volcánicas bordean las montañas intrusivas, presentando formas redondeadas con pendientes suaves y alturas hasta 300 m (figura 4.4).

Se encuentran conformando las laderas de los cerros Payutani, Vilachacha, Calvario, Lomas Asirune, Morrito, Punta Serafin y Sopladera. Geodinámicamente, están asociados a caída de rocas, derrumbes y erosión de laderas.

Colina y lomada en roca volcano-sedimentaria (RCL-rvs)

Relieves localmente abruptos, con laderas entre moderada y fuerte pendiente (5° a 15° y 15° a 25°), ligeramente con surcos. Están conformadas por litologías de origen volcánico re trabajados del Grupo Maure, constituido por ignimbritas, tobas, lavas, sedimentos lacustres como: limoarcillitas, fangolitas, calizas, areniscas

conglomerados y lutitas negras (Perales, 1994); serie sedimentaria lacustre compuesta de arcillas, areniscas, conglomerados y piroclastos, entre otras (Perales, 1994).

En la región está distribuido en el este y suroeste del territorio; se tiene ejemplos en los sectores de los cerros Chotacollo, Umahuaycho, Tachavilque y Queñane en el distrito de Palca y sectores de los cerros Cuesta Chulla, Alto Gallinazos y Cuesta de Locumba en el distrito de Inclán.

Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)

Son terrenos donde la incisión fluvial es limitada, a su vez corresponde a un dominio morfoestructural regional, laderas de moderada pendiente (5° a 15°), conformadas por capas de conglomerado de la Formación Moquegua Superior e Inferior, entre otros.

En la región, esta subunidad está distribuida principalmente en la Cordillera Occidental y restringida a la Cordillera de la Costa y la Llanura Preandina. Se tiene ejemplos en los sectores superiores de las quebradas Cimarrona, Palomo, Caballo Muerto y Toquepala, cerro Turulaca, entre otros, en el distrito de Ilabaya.



Figura 4.4 Colinas modeladas en roca volcánica, sector San José y Buena vista, donde se evidencia los procesos de erosión de laderas en surcos a los que están expuestas.

Colina y lomada disectada en roca intrusiva (RCLD-ri)

Son afloramientos de roca volcánica, cuyas geoformas presentan cumbres que no superan los 300 m de altura. Tiene pendientes

moderadas y han sido expuestos a fuertes procesos de erosión, lo que ha generado fuertes disecciones en las laderas de estos. Se encuentran cercanos a las localidades de Esquilache y Tacahuay (figura 4.5).



Figura 4.5 Imagen Google Earth, se muestran la morfología de colinas intrusivas disectadas cercanos a la localidad de Tacahuay; destaca un drenaje dendrítico.

Colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs)

Terrenos de superficie ligeramente abrupta, laderas de moderada pendiente (5° a 15°), fuertemente disectadas con cumbres subredondeadas, y constituidas por conglomerados y areniscas de la formación Moquegua Superior e Inferior, Formación Millo, entre otros.

Se localizan, principalmente, en los flancos de la Cordillera Occidental, algunos ejemplos de los cuales tienen en los sectores superiores de las quebradas Cimarrona, Totoral, Caballo Muerto, Pachana, entre otros, en el distrito Ilabaya.

Planicies

Son superficies que no presentan un evidente direccionamiento, ya sea que provienen de la denudación de antiguas llanuras

agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales, y/o acumulación de material volcánico piroclástico que cubre superficies preexistentes. Ocupan el 2.52 % del área total de la región.

Altiplanicie sedimentaria (AP-s)

Es una subunidad intermontañosa de gran área producida por tectonismo, donde los relieves son de baja pendiente y ondulada; está constituida por areniscas y conglomerados de la Formación Millo, series sedimentarias de arcillas, areniscas, conglomerados, depósitos lacustres, piroclastos correspondientes a la Formación Capillune (fotografía 4.5).



Fotografía 4.5 Altiplanicie sedimentaria, de pendiente suave ocupados por viviendas de material rústico en el cerro Garita, con vista hacia el noreste.

Altiplanicie disectada sedimentaria (APD-s)

Esta planicie está ubicada en un entorno andino, elevado, presentando una disección marcada por erosión en cárcava, en rocas sedimentarias. Su exposición obedece al levantamiento tectónico, y suelen tener extensiones considerables, pendientes bajas y morfología algo ondulada; presentan delgadas capas de una cobertura Cuaternaria. Litológicamente está conformada por conglomerados y areniscas de la Formación Millo, entre otros.

Representa un porcentaje menor en la región (suroeste). Se tienen ejemplos en los sectores del cerro Los Churcos.

Planicie de travertino (PI-tr)

Está conformada por terrazas de travertino y sínter al norte de Tacna, límite con la región Puno, que se forman a partir de manantiales de aguas termales, debido a la existencia

de fallas regionales con dirección NO-SE y fallas locales con dirección NE-SO, las cuales probablemente han controlado el emplazamiento del sistema geotermal de Borateras.

En la parte baja de la quebrada Putina, se distinguen surgencias de fuentes termales, las que han originado la depositación de sínter, que ha ido depredando el bofedal del río Maure. En la región, existen aparatos volcánicos antiguos que presentan zonas de alteración hidrotermal y fuentes termales.

4.3.2 Unidades de carácter volcánico degradacional y erosional

Unidad volcánica

En esta unidad se agrupan a los paisajes generados por la actividad volcánica y por sus productos, los cuales han sufrido

en diverso grado los efectos de la denudación, pero que todavía conservan rasgos definidos de sus formas iniciales.

Es la unidad con mayor distribución en la región con el 31.29 % del área total. Está conformada por estructuras y depósitos de origen volcánico que evidencian su actividad en el pasado. Están asociados a peligros geológicos de origen volcánico; los volcanes más activos en esta región son Yucamane, Tutupaca y Casiri. En el Campo Borateras, se han distinguido diferentes sistemas volcánicos, entre los cuales destacan los centros Jaruma, Coverane y Purupuruni; este último se encuentra formado por un conjunto de domos dacíticos con aproximadamente 850 m de diámetro. Estos centros se encuentran alineados en dirección NO-SE, con edades que varían desde el Mioceno superior hasta el Plioceno, al igual que los diversos depósitos volcánicos que cubren aproximadamente el 90 % de toda el área. Entre los principales depósitos, se tienen flujos piroclásticos de bloques y cenizas, la mayoría soldada. También, se tienen depósitos de flujos de lava andesíticos con presencia de cristales de plagioclasas, olivinos y piroxenos. Entre los depósitos holocénicos identificados, se tienen depósitos aluviales y

coluviales conformados por acumulaciones de gravas, arenas y limos, que se encuentran rellenando cauces de quebradas.

Dentro de este grupo se diferenciaron diez subunidades:

Estratovolcán (Es-v)

Es una estructura volcánica resultado de erupciones explosivas y forma cónica de gran extensión, formada por flujos de lava y en la parte superior se encuentran bloques piroclásticos. La gran mayoría de estos estratovolcanes se encuentran inactivos y solo pocas calderas tienen actividad volcánica reciente. Grandes volcanes como ejemplos son el Tutupaca y el Yucamane (fotografías 4.6 y 4.7).

Ocupa una menor área del total en la región, se encuentran desde los 3500 hasta los 5500 m s. n. m. y tienen pendientes onduladas a casi llanas, a excepción del cono donde tienen pendientes escarpadas. Los centros poblados circundantes a esta morfología son Copapujio, Ancuyo, Ancomarca, Pamputa, Piapujo, Canteria, Sura, Challapalca, Pallcoco, Queuñuta. Chotani, etc.



Fotografía 4.6 Estratovolcán del Tutupaca, en la localidad de Queuñuta, muestra pendientes escarpadas y afectada por erosión glacial.



Fotografía 4.7 Estratovolcán Yucamane, con vista al noreste. Muestra un edificio volcánico con un cono casi completo, que demuestra su edad.

Las calderas forman parte de esta subunidad; se forman como resultado de grandes y súbitas explosiones volcánicas, mayormente son semicirculares; sus paredes están constituidas de flujos de lavas y material piroclástico de regulares dimensiones que corresponde a un gran cráter erosionado, localizados en la cima del volcán. Los cráteres son más pequeños en tamaño y bastante circulares, generalmente se forman dentro de las calderas.

En el caso del complejo volcánico Yucamane-Calientes se distinguen al menos dos cráteres recientes en la cima del volcán Yucamane. Uno de ellos tiene aproximadamente 600 m de diámetro, localizado en la cima del volcán; a su vez, en su interior, este alberga un segundo cráter más reciente de 360 m de diámetro y 10 m de profundidad. Este último ubicado sobre los 5490 m s. n. m. Al fondo de dicho cráter se distinguen acumulaciones de fragmentos de lavas andesíticas angulosas. Las paredes de este último cráter están constituidas de flujos de lavas frescas, como también lavas hidrotermalizadas y fracturadas, que se hallan parcialmente cubiertas por depósitos

de caídas de ceniza reabajadas (Rivera *et al.*, 2018). En el caso del complejo volcánico Tutupaca se emplaza sobre los 4000 m s. n. m. y alcanza una altitud cercana a los 5800 m s. n. m.

Complejo volcánico (Co-v)

Zona volcánica conformada por múltiples edificios volcánicos o fuentes de emisión volcánica contiguas. Uno de los fenómenos que produce este complejo es la migración de la fuente de emisión volcánica; normalmente, está relacionada a una zona o franja de evidencias volcánicas: Franja de Conos Volcánicos en el sur peruano (figura 4.6).

En la región están principalmente ubicados en la zona de Franja de Conos Volcánicos (noreste del territorio tacneño). Ejemplos de estos se tienen en los sectores del Área de Conservación Regional (ACR) Vilacota Maure y al sur de esta área protegida: cerros Cobremani, Antajave, Azufre, Esquilane, Pirape, Sorpresani, Caparaja, Carepiña, Chila, Ajare, Toqueta, Lerco, Chillahuani, de la Mina, Charaque, Ancochaullane, entre los límites provinciales entre Tarata y Tacna.



Figura 4.6 Imagen Google Earth, se observa un complejo volcánico en el que resalta el Yucamani un volcán conocido por los investigadores. Está localizado al noreste de la ciudad de Candarave en la provincia del mismo nombre.

Domo volcánico (Do-v)

Es un cuerpo extrusivo en forma de cúpula, de altura variable, de unos cuantos a 700 – 800 m (Lugo, 1989). Está conformado por material volcánico de composición dacítico, porfirítico, riolítico, andesita y microporfirítica.

Están localizados en el sector este del territorio de la región, dentro de la Franja de Conos de Volcanes. Se tienen ejemplos en los sectores del ACR Vilacota Maure: Nevado Paucarani, cerros Pucata, Llococollo, Palluta, Chillipiña, Laramaque, Chuaña, Tabacollo, Kere, entre otros, entre los distritos y provincia Tarata, y distrito Palca en la provincia de Tacna (figura 4.7).

Colina o lomada piroclástica (CL-p)

Constituyen relieves convexos con laderas de moderada pendiente (5° a 25°) de material volcánico piroclástico (tufos de la Formación Huaylillas y depósitos de cenizas del Holoceno); generalmente son deleznales y proclives a movimientos en masa.

En la región representa un porcentaje menor del área total; se localiza esta subunidad en los sectores del cerro Cripia en los distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva.

Meseta ignimbrítica (M-ig)

Esta planicie se eleva respecto a su entorno local con erosión en surcos en su superficie; están conformadas por ignimbritas de composición andesítica. En los contornos de esta subunidad suele ser común los movimientos en masa, así como caída de rocas, deslizamientos, etc.

Esta subunidad se expone de manera reducida, con ejemplos en los sectores Alto de Poma, Putina, Vilaque; cerros Quequesani, Isca Añape, Huallatire, entre otros, en el distrito y provincia de Tarata.

Coladas o campo de lavas basalto-andesíticas (Ca-la)

Esta morfología en flujos lávicos de composición andesítica presenta surcos por la erosión en arroyo, que generan terrenos de suave a moderada pendiente (1° a 5° y 5° a 15°). Corresponden a lavas andesíticas del Grupo Barroso, Formación Huaylillas, entre otros.

Esta subunidad se puede diferenciar en el sector este de la región, con ejemplos en los cerros Encanto, Vicuña, Chulpoco, Negro, Jachoco, Cariacaca, Vilavilani, Chulpa, ubicados en los distritos de Palca y Tacna.

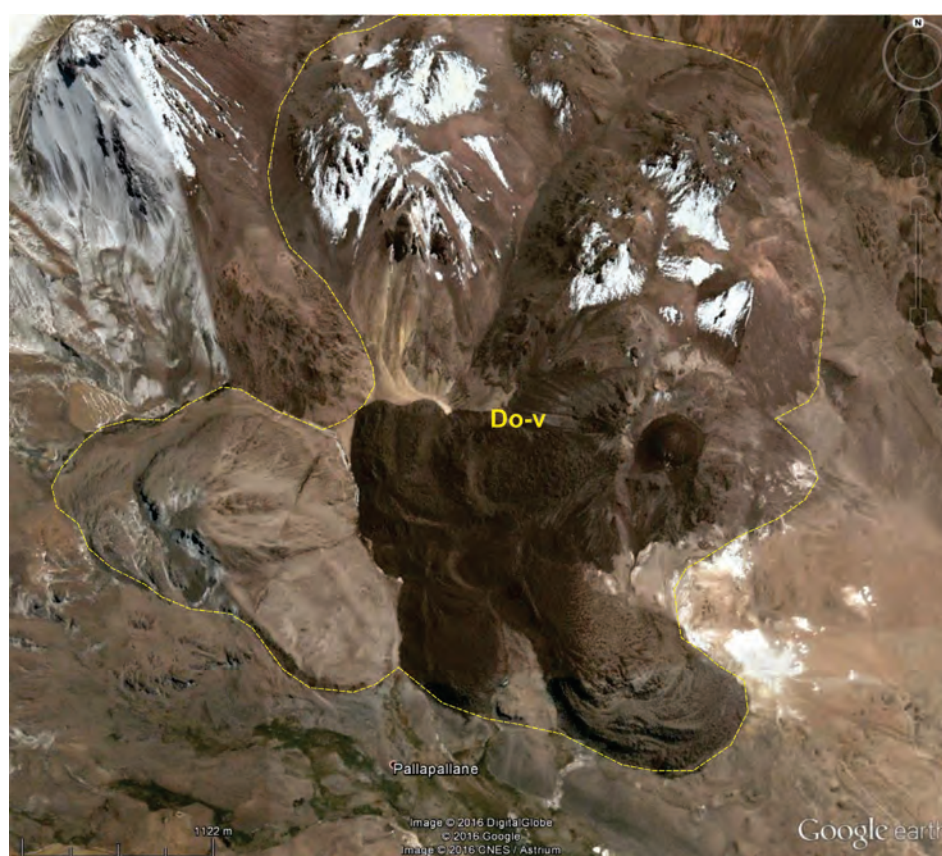


Figura 4.7 Imagen Google Earth, conjunto de domos de lavas viscosas de constitución dacítica cubierto parcialmente por glaciares, localizado al norte del poblado Pallapallane en el distrito de Palca de la provincia Tacna.

Superficie con flujo piroclástico (Sfp)

Superficies conformadas por depósitos de flujos piroclásticos, originados por el colapso de columnas Plinianas (Lugo, 1989). Suelen presentar áreas algo extensas con cárcavas producto de la erosión por la arrollada y evidentemente están asociadas a volcanes explosivos. Están conformadas por material piroclástico de la Formación Huaylillas de composición dacítica y riolítica, depósitos piroclásticos de la Formación Sencca, entre otros.

Está distribuida en casi toda la región, lo que resulta un porcentaje representativo. Se tienen ejemplos en los sectores de Loma Corral, Camilaca, pampas Charaque, Ichogallo, Cicuni, Sipincalani, entre otros, en el distrito de Camilaca de la provincia de Candarave.

Superficie con flujo piroclástico disectado o erosionado (Sfp-d)

A diferencia de la subunidad anterior presenta una expresión de múltiples cárcavas desarrollados sobre los depósitos de flujos piroclásticos (figura 4.8).

Principalmente, están expuestas en el sector sureste de la región. Se tiene ejemplos en los sectores Alto del Buitre; cerros La Bajada, Los Lomos, El Cuervo, Los Cóndores, Avestruz, Huanacune, Chambicollo, Gala, Soledad, Paria, Soledad, Condorire Colorado, Negro, Blanco, entre otros, en el distrito y provincia de Tacna.

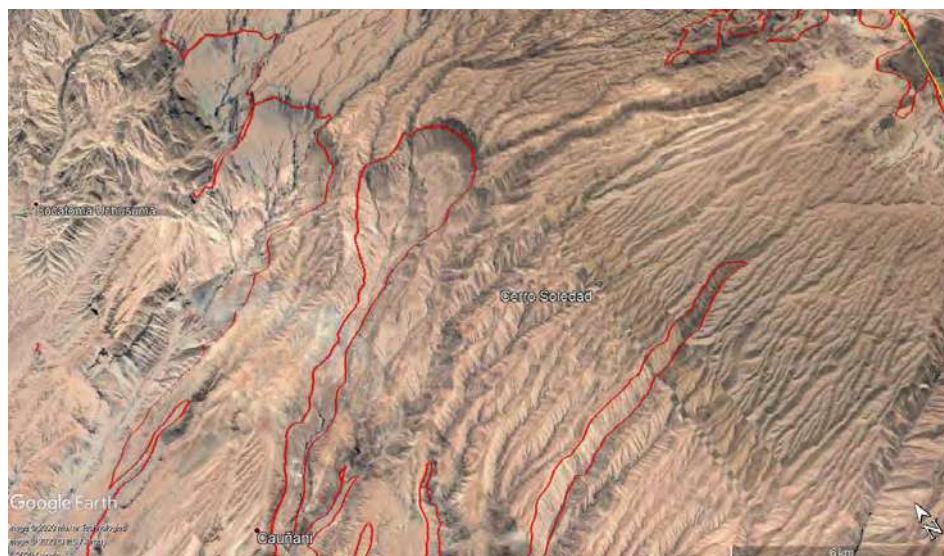


Figura 4.8 Imagen del Google Earth, se observa afloramientos extensos de flujos piroclásticos afectados por erosión en cárcava, en los sectores de los cerros Soledad, Condorire, entre otros en el distrito y provincia de Tacna.

Ladera con flujo de lava asociada a estratovolcán (L-fl)

Superficie con moderada a fuerte pendiente (5° a 15° y 15° a 25°) conformada por material lávico riódacítico y andesítico con presencia de piroclásticos, asociados a un vulcanismo poligenético.

En la región se expone en los sectores suroeste-oeste del volcán Yucamane, ocupando las pampas Patapatani, Puntera, Pajonal; sectores Pallata, Santa Cruz, Totorá, Mollini, en las inmediaciones de Candarave.

Ladera con flujo piroclástico (L-fp)

Son vertientes conformadas por depósitos de flujos piroclásticos de constitución dacítica y riódacítica de la Formación Huayllillas; estas inclinaciones varían entre moderada y fuerte pendiente (5° - 15° y 15° - 25°). Se ubican en forma longitudinal en los flancos de las quebradas y superficies amplias inclinadas que conforman el estribamiento de los Andes del Sur peruano.

Esta subunidad está presente en el sur del territorio de la región. Se tiene ejemplos en los sectores de los cerros Escritos, La Fundadora, Los Churcos, Punta Paloma, la Mesada, Arunta, entre otros.

4.3.3 Unidades de carácter depositacional y agradacional

Estas constituidas por geoformas o relieves que son el resultado de un conjunto de procesos geomorfológicos constructivos. Los agentes móviles o de transporte de sedimentos están relacionados a procesos de escorrentía glaciar, movimiento de los glaciares. Tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la

tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados. Ocupan la mayor parte en la región, cubriendo las unidades geológicas más antiguas; alcanzó un 31.80 % del área total de la región.

Entre las unidades geomorfológicas asociadas a procesos de acumulación durante el Pleistoceno y Cuaternario Reciente se tienen las siguientes subunidades:

Unidad de piedemontes

En la región comprende el 28.16 % del área total, constituido por depósitos convexos in situ, acarreado o depositado en vertientes o laderas bajas y medias, engloba orígenes variados asociado a la gravedad, aguas superficiales, entre otros, y la pendiente como una condición determinante para su movilidad y acumulación de materiales sueltos. Corresponden al tiempo geológico del Cuaternario.

Morrenas (Mo)

Esta subunidad comprende a geoformas convexas, suaves y alargadas, originadas por la acumulación de materiales por acción glaciar durante el Pleistoceno-Holoceno. Existen varios tipos de morrenas de acuerdo con su posición frente a un glaciar: morrena de fondo, la que se sitúa bajo en contacto con el lecho rocoso; morrena lateral, cuando se forma en las orillas o bordes del lecho glaciar; morrena central: formadas por la unión de morrenas laterales en la confluencia de dos glaciares en un mismo valle; morrena frontal o terminal: cuando se sitúa en la zona de deshielo del glaciar. Expresiones de este tipo de relieve se encuentran en la Cordillera del Barroso, al norte y noreste de la región Tacna.

Vertiente glacial o de gelifracción (V-gl)

Está formada por la acumulación gravitacional de detritos al pie de las paredes de un valle glacial, los cuales son producidos por la meteorización mecánica (gelifracción) del substrato rocoso que conforman las paredes del valle.

Estos materiales pueden encontrarse formando un solo cono o formando talud de detritos, de granulometría variada; su pendiente es muy fuerte, puede sobrepasar los 30°.

Están localizadas en el sector noreste del territorio. Se tiene ejemplos en las quebradas Huancané, Ancochaullavira, Uncalluta, Llachaco, Cotavira, Choroveco, Timelcahua, Picarani, Huañacahua, Quellacota, entre otros, al noreste de las provincias Tarata y Tacna.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Este depósito se encuentra normalmente acumulado en laderas medias, producto de la acción gravitacional, la pendiente, condiciones del terreno y agentes externos. Están constituidos principalmente por un suelo detrítico limo arcilloso y de litología homogénea. Son depósitos de corto recorrido. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Representa un porcentaje muy reducido en la región. Se tiene ejemplos en los sectores del cerro Chero, en el distrito de Sama.

Vertiente coluvial de detritos (V-d)

Es una superficie inclinada que puede variar desde suave a con muy fuerte pendiente (1° - 5° a 25° - 45°). Está constituida por material detrítico homogéneo; su emplazamiento o depósito implica principalmente la acción gravitacional. La compacidad de estos materiales suele ser baja debido al acomodamiento natural (no compactado) que consiguen al caer por la pendiente los clastos rocosos o material detrítico.

Representa un porcentaje menor en la región. Se tienen ejemplos en las laderas de los cerros Caoña, Caballo Muerto, Turulaca, Alto Cinto, Turulaca Grande, entre otros, en el distrito de Ilabaya.

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Son aquellas vertientes o laderas asociadas a deslizamientos de tierra, originados por la acción gravitacional, condiciones de la pendiente, calidad del terreno y algún agente detonante. Involucran ciertas áreas más o menos extensas en la región, debido a condiciones que favorecen a este dinamismo (figura 4.9).

En la región se tienen zonas importantes debido a la recurrencia de estos eventos; en la vertiente occidental, con ejemplos en los sectores de los cerros Plaza de Acho, Cuesta Blanca, Cauñani, Negros, entre otros, en el distrito de Inclán de la provincia Tacna.



Figura 4.9 Depósito de deslizamiento de magnitud considerable en la vertiente del cerro Condorire que llega hasta la quebrada Palca quedando embalsado este río; actualmente, no existe el embalse más que evidencias de material lagunar. Se localiza en el poblado y distrito de Palca.

Vertiente fluvio-glaciario (V-fg)

Esta subunidad geomorfológica está formada por la acumulación de materiales de origen glaciar, los cuales han sido transportados y redepositados por escorrentías formadas por el deshielo del glaciar o por precipitaciones pluviales, que se concentran, forman cursos de agua y transportan los materiales sueltos.

Estos depósitos pueden encontrarse al pie de laderas, acantilados o en altiplanicies, formando conos de diversos tamaños o mantos de material no consolidado que cubren el sustrato rocoso. En la región Tacna abarcan el 0.02 % de la superficie total.

Abanico de piedemonte (Ab)

Son depósitos de material detrítico acarreado por cursos de agua; morfológicamente se asemejan al abanico de utensilio, con una pendiente que puede variar entre 2° - 15° . Se hallan normalmente en la desembocadura de quebradas y ríos. La acumulación de estos materiales se incrementa durante los periodos altos de lluvias (figura 4.10).

Corresponden un porcentaje menor del total de la región. Se tienen ejemplos en los sectores de las quebradas Garita, Espíritu, Viñani, entre otros, en el sur del territorio de la región.

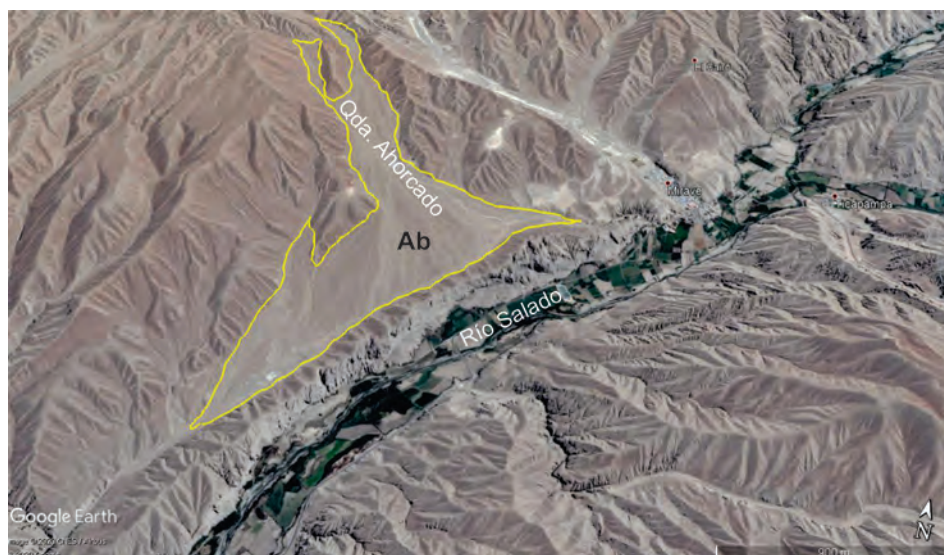


Figura 4.10 Se observa el depósito de material en la desembocadura de río de la quebrada Ahorcado al río Salado, ubicado al oeste del centro poblado de Mirave, distrito Ilabaya. Imagen Google Earth.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Es una planicie inclinada a ligeramente inclinada y extendida, ubicada al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos, formada por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales; muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas.

Ejemplos de estas geoformas se encuentran a lo largo de los valles de los ríos, entre otros; asociados a todos los tipos de

sustrato existentes en la región. La disposición de material suelto susceptible de ser acarreado como flujos de detritos que dan origen a este tipo de morfología se debe principalmente al estado de fracturamiento, alteración, pendiente y contenido de agua en las rocas y suelos. Sus cauces pueden estar sujetos a huaicos periódicos a excepcionales (fotografías 4.8 y 4.9).

Esta unidad es susceptible a remoción por flujo de detritos y por erosión fluvial en las márgenes de las quebradas; sus materiales pueden arrancados y transportados por las corrientes de ríos principales en los cuales confluye.



Fotografía 4.8 Vertiente aluvio torrencial en el distrito de Sama, donde se observa el relieve ondulado y la acumulación del material residual.



Fotografía 4.9 Perfil litológico de una vertiente aluvio torrencial. Se observa lo desordenado o caótico de sus componentes que revela el origen aluviónico del depósito.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Se trata de superficies inclinadas de suave hasta fuerte pendiente (1° - 5° y 15° - 25°), cubiertas por material aluvial acarreado por corrientes de agua superficial. Este material es de constitución detrítica de edad cuaternaria. Suelen presentarse tanto en los flancos de quebradas o valles y terrenos inclinados como rampas (fotografía 4.10).

Se encuentra distribuido principalmente en el sector sur y norte de la región. Se pueden apreciar en los tramos bajos de las quebradas Hospicio, Caramolle; sectores de pampas La Yarada, Magollo, Ángel, entre otros, en la parte sur de la región.



Fotografía 4.10 Material aluvial con superficie suavemente inclinada, localizado en el sector sur del poblado de San Isidro en el distrito y provincia de Tacna.

Unidad de planicies, depresiones y otros

Están asociadas a depósitos aluviales, aluviales antiguos y fluvioglaciares, limitados en muchos casos por altiplanicies, bofedales, faja litoral, mantos de arena, terrazas y valles; están sujetos a modificaciones físicas constantes o recurrentes, desarrolladas normalmente en cuencas, llanos andinos, faja costera. Ocupan una superficie de 3.64 % del área de la región. Para una mejor descripción se individualizaron subunidades.

Dentro de este grupo se diferenciaron catorce subunidades:

Llanura o planicie aluvial (Pl/al)

Son superficies llanas o con suave inclinación hacia el océano, llano (pendiente 0° - 1° a 1° - 5°), de baja altitud, a lo largo del litoral, compuesta por una cobertura de material aluvial cuaternario. Se forma durante el levantamiento del fondo marino o el descenso del nivel del mar, cuando afloran las superficies abrasivo-acumulativas de la plataforma (Lugo, 1989). Representan un porcentaje menor del área total de la región;

se tienen ejemplos en los sectores denominados Pampa Baja y Pampa Ite Sur en el distrito de Ite de la provincia Jorge Basadre (figura 4.11).

Terraza aluvial (T-al)

Son porciones de terreno que se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río, a mayor altura; representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, los cuales han sido disectados por las corrientes como consecuencia de la profundización del valle. Están constituidos por material detrítico más o menos gradado, presentando en la parte superior terrenos idóneos para el desarrollo agrícola (fotografía 4.11).

Representa el 0.47 % del área total en la región. Se tienen ejemplos de esta subunidad en el río Sama (sectores entre El Huayco y Sama Grande); río Locumba (sectores Miramar, Sitana, Grande y Chaucalana, entre Cuaylata y Curibaya, entre otros).



Figura 4.11 Planicie aluvial limitada por una vertiente aluvial y un humedal. Está localizado al sur del poblado y distrito de Ite en la provincia Jorge Basadre. Imagen Google Earth.



Fotografía 4.11 Terraza aluvial aprovechada para la agricultura en el sector norte de Miraflores, valle de Sama.

Terraza indiferenciada (Ti)

Son superficies planas, remanentes de anteriores niveles de sedimentación ubicadas por encima del nivel máximo de las aguas de un río, en las que no se puede determinar los diferentes niveles de terraza a partir del nivel actual de sedimentación o cauce fluvial.

Representan un porcentaje menor, localizado en el sector suroeste de la región; se pueden mencionar sectores en las quebradas Escritos, Garita, Cauñani, Viñani, entre otros, en los distritos Gregorio Albarracín, La Yarada-Los Palos.

Terraza baja aluvial (Tb-al)

Son terrenos planos y de ancho variable que se encuentran ubicados encima del cauce y llanura de inundación fluvial. Son comunes las escarpas definidas en el borde del cauce fluvial, además de mantener una dinámica activa, principalmente por erosión fluvial.

Corresponden a un porcentaje menor en la región. Ejemplos de estos son los sectores de Villacollo y Yesera en Quilahuani, Candarave.

Mantos de arena (M-a)

Son relieves conformados por acumulación de arenas eólicas a manera de mantos, que se encuentran cubriendo terrenos planos a plano ondulados de la planicie costera. En los mantos de arena pueden encontrarse alineamientos de dunas que siguen la dirección del viento. También, es posible encontrar acumulaciones de arena en las laderas o vertientes de montañas, colinas o lomadas, las cuales favorecieron la acumulación de la arena. Preferentemente, se localizan aledañas al litoral y suelen tener permanencia durante varios años, son característicos de ambientes desérticos.

Dentro de la región, esta subunidad ocupa una superficie importante, que llega a alcanzar el 1.07 % del área total. Geodinámicamente, se asocia al avance de arenas que llegan a cubrir viviendas, terrenos de cultivo, carreteras, canales de riego y otros tipos de infraestructura construidos sobre terrenos afectados por este evento.

Terraza marina (T-m)

Son superficies en zonas costeras que han sufrido un levantamiento tectónico o variaciones eustáticas del mar, usualmente están cubiertos por depósitos marinos dispuestos en diferentes materiales tanto biogénicas, terrígenas y litogénicas o mixtas. Suelen presentar superficies inclinadas bajas y moderadas paralelas al litoral.

Representan un porcentaje menor del área total de la región. Se distribuyen en los sectores de Pampa Tacahuay, Playa Brava (Ite); Punta Colorada, poblado Llostay (Sama), y poblado el Pozo hacia el suroeste, hasta el poblado Conchal (Tacna). Acosta *et al.* (2012) describen una plataforma de terraza de 2 m a 5 m de altura en la margen izquierda del río Sama. Asocian su origen a un ligero levantamiento de la Cordillera de la Costa en este sector, formándose un desnivel de la plataforma de abrasión. Asimismo, describen a lo largo del abanico formado al final de la quebrada Caplin una terraza marina plana que se confunde con los sedimentos provenientes o formados por los depósitos aluviales. El material re TRABAJADO por el vaivén de las olas y que constituye esta terraza forma conglomerados con clastos de roca volcánica en una matriz arenosa.

Costa emergente o de regresión reciente (C-e)

Resulta del descenso o retroceso del nivel del mar, o de un levantamiento de tierras y/o bloques continentales. Su topografía es plana con algunas depresiones y suelen formarse amplias zonas de inundación o lagunas; estas zonas se inundan con marea alta. Su morfología es paralela a la línea de costa y se dibuja en la vertiente sur de la Cordillera de la Costa. Presenta una plataforma uniforme, suave y con pendiente de aproximadamente 2° con dirección al OSO. El talud con diferencia de alturas entre 2 m a 5 metros modifica la línea de costa, dibujando en forma de media luna numerosas entradas que se acomodan al anterior límite entre el mar y el continente (Acosta *et al.*, 2012), cubierto por mantos de arena y depósitos proluviales producto de flujos de lodo que descienden de los cerros Los Pabellones (figura 4.12).



Figura 4.12 Imagen satelital (Google Earth), comprendida entre Boca del Río y Punta Morena, donde se distinguen una costa emergente (C-e) y una terraza marina (T-m) al oeste de la ciudad Tacna,

Bofedales (Bo)

Son humedales de altura, relacionados generalmente a aguas permanentes de origen glaciar. Morfológicamente corresponden a los fondos de valles y/o vertientes. La vegetación del tipo hidrofílica suele ser abundante y terrenos oscuros limoarcillosos por la acelerada formación del humus (fotografía 4.12).

Esta subunidad está distribuida en el sector noroeste de la región, diferenciándose en los sectores de Ancohuyo, La Cueva, Mamuta, Iscazurani, Cabracollo, Corocorani, Chamacsaraya, Chavillo, entre otros, en el distrito y provincia de Tarata.



Fotografía 4.12 Se distingue la vegetación verde en el área del bofedal (Bo), el origen de las aguas proviene de las zonas altas (sur de este lugar) cubiertos parcialmente por glaciares. Este sector se localiza cerca del km 88+000 de la carretera Candarave-Toquepala, sector Quebrada Honda al noroeste de Candarave.

Laguna y cuerpos de agua (Lg/ca)

Son acuíferos superficiales naturales que suelen estar relacionados a aguas de glaciares o corrientes de agua que circulan por un valle; esta subunidad es recurrente en las zonas altas o sierras de la región (figura 4.13).

Están distribuidos en el noreste de la región, muchos asociados a movimientos en masa presentes en el fondo de los valles formando diques para el embalse de aguas.

Dentro de esta unidad se reúnen todos los cuerpos de agua de origen natural (lagunas) y artificial (represamientos), los cuales tienen dimensiones representables a la escala de trabajo. Se identificaron como ejemplos de esta subunidad, en la región Tacna, lagunas principales como Vizcachas, Loriscota, Vilacota, Aricota y Suches, así como las presas Casiri, Condorpico, Paucarani, Dique Cano, Jarumas, entre otras.



Figura 4.13 Vista de la laguna Aricota en la provincia de Candarave, con vista al suroeste aguas abajo.

Valle de represamiento (VII-r)

Bajo esta denominación se describe el paisaje resultante del represamiento de un valle fluvial a consecuencia de un movimiento de masa de gran magnitud; por ejemplo, un deslizamiento, una avalancha de rocas, un flujo de detritos, avalancha de detritos o movimiento complejo. Un valle de represamiento presenta, generalmente, un dique conformado por el material removido proveniente del movimiento en masa. Aguas abajo del dique es posible observar el valle por donde discurren las aguas que logran filtrar a través de este. Aguas arriba o detrás del dique se observa una topografía en el valle conformada por la acumulación de material fino de tipo lacustre (limo, arcilla, arena), visible cuando el valle está seco. También, es posible encontrar una laguna formada por la acumulación de las escorrentías de agua que provienen de

los afluentes ubicados en las cabeceras de los valles y que no encuentran un desfogue.

Los principales ejemplos de esta subunidad de valle de represamiento han sido identificados en los sectores de Quilahuani, Aricota (Candarave) y Palca (Tacna), entre otros (figura 4.14).

Geodinámicamente, la unidad puede estar sujeta a la caída de huaicos hacia la zona de valle o la laguna desde sus afluentes, a la generación de nuevos deslizamientos o derrumbes desde las vertientes que caen en el embalse y pueden provocar una ola que forme un desembalse violento de la laguna. Asimismo, se pueden producir deslizamientos, derrumbes o movimientos complejos en el frente del dique de represamiento, lo que genera también un desembalse violento que puede arrasar con todo lo que se encuentra aguas abajo¹.

¹ El escarpe del deslizamiento principal Aricota se encuentra a 3657 m s. n. m. y el río Curibaya a 2420 m s. n. m., evidenciando un desnivel mayor a 1000 m. Durante el evento principal, la masa deslizada se ha propagado hasta el otro flanco del valle, generando un dique que represó el río, y originó la laguna Aricota. Los escombros se derivan de tobas e ignimbritas de la Formación Huaylillas, piroclastos, limolitas y clastos volcánicos de la Formación Tarata, y tobas y andesitas de la Formación Samanape. Se notan fallas que limitan el escarpe con dirección noroeste-sureste y norte-sur (Delgado *et al.*, 2016 en el XVII Congreso Peruano de Geología).



Figura 4.14 Laguna Aricota producto del cierre natural originado por un deslizamiento de ladera de gran magnitud que funciona como dique, ubicado en el distrito de Quilahuani y Curibaya de la provincia de Candarave. Imagen Google Earth.

Faja litoral (F-l)

Se denomina faja litoral a una delgada franja con un ancho máximo de 80 m, que aparece en algunos sectores en la costa de la región Tacna; se desarrollan playas de arena y acantilados costeros que por la escala de trabajo algunas geoformas no se ven reflejadas en el mapa. La zona carece, generalmente, de vegetación alguna y está dominada por procesos de arenamiento provocados por transporte de arena eólica, cuando la dirección dominante del viento es del océano al continente; también, se encuentran expuestos al socavamiento por erosión de olas y tsunamis.

El escarpe del deslizamiento principal Aricota se encuentra a 3657 m s. n. m. y el río Curibaya a 2420 m s. n. m., evidenciando un desnivel mayor a 1000 m. Durante el evento principal, la masa deslizada se ha propagado hasta el otro flanco del valle, generando un dique que represó el río, y originó la laguna Aricota. Los escombros se derivan de tobas e ignimbritas de la Formación Huayllillas, piroclastos, limolitas y clastos volcánicos de la Formación Tarata, y tobas y andesitas de la Formación Samanape. Se notan fallas que limitan el escarpe con dirección noroeste-sureste y norte-sur (Delgado *et al.*, 2016 en el XVII Congreso Peruano de Geología).

Las playas son el resultado de la deposición de material detrítico transportado por el mar, aunque la fracción predominante suelen ser las arenas finas en terrenos casi planos que formaron parte de la superficie marina y que en la actualidad se hallan emergentes producido por el levantamiento tectónico o por el descenso del mar. Se originan por la acumulación de sedimentos transportados en

parte por las corrientes fluviales que desembocan en el océano, como aquellos originados por la erosión o abrasión marina y eólica. En la región se encuentran aledañas al litoral. Ejemplos más representativos se tienen en el sector de desembocadura del río de la quebrada Mendocianos.

Los acantilados constituyen el modelado característico de erosión y sedimentación marina. Las olas y corrientes marinas socavan la base de las riberas o litoral, lo que puede generar caída de rocas, derrumbes o deslizamiento de bloques rocosos. Estos efectos son mayores cuando ocurren movimientos sísmicos.

Origen antrópico

Se indican aquellos fenómenos que modifican o alteran de forma importante el desarrollo o manifestación de algunos de los procesos naturales como movimientos de ladera, erosión, inundaciones, procesos de sedimentación asociada, etc. (Martín-Serrano *et al.*, 2004), así como también aquellos que modifican el paisaje de forma drástica. Los aspectos antrópicos están estrechamente ligados a la densidad poblacional si esta es relativamente alta; los procesos erosivos pueden producir un descontrol cuando por acción del hombre se produce un cambio.

Humedales (Hum)

Dentro de esta subunidad se tienen los humedales de lte, ubicados en la Bahía de lte, que se formaron debido a la disposición de los relaves de las operaciones de las concentradoras de Toquepala y Cuajone de la compañía

Southern Peru Copper Corporation (SPCC), enviados aguas abajo de las operaciones por cauces secos para ser finalmente depositados en el mar, en la desembocadura del cauce del río Locumba en la Bahía de Ite. A partir de 1996, los relaves de ambas concentradoras se depositan tierra adentro, en el embalse de relaves de Quebrada Honda.

La acumulación de las arenas causó que la playa fuera creciendo, ganando terreno al mar; así en el año 1996, la playa creció hasta alcanzar un área total de más de 1600 hectáreas, con un kilómetro y medio de ancho y 12 kilómetros de largo.

En esta reserva se ha realizado un exitoso programa de remediación ambiental que ha formado el humedal más extenso y con mayor diversidad de aves acuáticas de la costa del Perú. Como proceso de remediación se inició este proyecto como parte del compromiso del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) que SPCC suscribió con el Gobierno Peruano en 1997. En la actualidad, se continúa con actividades de mantenimiento en dicha zona, especialmente en el control y manejo del agua para garantizar la estabilidad a largo plazo del humedal. La permanencia del humedal ha creado un ecosistema muy biodiverso, debido a la abundancia de alimento y a la variedad de zonas de vida que existen en la Reserva de Relaves de Ite.

Actividad minera (Am)

Dentro de esta subunidad se han considerado rellenos artificiales de diferente tipo (desmonteras y pilas de lixiviación): diques, presas, tajos abiertos, labores de explanación y nivelación, que son resultado de las labores de explotación, procesamiento y deposición de la actividad minera. Son cartografiables a la escala de trabajo del presente estudio y generan cambios en el relieve por remoción del suelo, realizando excavaciones subterráneas o de tajo abierto (fotografía 4.13). Abarcan el 0.16 % de la superficie de la región.

Depósito antrópico (Dan)

Las áreas más apropiadas para actividad humana dentro de los cuadrángulos de La Yarada Tacna y Huaylillas comprende a zonas enmarcadas sobre los depósitos de sedimentos correspondientes a depósitos aluviales antiguos. Esencialmente en las quebradas del río Caplina, se forman superficies subhorizontales que se convierten en lugares idóneos para la edificación de importantes ciudades que junto a la actividad agropecuaria crean un importante polo de desarrollo ligado a suelos con ventajas geológicas e hidrogeológicas específicas.

Dentro de este tipo de depósitos están incluidos aquellos generados por el hombre y están formados por canteras,



Fotografía 4.13 Depósitos generados por la actividad minera en la mina Toquepala, con vista al sureste.

desmonte y basurales; los depósitos de canteras de agregados se encuentran constituidos por conglomerados, arenas y arcillas que no están consolidadas; se intercalan irregularmente provenientes de depósitos aluviales de formación reciente, originados por la erosión hidráulica y mecánica producida por el acarreo de fragmentos a lo largo del curso de las corrientes de agua superficiales. En la región Tacna existen canteras que de acuerdo con su mayor utilización son de los sectores Calana, Arunta, Magollo, entre otros (fotografía 4.14).

Los depósitos de desmonte están representados por escombros de viviendas, canteras abandonadas de ignimbrita de la Formación Huaylillas, mientras que los depósitos de basura se consideran además los antiguos botaderos municipales como el caso de la quebrada del Diablo. Los depósitos de desmonte se presentan mayormente con geometrías lingüiformes que, en algunos casos, están rellenoando el antiguo cauce como sucede en el cono norte y sur. Sin embargo, así también existe el arrojo, pero debido a la escala del mapa no se pueden diferenciar estas subunidades.



Fotografía 4.14 Material extraído en las canteras del distrito de Gregorio Albarracín, provincia de Tacna, con vista hacia el norte.

CAPÍTULO V

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

5.1 GENERALIDADES

La caracterización hidrogeológica de la Región Tacna se encuentra enmarcada en el proyecto de peligros geológicos regionales que desarrolla la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. El mapa hidrogeológico se elaboró en base a un análisis detallado de la litología y permeabilidad que tienen las formaciones geológicas de la región, considerando además la presencia de elementos estructurales como fallas y pliegues.

La región Tacna es conocida por la escasa precipitación que posee (se ubica muy cerca del desierto de Atacama, donde la precipitación pluvial es nula a casi nula); por lo tanto, las rocas reservorio tienen pocas posibilidades de almacenar y transmitir aguas subterráneas.

La parte superior, donde hay mayor precipitación, está cubierta por grandes afloramientos de rocas volcánicas provenientes del arco volcánico Barroso, que en su mayoría posee flujos de lava altamente fracturadas. Esto da posibilidades de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas, aunque en muchos sectores los estratovolcanes se encuentran intercalados por depósitos de procedencia explosiva, mostrando alternancias de cenizas, piroclastos compactos, tobas e ignimbritas, todas de apariencia impermeable. Encontrar un acuífero potencial en estos materiales estará condicionado a la presencia de acuíferos de tipo libre y también de acuíferos de tipo confinado y semiconfinado, ya que estas alternancias podrían formar acuíferos multicapa.

En la parte más elevada de la región, donde se ubica la cuenca del río Locumba, se observan manifestaciones de acuíferos profundos, presencia de fuentes termales y geiseres, con elevados contenidos de boro y arsénico (Cotrina *et al.*, 2009). En este sector se encuentran los volcanes activos: Tutupaca y Yucamane; entre ambos edificios se ubica el valle del río Calientes, donde Ingemmet inventarió 120 fuentes termales de alta entalpia, es decir, asociados a fuentes de elevada temperatura que indican posible presencia de reservorios geotérmicos, los que desde el punto de vista hidrogeológico corresponden a acuíferos confinados o cautivos profundos. Hacia la parte media de las cuencas se ubican descargas de

manantiales de bajo caudal, que corresponden a acuíferos someros de reducida extensión. Sin embargo, estas fuentes se utilizan en el consumo humano y riego de centros poblados menores de la zona.

Según la última clasificación de la Autoridad Nacional del Agua - ANA (2012), la región Tacna está conformada por nueve cuencas hidrográficas (Locumba, Sama, Caplina, Hospicio, Concordia, Lluta, Uchusuma, Caño y Maure) y por cuatro intercuenas (13159, 13157, 13153 y 13155).

La Autoridad Nacional del Agua, a través del decreto Supremo n° 065-2006-AG, de fecha 06 de noviembre de 2006, declara de necesidad pública y preferente interés nacional la conservación y preservación del recurso hídrico del valle del río Caplina, ubicado en la provincia y departamento de Tacna. Previo hubo un estudio técnico del agotamiento de las fuentes naturales de agua, zonas de veda y zonas de protección, así como los estados de emergencia por escasez, superávit hídrico, contaminación de las fuentes naturales de agua o cualquier conflicto relacionado con la gestión sostenible de los recursos hídricos.

El acuífero potencial en la región Tacna es el acuífero La Yarada, ubicado en la desembocadura del río Caplina; sin embargo, las numerosas perforaciones en el acuífero no encontraron el basamento o piso de dicho acuífero, impidiendo determinar la geometría del reservorio. Sin embargo, la sobreexplotación y malas prácticas de explotación han generado grandes sectores contaminados con intrusión marina.

En algunos centros poblados menores se han encontrado algunos niveles elevados de metales pesados. En Tarata y Candarave, las concentraciones de arsénico en el agua llegan a 1.91 Mg/L (Ministerio de Salud, 2005); se las atribuye a surgencias de fuentes termales ubicadas muy cerca de volcanes activos.

El régimen de escurrimiento es intermitente: moderado en épocas de lluvia y bajo en épocas de estío; con vertientes principales de carácter estacional, con agua clara en épocas de lluvia (en la mayor parte de la zona alta), la misma que es utilizada para la agricultura, consumo humano, industrial, recreación, balneológico, piscicultura, etc.

5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EN LA REGIÓN TACNA

El mapa hidrogeológico se elaboró en base a la información geológica y estructural, a escala 1:100 000 de la Carta Geológica Nacional (Ingemmet). Se realizó una interpretación

de las unidades litológicas y se han agrupado las formaciones geológicas en función a su capacidad de almacenamiento y transmisibilidad del agua subterránea; esto nos permitió elaborar el mapa hidrogeológico de carácter regional (mapa 5). Las unidades hidrogeológicas encontradas se detallan a continuación en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1

Unidades hidrogeológicas presentes en la región Tacna

Unidad Hidrogeológica	Clasificación
Acuífero	Poroso no consolidado
	Fisurado volcánico
	Fisurado sedimentario
	Sedimentario
Acuífardo	Intrusivo
	Sedimentario
	Subvolcánico
	Volcánico
	Volcánico sedimentario
Acuícludo	Metamórfico

5.2.1 Acuíferos

Son unidades hidrogeológicas conformadas por formaciones geológicas con capacidad de almacenar y transmitir aguas subterráneas a través de sus fracturas, poros y la interconexión entre estas; el grado en que se presentan estas propiedades varía mucho de una formación geológica a otra, y su magnitud puede variar con la estructura geológica. Pueden extraerse en cantidades económicamente aprovechables. Los acuíferos conforman un 55.93 % del área total de la región Tacna.

a) Acuíferos porosos no consolidados (APNC)

Estas unidades hidrogeológicas están cerca de la superficie terrestre, con estratos continuos formados por materiales de alta permeabilidad intrínseca. Se extienden desde la superficie del terreno hasta la base del acuífero, presentando una mayor exposición en la región (32.60 %). Están compuestos por depósitos aluviales, fluviales, eluviales y coluviales distribuidos en los valles principales y tributarios mayores (cauce, rellenos de ríos o quebradas, abanicos, terrazas y llanuras aluviales), acumulaciones fluvio-glaciares en las márgenes o terrazas de valles superiores, depósitos morrénicos en las vertientes altas, depósitos eólicos y marinos en la planicie costera. Están conformados por gravas y arenas con matriz arenolimsa.

Todos estos depósitos corresponden a acuíferos de moderada a alta permeabilidad y de alta productividad dependiendo de las dimensiones con la que cuentan; esto se evidencia por la alta presencia de pozos que se abastecen de las aguas subterráneas de estos acuíferos. En esta categoría se encuentra el acuífero La Yarada, identificado como uno de los más importantes de la región.

b) Acuíferos sedimentarios (AS)

Están compuestos por conglomerados no consolidados en una matriz arenosa feldespática, areniscas cuarzo feldespáticas, intercaladas con canales conglomerádicos, muy permeables. Estas características hidrogeológicas se presentan en el acuífero Moquegua. La formación que lo conforma se divide en Moquegua superior e inferior. Esta unidad hidrogeológica se encuentra conformada por el miembro superior, como acuífero sedimentario, ya que es más amplia y con mejores condiciones acuíferas; en cambio, el miembro inferior es relativamente impermeable y se cataloga de acuerdo con sus características en otra unidad hidrogeológica.

- **Acuífero sedimentario Moquegua superior.** Se encuentra conformado litológicamente por conglomerados polimícticos seguidos de areniscas con canales de conglomerado, limolitas y arcillitas; presentan un buen potencial hidrogeológico.

Estudios hidrogeológicos realizados en la región Tacna concuerdan que el acuífero La Yarada está compuesto en su mayoría por depósitos de la Formación Moquegua, la misma que tiene alta productividad.

c) Acuíferos fisurados volcánicos (AFV)

Este tipo de acuíferos se presenta en rocas volcánicas formadas a partir de materiales fundidos a gran temperatura y a distintas profundidades, las que cuando erupcionaron y sedimentaron desarrollaron fracturas por enfriamiento y cristalización. Esta condición permite la formación de propiedades hidráulicas y favorece a la formación de acuíferos fisurados volcánicos. La actividad tectónica producida en la Cordillera de los Andes contribuye con la formación de numerosas fracturas y fallas regionales, cuya porosidad secundaria favorece la percolación de las aguas subterráneas.

Uno de los mejores acuíferos, y de los más representativos en la región, es el acuífero fisurado volcánico Barroso. Litológicamente, los afloramientos están compuestos en mayoría por lavas andesíticas.

- **Acuífero fisurado volcánico Barroso.** Corresponde a los depósitos volcánicos del arco Barroso formado entre 2 y 10 MA. En su mayoría están compuestos por flujos de lava, andesitas y basaltos que corresponden a materiales permeables y constituyen muy buenos acuíferos.

Ubicados en la parte norte de extensión regional se encuentran asociados a fallas regionales y pueden albergar acuíferos profundos, cuyas manifestaciones se observan a través del afloramiento de fuentes termales y géiseres lo mismo que correspondería a reservorios geotermales. En este tipo de rocas también se encuentra la Formación Capillune, identificada como un acuífero potencial multicapa. Las investigaciones hidrogeológicas son aún incipientes, pese a que ya existe explotación de estos acuíferos en la cuenca del río Ilo-Moquegua. Dentro de este arco volcánico también se encuentra el acuífero Maure, que corresponde a depósitos volcánicos y sedimentarios que se ubican en la parte alta de la región y donde el Proyecto Especial Tacna (PET) ha desarrollado numerosos pozos tubulares.

d) Acuíferos fisurados sedimentarios (AFS)

Estos acuíferos son muy heterogéneos. Las fracturas, fallas y diaclasas pueden tener diferente densidad en sectores que alimentan los reservorios acuíferos. Para que un acuífero fisurado sedimentario realmente funcione como reservorio de aguas subterráneas, las fracturas deben estar abiertas e interconectadas unas con otras y con la superficie para poderse recargar. En la región comprende las formaciones

geológicas compuestas por rocas sedimentarias consolidadas, donde el flujo subterráneo depende del proceso de fisuración, que se debe a procesos tectónicos y alteraciones exógenas secundarias. Litológicamente están compuestos por areniscas (importantes acuíferos), areniscas cuarzosas, calizas micríticas, con algunos niveles delgados de lutitas; su porosidad primaria se incrementa por el grado de fisuración a las que están expuestas, incrementando la percolación y el almacenamiento de las aguas subterráneas. Las formaciones geológicas consideradas como acuíferos fisurados sedimentarios en la región son las que siguen:

- **Acuífero fisurado sedimentario Gramadal.** Está conformado por areniscas intercaladas con limolitas; se observan también calizas micríticas orgánicas. Es un acuífero fisurado de comportamiento permeable, de extensión local ubicado en la parte media de forma alargada en la región; presenta propiedades como baja productividad.
- **Acuífero fisurado sedimentario Labra.** Se caracteriza por areniscas cuarzosas, intercaladas con areniscas calcáreas y limoarcillitas. Son acuíferos fisurados de baja productividad, muy localizada en la parte media de la región, de escaso interés hidrogeológico, relacionados a anticlinales y sinclinales.
- **Acuífero fisurado sedimentario Hualhuani.** Comprende sedimentos de areniscas arcósicas, gradando a limolitas marrón grisáceas. Son acuíferos fisurados permeables, que tienen poca extensión, están distribuidos en la parte media a alta de la región de Tacna y se encuentran relacionados a anticlinales y sinclinales.

5.2.2 Acuitardos (AT)

Los acuitardos tienen una gran distribución en la región y conforman un 43.87 % del área total. Corresponden a materiales impermeables de escaso interés hidrogeológico; son rocas de litología impermeable, con zonas de alteración muy fina y que son muy reducidas en la región. Tienen la capacidad para almacenar agua, pero su transmisibilidad es muy lenta o de forma muy localizada debido a su baja o casi nula permeabilidad. Esta característica los hace muy susceptibles a la generación de movimientos en masa.

a) Acuitardos intrusivos (ATI)

Esta unidad hidrogeológica está compuesta principalmente por el Batolito Costero, que es un complejo de diferentes rocas intrusivas de las superunidades Yarabamba, Linga, Ilo, del Batolito Challaviento, e intrusivos pérmicos, cretácicos y paleógeno-neógenos. Son materiales de baja permeabilidad o impermeables, que se ubican en la parte baja cerca de las

zonas costaneras, así como en la parte media de la región con extensión regional, en donde la precipitación pluvial es baja o nula; por lo tanto, no tienen alimentación y recarga, aunque poseen fracturas someras.

Litológicamente están compuestos por granitos, granodioritas, dioritas, gabros, sienitas, microdioritas, tonalitas, monzonitas, cuarzo monzodioritas y diabasas de baja permeabilidad.

b) Acuitardo sedimentario (ATS)

Litológicamente corresponden a secuencias de areniscas y lutitas; limolitas y lutitas, limos con niveles de yeso de los acuitardos Cabanillas, Puente, Socosani y Cachíos, Moquegua inferior, depósitos de bofedal, y depósitos de yeso y sínter. Estos materiales tienen carácter impermeable y se encuentran en reducida extensión.

- **Acuitardo sedimentario Cabanillas.** Se encuentra ubicado en la parte media de la región, presentando una extensión local. Está conformado por intercalaciones de areniscas y lutitas micáceas en estratos pequeños y medianos; son materiales semipermeables a impermeables de escaso interés hidrogeológico.
- **Acuitardo sedimentario Puente, Socosani y Cachíos.** De extensión local, se encuentra en la parte media de la región. Litológicamente está compuesto por limolitas y lutitas con niveles delgados de arcosas (Formación Puente), y las cuarcitas intercaladas con limolitas, seguidas de calizas y limolitas calcáreas; hacia la parte superior se encuentran areniscas calcáreas de aspecto fino e impermeable. Presentan escasa permeabilidad y extensión reducida.
- **Acuitardo sedimentario Moquegua Inferior.** Está compuesto litológicamente en la base por material limoarcilloso con niveles de yesos y clastos subangulosos, con paquetes potentes de arcillas; indistintamente con niveles de yeso, distribuidos en la parte media y baja. Tiene escaso interés hidrogeológico.
- **Acuitardo sedimentario de depósitos de bofedal.** Tiene intercalación de limos, arenas y niveles orgánicos, materiales impermeables de escaso interés hidrogeológico. Sirven de base impermeable para algunos depósitos de agua.
- **Acuitardo sedimentario de depósitos de yeso y sínter.** Está compuesto por yeso amorfo intercalado con bancos de barro yesífero, y lentes ocasionales de arenas y gravas; además, existen depósitos producto de concentraciones de sílice y boratos, que tienen su origen en la actividad hidrotermal. Son materiales impermeables, con mínima extensión.

c) Acuitardos subvolcánicos (ATSV)

Agrupan una serie de unidades subvolcánicas de composición andesítica, traquiandesita porfírica, riolítica, riodacítica o dacítica del Grupo Barroso, que se encuentran distribuidas a lo largo de toda la región; constituyen uno de los condicionantes principales de las surgencias de aguas subterráneas. Son materiales subvolcánicos impermeables de reducida extensión y escaso interés hidrogeológico.

d) Acuitardos volcánico (ATV)

Los acuitardos volcánicos son formaciones geológicas que están compuestas principalmente por rocas piroclásticas, lavas, ignimbritas y depósitos de cenizas. Son materiales volcánicos impermeables de reducida extensión y de escaso interés hidrogeológico. Litológicamente corresponden a secuencias volcánicas finas.

- **Acuitardo volcánico Toquepala y Tarata Inferior.** Comprenden tobas soldadas líticas y tobas lapilli, que son rocas de baja permeabilidad a impermeables. Tienen moderada extensión y en muchos sectores es el estrato condicionante del acuífero Barroso; es decir, constituye el substrato base para que el acuífero Barroso almacene aguas subterráneas.
- **Acuitardo volcánico Tacaza.** Comprende ignimbritas, lavas y brechas andesíticas a basálticas con fenocristales de hornblenda, intercalados con vulcanitas y aglomerados. Estos materiales volcánicos tienen limitada extensión, no tienen interés hidrogeológico y son clasificados como acuitardos.
- **Acuitardo volcánico Guaneros inferior.** Comprende lavas de composición andesíticas y dacíticas; también, se observan aglomerados volcánicos con clastos volcánicos. Es un acuitardo de reducida extensión con buena permeabilidad y baja productividad.
- **Acuitardo volcánico de depósitos de ceniza del Holoceno.** Comprende cenizas volcánicas sueltas de color gris muy claro a blanco con fragmentos de pómez blanco; tienen características muy finas e impermeables localmente; condicionan la surgencia de manantiales de bajo caudal en algunos acuíferos porosos no consolidados de la parte alta de la región Tacna.

e) Acuitardos volcánico sedimentarios (ATVS)

Está compuesto por secuencias volcánicas intercaladas con secuencias sedimentarias. Agrupan los volcanoclastos sedimentados, lavas y conglomerados de los acuitardos

Capillune y Tarata superior; son materiales impermeables, de gran extensión en la región, pero sin importancia hidrogeológica.

- **Acuitardo volcánico sedimentario Capillune.** Tobas retrabajadas (Mendivil, 1965), conglomerados basales, brechas y areniscas tobaceas, gris verdosas a tonalidades amarillentas, estratificación ondulante, que afloran en el flanco SE del estrato volcán Chuquiananta. La Formación Capillune es conocida por ser acuífero regional multicapa, pero en la región Tacna aflora en superficie la parte impermeable (estrato confinante); por lo tanto, en el mapa hidrogeológico de la región Tacna, lo clasificamos como acuitardo volcánico sedimentario de extensión regional y alto interés hidrogeológico con características permeables e impermeables.
- **Acuitardo volcánico sedimentario Tarata Superior.** Secuencia volcánica sedimentaria compuesta de sedimentos laminares de grano fino, seguido por piroclastos verdosos

afaníticos y piroclastos. Son materiales con escasa permeabilidad de extensión muy localizada.

5.2.3 Acuicludos

Los acuicludos son formaciones que no tienen condiciones para almacenar ni transmitir aguas subterráneas. Esto sucede en materiales totalmente impermeables. En la región, los acuicludos corresponden al Complejo Basal de la Costa, son de exposición muy reducida (0.20 %).

a) Acuicludos metamórficos (ACM)

- **Acuicludo metamórfico del Complejo Basal de la Costa.** Son materiales finos de escaso interés hidrogeológico que tienen forma alargada y reducida extensión, de escasa a nula permeabilidad. Incluyen gneis, esquistos y rocas metavolcánicas del Complejo Basal de la Costa, y diques de milonitas que se encuentran asociados al Sistema de Fallas Incapuquio.

CAPÍTULO VI

PELIGROS NATURALES

6.1 GENERALIDADES

En las últimas décadas se han producido episodios naturales de rango extraordinario de consecuencias funestas para la población mundial. Se ha creado la impresión de una mayor ocurrencia de eventos excepcionales, cuando lo que realmente ocurre ha sido el incremento de la exposición de las poblaciones del mundo a los peligros naturales. Los umbrales de tolerancia ante los riesgos de la naturaleza han disminuido por el propio crecimiento de la población mundial y la ocupación intensiva del territorio. Se invaden espacios con riesgo bajo con la premisa del desarrollo colectivo permitiendo que los grupos sociales se tornen vulnerables a la más mínima manifestación de las fuerzas de la naturaleza.

La adopción de estrategias de prevención eficaces no solo permitirá ahorrar miles de millones de dólares, sino también salvar cientos de millones de vidas; también, se reconoce que promover una cultura de prevención no es fácil; sus costos deben pagarse en el presente, en tanto que sus beneficios se verán en el futuro (Ayala & Olcina, 2002).

Nuestro país no ha sido la excepción; los efectos por la ocurrencia de peligros geológicos también se han visto incrementados, siendo el fenómeno de El Niño Costero (2017) uno de los eventos que generó mayor afectación en todos los sectores productivos especialmente para la región norte. Hubo **más de 285 453 damnificados, 138 fallecidos, 63 802 viviendas destruidas, 350 181 viviendas afectadas, 318 II. EE. destruidos e inhabitables, más de 2870 II. EE. afectados, 449 puentes destruidos, 4778 km de carreteras destruidas, entre otros, siendo el saldo final de este evento (INDECI, 2017).** Si bien, este hecho marcó un hito en la historia peruana, no debemos olvidar la ocurrencia de movimientos en masa que han afectado desde hace ya varias décadas a nivel nacional como el aluvión de Yungay (1970), donde quedaron enterradas las ciudades de Yungay y Ranrahirca, y murieron casi 22 000 personas (Fuente). Otro evento de gran magnitud fue el deslizamiento ocurrido el 25 de abril de 1974 en el sector de Mayunmarca (Huancavelica); este evento se produjo en la margen izquierda del río Mantaro, causó la muerte de cerca de 500 personas, provocó el represamiento del río Mantaro durante 43 días,

formándose una laguna artificial de 30 km de largo (Fuente). Estos hechos son solo algunos ejemplos de los muchos que ocurren a lo largo y ancho del país.

La ocurrencia de este tipo de eventos obedece a la confluencia de una serie de factores entre los que se encuentran la litología, geomorfología, cobertura de la tierra, el clima y la acción del hombre al utilizar el territorio de manera inadecuada.

Debido a su ubicación, Tacna es una región de especiales características geológicas. El borde Continental de Sudamérica muestra una importante inflexión y paralelamente la Cordillera de los Andes sufre también un cambio de rumbo producto de la geodinámica interna que condiciona la ocurrencia de sismos y movimiento de los vientos, que a su vez son los agentes condicionantes de las lluvias, otorgándole a la zona características climáticas de aridez que conforman el gran desierto de Atacama de importante extensión en Chile. Esta situación hace que los ríos de la región tengan comportamiento en extremo variable, no exentos de importantes avenidas. Esta zona es considerada, además, como una de las tres áreas de mayor riesgo en el país debido a su silencio sísmico desde 1868. Se ubica en el límite con Chile, entre las regiones de Moquegua y Tacna.

Ante esta realidad el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet), a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, desde hace ya más de dos décadas viene realizando estudios sistemáticos de los peligros geológicos en el Perú. La información generada se ha convertido en un referente para los expertos interesados en el tema, para los estudiantes que quieren profundizar en el conocimiento de estos fenómenos y para los tomadores de decisiones que requieren **definir acciones con relación a la amenaza y riesgo que generan estos peligros con el fin de reducir y mitigar sus efectos.** En este sentido, el Ingemmet, consciente de su quehacer en la **generación de conocimiento geocientífico, se ha concentrado en los últimos años en generar documentos metodológicos que apoyen a los técnicos en la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, siendo uno de los primeros referentes el libro *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*, publicado en 2007, como uno de**

los productos resultantes del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas, con participación de varios servicios geológicos de los países andinos y el Servicio Geológico de Canadá.

En este contexto, es comprensible la necesidad de contar con **información que permita realizar trabajos de prevención eficaces**, que no solo permitan ahorrar sino también salvar vidas, aunque **al principio los costos se verán en el presente, los beneficios se verán en el futuro**. Estos trabajos de prevención se inician **con la identificación y conocimiento de los peligros naturales**; para nuestro caso: los peligros derivados de los movimientos en masa y los peligros geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial). Cabe mencionar que **la mitigación de los efectos de estos peligros solo puede ser exitosa si existe un buen conocimiento de la frecuencia, carácter y magnitud del proceso en un área; incluso, si el riesgo no puede evaluarse con suficiente precisión, siempre es más eficaz tratar de prevenir que simplemente responder ante la crisis**.

6.2 PELIGRO/AMENAZA

Antes de introducirnos en el estudio de los peligros originados por movimientos en masa, por fenómenos geohidrológicos (inundaciones y erosión de riberas) y de los denominados "otros peligros" (hundimientos y erosión de laderas), es necesario conocer los conceptos siguientes:

Peligro o amenaza. Se entiende como "un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden 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 incluyen condiciones latentes que pueden materializarse en el futuro. Pueden tener diferentes orígenes: natural (geológico, hidrometeorológico y biológico) o antrópico (degradación ambiental y amenazas tecnológicas).

En el contexto nacional se define como peligro a "la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos" (SGRD, 2016).

Peligro/amenaza natural. Es "un proceso natural que puede 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). Este término se utiliza para describir eventos relacionados con amenazas existentes al igual que condiciones latentes que podrían ocasionar el surgimiento de acontecimientos futuros. Los peligros naturales se pueden caracterizar por su magnitud o intensidad, su velocidad en un principio, la duración y el área que abarcan.

Peligro/amenaza geológica. Es "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.

6.3 REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS DESASTROSOS EN LA REGIÓN TACNA

Todo análisis de peligros en cualquier lugar parte del conocimiento previo de los eventos peligrosos o desastres ocurridos en el pasado. La cronología de procesos geológicos y geohidrológicos de gran magnitud son los más importantes; sin embargo, también resultan importantes conocer eventos pequeños sobre todo aquellos de recurrencia periódica².

La región Tacna, por sus características físicas, geográficas y climáticas, se encuentra expuesta a una serie de peligros naturales. El presente trabajo se centra en la labor de identificación y estudio de los peligros geológicos por movimientos en masa, los peligros geohidrológicos (inundaciones y erosión de riberas) y los que aquí se denominan "otros peligros" (erosión de laderas y hundimientos), así mismo la determinación de "zonas críticas" que deben ser materia de estudios más detallados en futuras etapas de realización de estudios de peligro.

A lo largo de su historia, la región Tacna ha sido afectada muchas veces por fuertes precipitaciones pluviales y en algunas ocasiones por sismos, los que causan serias destrucciones materiales y en muchas ocasiones han cobrado vidas humanas. Toda esta información sobre eventos 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 (1995-2018),

² Pocas son las referencias de eventos históricos en la región; la gran mayoría corresponden a reportes periodísticos o estadísticas hechas por INDECI.

donde se registra la ocurrencia de inundaciones fluviales, deslizamientos, derrumbes, huaicos, entre otros. También, se tomó en cuenta la información bibliográfica de los informes técnicos realizados por Ingemmet entre los años 1962-2019, sobre eventos que involucraron importantes volúmenes variables de material desplazado; cuentan con un registro de fecha, representando un alto peligro en el momento que se produjeron, lo que conllevó a que se realice una evaluación puntual a cada uno de ellos. Se incluye información de empresas públicas y privadas en cuanto a la historia sobre acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, descrita con detalle por Silgado (1978); toda la información se consigna de forma resumida en el cuadro 6.1.

Sin embargo, como se verá más adelante, dentro de la región han sido identificados un gran número de eventos por medio de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, y cuya existencia fue certificada con los trabajos de campo; estos eventos no han sido considerados en la elaboración del cuadro 6.1. Muchos de estos se encuentran activos y afectan en diferente grado a poblaciones, carreteras, terrenos de cultivo y obras de ingeniería, por lo que se recomienda que el inventario de peligros geológicos realizado en la región sea siempre utilizado en los trabajos de evaluación de peligros para fines de desarrollo de proyectos futuros.

Cuadro 6.1

Cronología de eventos desastrosos por peligros naturales ocurridos en el departamento de Tacna

Fecha	Evento y descripción
2/27/1927	<u>Huaico en la quebrada Mirave</u> : Ocurrido a las diez de la mañana sobre este poblado de Tacna, se dio una lluvia torrencial que duró hasta el mediodía. Un evento al que los lugareños no estaban acostumbrados sucedió a las cuatro de la tarde, escuchándose un “ruido sordo, como de tempestad lejana”. De pronto, uno de los pobladores que estaba abocado a sus tareas, se dio cuenta que una enorme “lloclla” de cuatro a cinco metros de altura bajaba hacia el pueblo por la denominada “Quebrada Seca”, arrastrando rocas, troncos y todo a su paso. “La gigantesca avalancha de barro, rocas y agua se precipita cubriendo todo el poblado y arrastrando todo lo que encuentra a su paso” (Relato en el capítulo “La sepultación de Mirave” (Zora, 1969).
2/20/1997	<u>Inundación en Palca</u> : Distrito de Palca. Como consecuencia de lluvias intensas se produce una inundación que afectó a la población en sus viviendas. Se registró 13 personas damnificadas, 13 viviendas y 1 centro educativo afectados; 6 ha de cultivo perdido.
2/22/1997	<u>Inundación en el distrito de Cairani</u> : A consecuencia de lluvias intensas se produjo una inundación que afectó a la población en sus viviendas. Se registraron 182 personas damnificadas, 4 viviendas afectadas, 54 ha de cultivo perdido.
3/21/1997	<u>Inundación en el distrito de Locumba</u> : A consecuencia de lluvias intensas se produce una inundación que afectó a la población en sus viviendas. Se registró 142 personas damnificadas por pérdida de sembríos, 71 ha de cultivo perdido.
3/27/1997	<u>Inundación en el distrito de Ticaco</u> : Lluvias intensas originaron una inundación, afectó en la población 21 viviendas. Se registraron 105 personas afectadas.
1/29/1998	<u>Inundación en el distrito de Tacna</u> : A consecuencia de fuertes precipitaciones pluviales se produce una inundación afectando al distrito de Tacna, lo que ocasionó diversos daños. Se registraron 60 personas damnificadas.
1/25/1998	<u>Inundaciones en el distrito de Ilabaya</u> : Como consecuencia de lluvias, se produce el desborde de los ríos El Cinto e Ilabaya, inundando varios sectores de Ilabaya, y causando diversos daños en la agricultura, carretera, servicios básicos, infraestructura de riego y viviendas. Se registraron 219 personas damnificadas, 1 persona fallecida, 16 viviendas y 293 ha de cultivos destruidos, 4 puentes y 71 km de carretera afectada.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
1/25/1998	<u>Huaicos en los distritos de Locumba e Ilabaya:</u> A consecuencia de las fuertes lluvias, se produce la caída de huaicos en diversos sectores de los distritos, afectando la zona altoandina de la cuenca de Locumba, anexos de Chipe y Sagollo. Fueron registradas 35 personas damnificadas, 7 viviendas y 5 ha de cultivos destruidos. En Ilabaya, a consecuencia de grandes derrumbes en Camilaca y Cairani, se produjeron represamientos en el río Camilaca y formaron una laguna provisional; al romperse el dique natural provocó un aluvión que llegó hasta Ilabaya. Ocasionó 100 personas fallecidas y 15 desaparecidas; 20 viviendas destruidas y 350 ha de cultivos perdidos. En el caserío de Shintari, debido a las lluvias intensas se generó un huaico. EGESUR afrontó un gran desastre: tres huaicos de grandes proporciones inundaron la central hidroeléctrica Aricota II, colmataron el reservorio de compensación, causando la destrucción de diversas partes del campamento Shintari y del lecho del río aguas abajo de la central, así como de las líneas de alta tensión en 66 y 10 kV.
2/25/1998	<u>Huaicos en los distritos de Curibaya, Cairani y Camilaca:</u> En la provincia de Candarave, a consecuencia de la presencia de intensas lluvias se genera un huaico, ocasionando daños en el distrito de Curibaya. Se registraron 156 personas damnificadas, 12 viviendas destruidas y 27 afectas, 19 ha de cultivos destruidos.
3/24/1998	<u>Inundación en el distrito de Candarave:</u> Se produce el desborde de los ríos de la zona, inundando viviendas y causando diferentes daños: 10 personas damnificadas y 1 fallecida, 2 viviendas destruidas y 4 ha de cultivos perdidos.
3/25/1998	<u>Huaico en el distrito de Pachia:</u> A consecuencia de intensas lluvias se produce la caída de un huaico, ocasionando daños en el distrito: 55 personas damnificadas y 11 viviendas destruidas fueron registradas.
3/25/1998	<u>Inundaciones en los distritos de Chucatanani, Sitajara y Ticaco:</u> Como consecuencia de intensas lluvias en la zona, se produce el desborde de ríos afluentes al río Yabroco, causando daños en los cultivos y carreteras de acceso al distrito de Chucatanani. También, afectó sectores de los distritos Sitajara y Ticaco. En total se registró 80 personas damnificadas, 16 viviendas afectadas, 18 ha de cultivos destruidos y 2 puentes afectados.
Jan-00	<u>Deslizamiento en el sector Pallata:</u> A consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales ocurridas durante el efecto del Fenómeno El Niño y en los meses pasados de enero a marzo, se produjo la reactivación de deslizamientos existentes. La corona del deslizamiento reactivado presentó aprox. 2.5 km con escarpas de 6 m y 15 m. También, presentó derrumbes al norte, sur y oeste de Pallata (Dávila, 2000). Afectó viviendas construidas de adobe, obras de infraestructura básica, vial, de riego y terrenos de cultivo.
2/16/2000	<u>Inundaciones en el distrito de Palca:</u> Como consecuencia de lluvias fuertes registradas en el distrito de Palca se produce una inundación que causó daños en la población. Se registraron 40 casas de adobe y 127 personas afectadas. El 25/02/2000 se produce el desborde del río Palca causando diversos daños (40 casas de adobe y 245 personas afectadas).
2/26/2000	<u>Inundaciones en el anexo LLuco:</u> Como consecuencia de las lluvias intensas se produjo el desborde del río Sama en el anexo Llucu, distrito de Inclán. Se registraron 15 casas afectadas, dejando 60 personas damnificadas.
3/5/2000	<u>Inundación en Ciudad Nueva:</u> A consecuencia de las intensas lluvias registradas en el distrito de Ciudad Nueva se produce inundaciones. Se registraron 60 viviendas precarias afectadas dejando 122 personas damnificadas.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
6/27/2000	Inundación en el distrito de Locumba: A consecuencia de intensas lluvias se generan desbordes del río Locumba. Se registraron 370 personas damnificadas y 120 viviendas afectadas.
5/12/2000	Deslizamiento de Camilaca: Deslizamiento con actividad recurrente, registrándose agrietamientos en 40 viviendas y terrenos de cultivo, 120 personas afectadas. El 02/03/2001, debido a las fuertes lluvias ocurridas durante el efecto del fenómeno El Niño (enero-marzo), hubo una nueva reactivación en el deslizamiento de Camilaca, con una corona de 0.6 km de longitud y escarpas verticales entre 4 m a 8 m. En el sector este de Camilaca tiene una longitud de 300 m y saltos entre 2 m a 10 m. También, se presentó derrumbes al sur y centro de Camilaca. Se recomendó reubicar a la población en el área de Pampa Chuñave a 10 km al noroeste de Camilaca. Se registraron 310 personas damnificadas, 18 viviendas destruidas y 103 afectadas. Después del sismo del 23/06/2001 con epicentro en Ocoña (Arequipa), el deslizamiento de Camilaca mostró reactivación; a raíz de este evento el poblado fue reubicado. Según los lugareños, en el año 1934, se produjo un deslizamiento (llamado rodado de Vilacirca) represando al río Camilaca y se formó una laguna, que actualmente ya no existe; su desembalse produjo daños en la parte baja del valle. Por los años 1950 se reactivó parte del deslizamiento antiguo ubicado a unos 400 m al este del poblado de Camilaca antiguo, el cual también represó al río Camilaca, formando una laguna; actualmente, existe un bofedal en el que aún se ven las cicatrices. En la quebrada Huancané ubicada al este de CPM Yarama, en su margen izquierda, se presenta un deslizamiento traslacional, de 100 m de corona y una escarpa entre 5 m a 10 m de altura (Núñez, 2004; Cabrera, 2005).
2/9/2001	Huaico en el río Caplina: Se originó después de lluvias intensas de varios días que se precipitaron en la parte alta de la cuenca; ocurrió a las 14:00 horas, con un caudal estimado entre 20 y 30 m ³ /s. Se registró destrucción de campos agrícolas entre Challata y Calientes (15 a 20 ha), destrucción de los Baños Calientes, colmatación de las obras de encauzamiento del río Caplina (desde Calana hasta Piedras Blancas); destrucción de la tubería matriz de agua potable para la ciudad de Tacna, cortando el suministro total de agua. Asimismo, se produjo el debilitamiento de las bases del puente en la Panamericana Sur, erosión del lecho fluvial desde Chuschuco hasta el mar (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2004).
2/19/2001	Inundación en el sector Estique: Se produjeron intensas lluvias que causaron el desborde del río Sama que inundó varias viviendas del poblado de Estique. Se registraron 300 personas damnificadas, 100 viviendas y un centro de salud afectados. El 15/03/2001 se produjo otro desborde en el mismo sector registrándose 310 personas damnificadas y 103 viviendas afectadas.
2/27/2001	Huaicos en el distrito de Ilabaya: Intensas lluvias generaron huaicos en diversos sectores del distrito de Ilabaya en la provincia Jorge Basadre. Se registraron 370 personas damnificadas, 123 viviendas afectadas (Dávila, 2001).
6/23/2001	Inundación en el sector Estique: Se produjeron intensas lluvias que causaron el desborde del río Sama que inundó varias viviendas del poblado de Estique, en la provincia de Tarata. Se registraron 300 personas damnificadas, 100 viviendas afectadas y un centro de salud afectado. El 15/03/2001 se produjo otro desborde en el mismo sector donde se registró 310 personas damnificadas y 103 viviendas afectadas.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
2/3/2004	Huacos en el distrito de Tarucachi: Se registraron intensas precipitaciones pluviales, provocando dos huaicos que generaron erosión, destruyendo un canal de regadío y poniendo en riesgo la infraestructura del colegio secundario "Manuel Flor de Silva". Las lluvias provocaron pequeños deslizamientos en la carretera Tacna - Tarata, entre los Km 81+000 y km 83+000. Además, se registraron daños en la agricultura, principalmente en los distritos de Susapaya (20 ha de cultivos afectados) y Sitajara (10 ha de cultivos afectados) y Chucatamani (aumento del caudal del río Chucatamani erosionó el cimiento del pontón izquierdo, ocasionando el colapso del puente peatonal de 10 m de luz, que comunica el anexo del pueblo de Tala y Chaspaya).
2/6/2004	Inundaciones en el distrito de Ilabaya: Debido a las intensas lluvias se desbordó el río Ilabaya en varios sectores, donde fueron registradas 1500 viviendas afectadas.
3/4/2006	Inundación en la localidad de Sobraya: A las 12:00 horas, se produjo una inundación como consecuencia de las precipitaciones pluviales; afectó a 4 personas y 1 vivienda, en la localidad de Sobraya.
1/8/2007	Inundación en la localidad de Camiara: A las 22:00 horas, se produjo una inundación como consecuencia de las intensas lluvias en esta localidad; fueron afectados 7 km de infraestructura.
1/7/2008	Inundaciones en el distrito de Inclán: Debido a las intensas lluvias se desbordó el río Ilabaya en varios sectores; 1800 personas afectadas.
1/11/2008	Deslizamientos en los sectores de Candarave, Huanuara y Quilahuani: Afectó un canal de regadío. Asimismo, se verían afectados vía de acceso a Candarave y terrenos de cultivo. El 31/01/2015 se reactivó el deslizamiento de Quilahuani dejando 612 damnificados y 202 viviendas afectadas; el 18/03/2017 la reactivación afectó 100 m de canal de regadío.
1/20/2008	Huaico en el distrito de Sama: Debido a las intensas lluvias se generaron huaicos; se registró 1 fallecido, 1 desaparecido y 4 heridos.
1/3/2012	Huacos en las localidades de Ancona, Calientes, Caplina, Challaviento, El Peligro, Huaycuyo, Miculla, Pachía y Toquela: En el distrito de Pachía, se produjo lluvias que ocasionaron muertes en las zonas altoandinas, afectando estas localidades. Se registraron 230 personas y 60 viviendas afectadas, 0.05 % del servicio de desagüe afectado y 0.60 km de carretera destruida.
1/4/2012	Inundaciones en los sectores de Peschay y Pocollay: En el distrito de Pocollay, se produjo intensas precipitaciones pluviales, aumentando el caudal del río Caplina, viéndose afectadas las localidades de Peschay y Pocollay. Se registraron 150 personas afectadas, 50 % del servicio de agua potable afectado, 3 puentes afectados y 1 destruido.
2/6/2012	Inundaciones en el distrito de Ilabaya: Desbordes arrasaron cultivos en el distrito de Ilabaya, afectando 2500 personas y 500 viviendas.
3/9/2015	Inundaciones en el distrito de Ilabaya: Debido a las intensas lluvias se vieron afectadas 10 personas y 2 viviendas.
3/26/2015	Huaico en Mirave: En el distrito de Ilabaya, a las 16:30 horas aproximadamente, a consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales, se originó huaicos o flujos de detritos que afectaron viviendas, vías de comunicación y áreas de cultivo en la localidad de Mirave. En la quebrada Mirave y sus afluentes, diques transversales construidos fueron completamente rellenos o colmatados por flujos de detritos y lodo. Es un indicador que señala que la microcuenca es muy activa a la ocurrencia de flujos de detritos excepcionales (Medina & Luque, 2016). El huaico en su trayecto destruyó viviendas (163 afectadas, 24 colapsadas y 15 inhabitables), afectó infraestructura pública como el I. E. I. Mirave, 1 posta médica, plazas, polideportivo, 1 mercado, infraestructura de agua y saneamiento, infraestructura vial y predios con producción agrícola.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
3/26/2015	Huaico e inundaciones en Alto Poquera y Shintari: En el distrito Ilabaya, por efecto de lluvias intensas en estos dos sectores, se produjo un huaico y desbordes del río Curibaya, ocasionó daños y pérdidas de infraestructura de riego, áreas agrícolas y viviendas.
1/23/2017	Huaico en el distrito de Ilabaya: Debido a las intensas lluvias se generaron huaicos en diversos sectores del distrito. Se registraron 1 persona damnificada y 53 afectadas, 52 viviendas y 1 tramo de carretera afectada.
3/14/2017	Huaico en el distrito de Chucatanani: Debido a las intensas lluvias se generaron huaicos en diversos sectores del distrito: 2 personas damnificadas, 1 vivienda destruida, 4 ha perdidas y 38 afectadas, 10 puentes, 1 canal de regadío y 1 tramo de carretera afectados.
1/30/2019	Flujo de lodos en la quebrada Caramolle: Debido a las intensas lluvias, se produjo un flujo de lodo en el distrito de Ciudad Nueva. Aproximadamente a las 14:00 horas, se activaron las quebradas Caramolle y del Diablo, produciéndose desbordes que afectaron viviendas de las zonas de Pcoocllay y Alto de la Alianza.
2/8/2019	Huaico en Mirave: Flujo ocurrido aproximadamente a las 14:30 horas, fue detonado por una lluvia intensa que se generó en la cuenca alta. Afectó severamente trayendo consigo la destrucción de viviendas, coliseo deportivo, estadio, postes de tendido eléctrico, la vía de acceso Locumba-Candarave (Núñez et al., 2019). El centro poblado de Mirave fue sepultado por un huaico de similares proporciones en 1927 (92 años antes); el desastre volvió a arrasarlo el pueblo dejando 2 personas fallecidas y la destrucción total del pueblo. Otros eventos registrados en el sector fueron en los años 1995, 1999, 2001 y 2015.
21/02/2020	Flujos de lodo en quebrada del Diablo y Caramolle: el flujo de la quebrada Del Diablo afectó al distrito de Alto de la Alianza, destruyó viviendas, gran parte de infraestructura ubicada en el cauce de la quebrada y cono de deyección. Estos flujos ocurrieron aproximadamente a 21:00 horas, desencadenados por una lluvia intensa ocurrida en la parte alta de Tacna, que registraron 23 mm de precipitación (estación meteorológica de Senamhi). Sin embargo, es importante mencionar lo señalado por los pobladores, que días anteriores al 21 de febrero, ya se habían presentado lluvias en Tacna, el cual probablemente fue saturando los suelos en la parte media de la quebrada Del Diablo. En su trayectoria afectó viviendas de los sectores A.H.M El Mirador, La Florida y San Pedro, principalmente la calle San Antonio, el mercado La Rotonda, el terminal terrestre Tacna, así como, calles en las partes bajas por donde discurrió el flujo de lodo. Av. Zarumilla, Av. Jorge Basadre, calle Arias Araguez hasta la altura del estudio Jorge Basadre. En la quebrada Caramolle se produjo un flujo de lodo de volumen moderado, movilizándolo material arenoso englobado en una matriz fina, el flujo de lodo logró embalsarse en un dique de tierra construido por la municipalidad de Ciudad Nueva, al inicio del abanico de eyección de la quebrada (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2020).

Fuente: Elaboración propia de la base de datos de Ingemmet y compendios estadísticos de INDECI (2003-2018).

6.4 PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

Los peligros geológicos por movimientos en masa, los peligros geohidrológicos (erosión fluvial e inundaciones) y los denominados otros peligros geológicos (erosión de laderas, hundimientos, arenamiento, entre otros) fueron identificados utilizando los mapas topográficos del IGN e inventariados utilizando una “ficha o formato de inventario” que consigna de forma adecuada y de fácil llenado los datos morfométricos, geomorfológicos, geológicos, geotécnicos y de evaluación del peligro. Cada ocurrencia tiene un código de identificación, que ha sido asignado de acuerdo a la numeración de hoja topográfica

del IGN a escala 1:100 000. Los datos consignados en las fichas fueron ingresados en una base de datos y trabajados en un SIG, lo cual permitió su representación gráfica (mapa 6), permitió a la vez la actualización del banco de datos de peligros geológicos del Perú, y efectuar análisis estadísticos sobre frecuencia y ocurrencia. Cada ocurrencia adicionalmente tiene una o más fotografías ilustradas.

En el año 2000, el Ingemmet desarrolló el estudio de Riesgos Geológicos de la Franja n°1, entre los paralelos 16°00' - 18°00' de latitud sur; dentro de esta área, al sur, se encuentra la región Tacna. En el año 2015, se realizó el Estudio Mapa de Riesgos

Geológicos por Regiones: Tacna, cuyos trabajos de campo se efectuaron durante el año 2015. Se registraron 628 ocurrencias de peligros geológicos (gráfico 6.1).

Cabe precisar que la cartografía de estos eventos, representada en el mapa geomorfológico de la región, muestran una mayor cantidad de ocurrencias, algunas de las cuales no cuentan con ficha de inventario, pues proceden de los trabajos de interpretación de imágenes; por ende, en trabajos de evaluación del peligro se debe usar de forma conjunta el mapa de inventario de peligros y el mapa geomorfológico.

En el gráfico 6.2 se aprecia un primer análisis estadístico de las ocurrencias de peligros geológicos para la región Tacna, según su origen. Los movimientos en masa representan la mayor cantidad de ocurrencias con un total de 494 eventos (78.66 %); peligros geohidrológicos con 67 ocurrencias (10.67 %) y finalmente otros peligros geológicos, registrándose 67 ocurrencias (10.67 %).

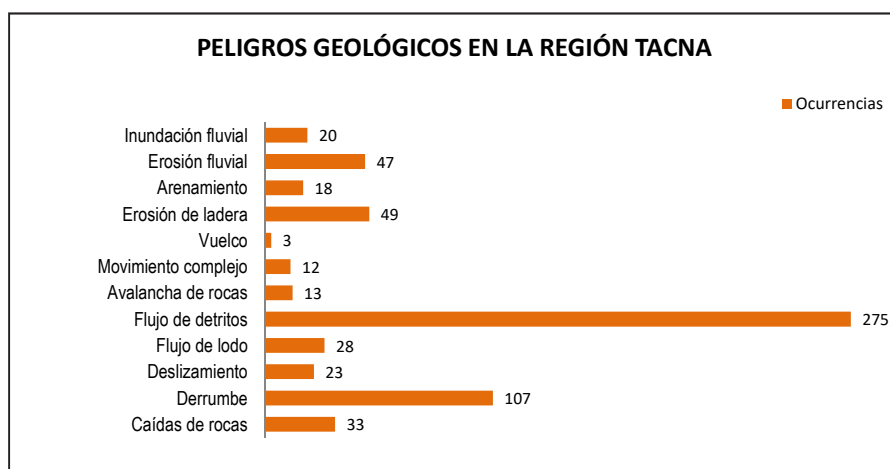


Gráfico 6.1 Inventario de peligros geológicos en la región Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

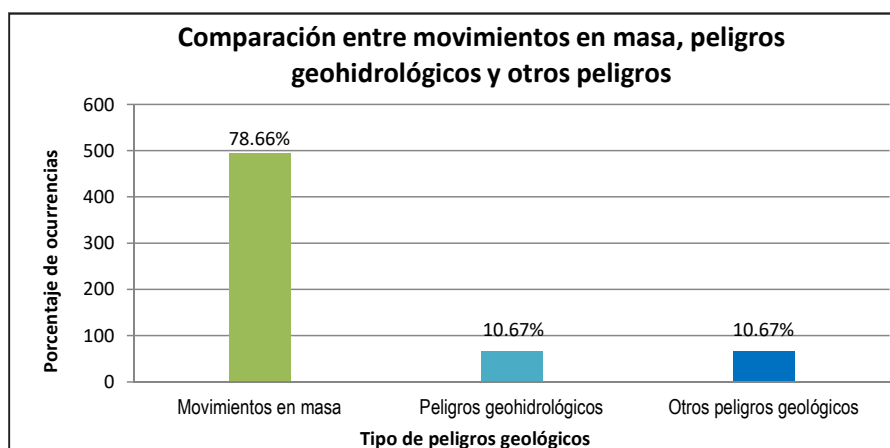


Gráfico 6.2 Ocurrencia de peligros geológicos en la región Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

6.4.1 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 en la región está estrechamente ligada a intensas lluvias, sismos y modificaciones antrópicas como factores detonantes, así como factores condicionantes o intrínsecos tales como la litología, pendiente, morfología, cobertura vegetal, etc.

Cruden (1991) define los movimientos en masa como todos aquellos movimientos de ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. En la literatura inglesa se utiliza el término *landslides* para referirse a los movimientos en masa; los *landslides* describen una variedad amplia de procesos que causan el movimiento hacia abajo y hacia afuera de materiales que forman una ladera, incluyendo roca, suelos y relleno artificial, o una combinación de estos.

Por sus características geomorfológicas y climáticas, Tacna se encuentra expuesta a la ocurrencia de movimientos en masa. Fueron identificados por medio de la interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y con ayuda del Google Earth, y verificados en campo, definiendo que muchos de ellos se encuentran activos. Es necesario que el inventario de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en la región, sea siempre utilizado en los trabajos de evaluación de peligros y estudios de prefactibilidad. Al realizar posteriores estudios, sirven de base para la identificación de nuevas ocurrencias o

reactivación de los ya existentes (al producirse eventos de lluvias intensas o sismos en la región).

Los movimientos en masa identificados en la región Tacna se han descrito 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); se diferencian procesos activos y antiguos³ (algunos reactivados). Los tipos más comunes de movimientos en masa son descritos a continuación:

Caídas

Caída de rocas. Ocurren 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), están sujetas a fuerte fracturamiento, así como en taludes al efectuarse cortes en laderas para obras civiles (carreteras y canales) (figura 6.1).

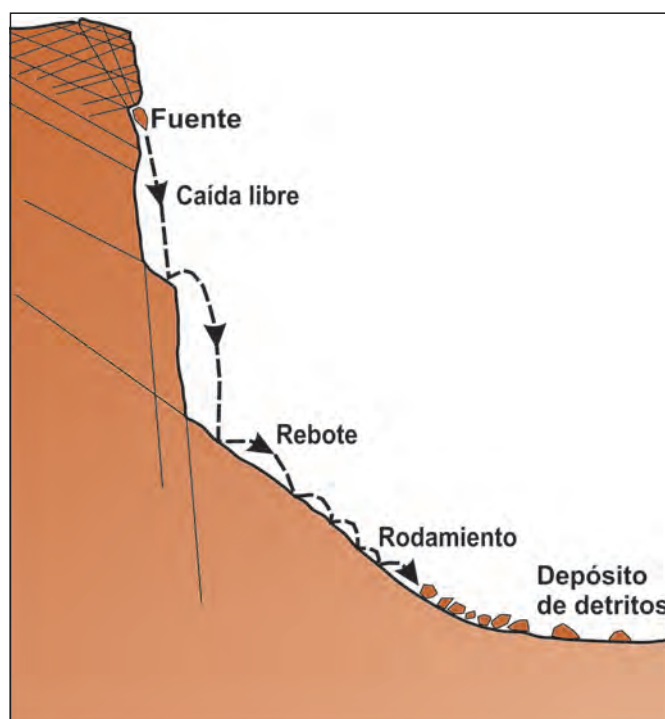


Figura 6.1 Esquema de caída de rocas (Varnes, 1978).

³ En la estimación de la edad de los movimientos en masa, se emplea cuatro categorías para edad (McCalpin, 1984): se diferencia: 1) Activo (con record histórico: <140 años); 2) Inactivo (joven: 140-5000 años); 3) Inactivo (maduro: 5000 a 10 000 años) y 4) Inactivo (viejo: antiguo >10 000 años). Esta clasificación puede aplicarse a otros peligros con inferencia y criterio subjetivo. Otras tecnologías como dendrocronología, núcleos cosmogénicos u otros que permiten una datación más exacta, son utilizadas actualmente.

Derrumbe. Es la disgregación generalmente de roca en una ladera o acantilado, originando en la base un depósito caótico de material grueso; es producido por el socavamiento de la base de riveras fluviales, áreas costeras, acantilados rocosos, en

laderas de moderada a fuerte pendiente, por acción de lluvias, movimientos sísmicos y actividad antrópica (cortes de carreteras o áreas agrícolas) (figura 6.2).



Figura 6.2 Esquemas de derrumbes.

Fuente: Elaboración propia.

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 originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Flujos de detritos. Son conocidos como "huaicos", muy comunes en nuestro país debido a la configuración del relieve en el territorio constituido por altas montañas, vertientes pronunciadas, estribaciones occidentales sumamente áridas con rocas y suelos deleznales o susceptibles de remoción con aguas de lluvia. Los flujos de detritos son corrientes que se caracterizan por ser muy rápidos a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurren principalmente confinados 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. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de "U", trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales (figura 6.3). Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques. En la estimación de la edad de los movimientos en masa, se emplea cuatro categorías para edad (McCalpin, 1984); se diferencia: 1) Activo (con record histórico: <140 años); 2) Inactivo (joven: 140-5000 años); 3) Inactivo (maduro: 5000 a 10 000 años) y 4) Inactivo (viejo: antiguo >10 000 años). Esta clasificación puede aplicarse a otros peligros con inferencia y criterio subjetivo. Otras tecnologías como dendrocronología, núcleos cosmogénicos u otros que permiten una datación más exacta, son utilizadas actualmente.

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.

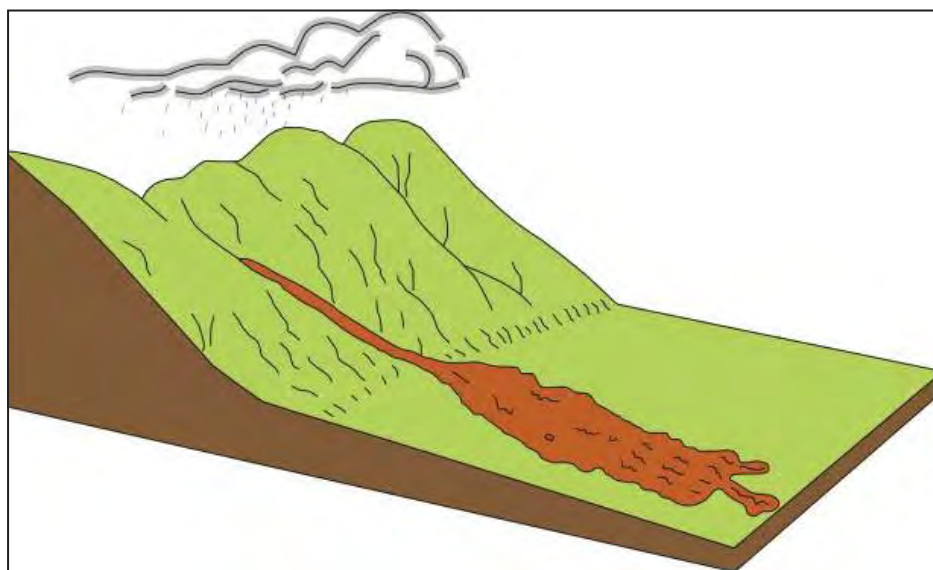


Figura 6.3 Esquema de un flujo de detritos.

Fuente: Elaboración propia.

Flujo de lodo. Es un flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo 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 (Hung et al., 2001). En algunos países de Sudamérica se denomina flujo o torrente de barro.

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 (Hung et al., 2001). Pueden ser extremadamente 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. Algunos depósitos de avalanchas pueden alcanzar volúmenes del orden de kilómetros cúbicos y pueden 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.

Deslizamientos

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. En la clasificación de Varnes (1978), se diferencian los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en dos tipos: rotacionales y traslacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares y/o en cuña.

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 6.4). 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.

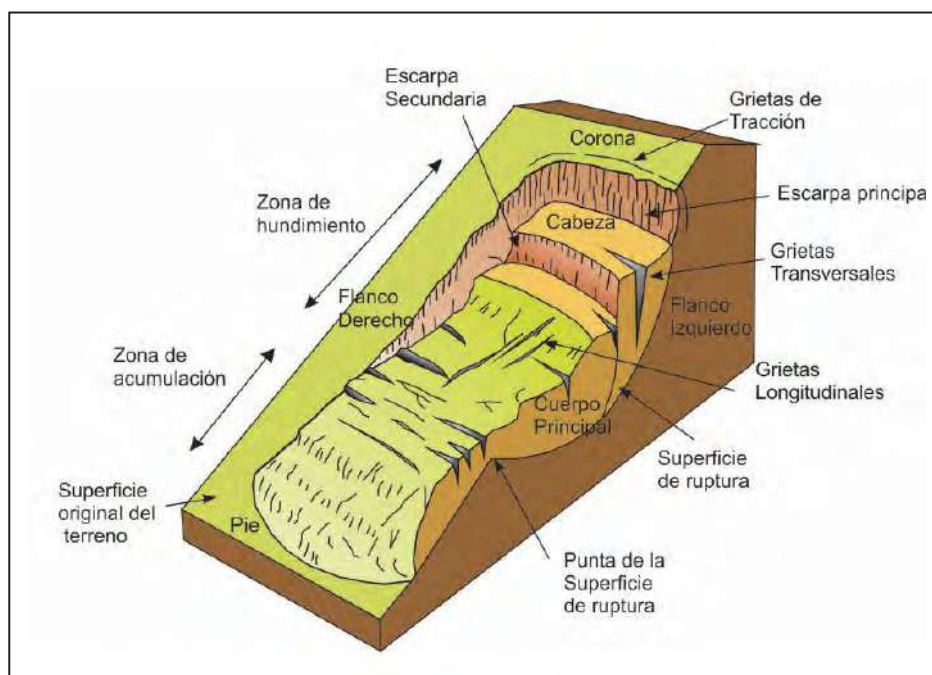


Figura 6.4 Esquema de un deslizamiento rotacional (Proyecto multinacional Andino, 2007).

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 6.5). 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 cual 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, por lo que 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.

Movimiento complejo

Su denominación está dada por la conjunción o combinación de dos o más procesos de movimientos en masa en un sector. En la cuenca, los derrumbe - flujos, deslizamiento - flujos u otro movimiento en masa son de carácter complejo (figura 6.6).

Vuelcos

Se denominan así cuando hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978). Se presenta en rocas relativamente competentes, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base; es semejante "al vuelco de libros en un estante" (figura 6.7).

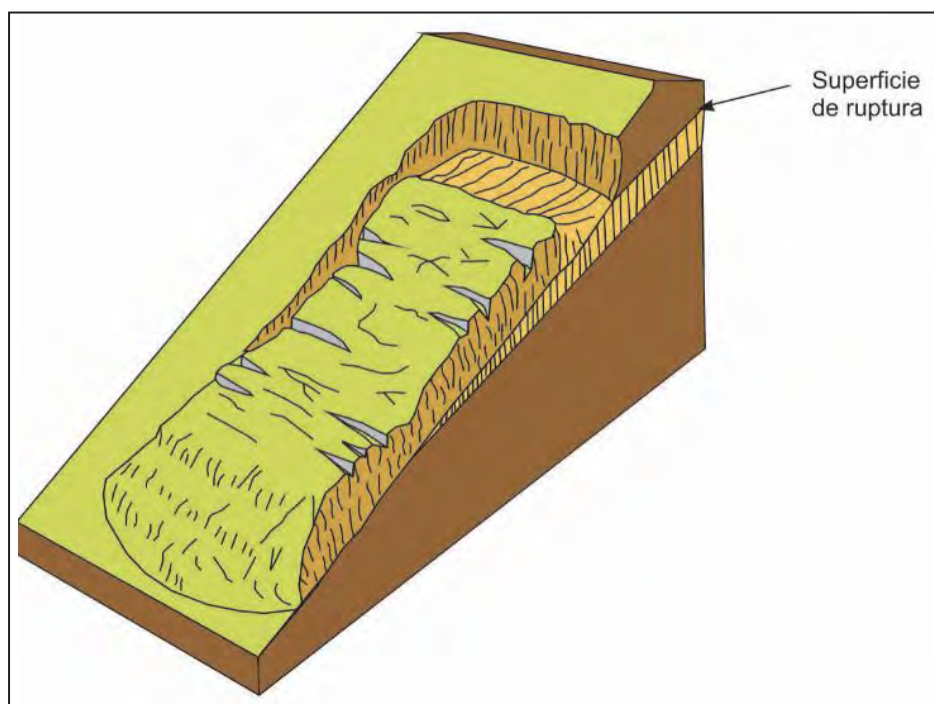


Figura 6.5 Esquema de un deslizamiento traslacional (Proyecto multinacional Andino, 2007).

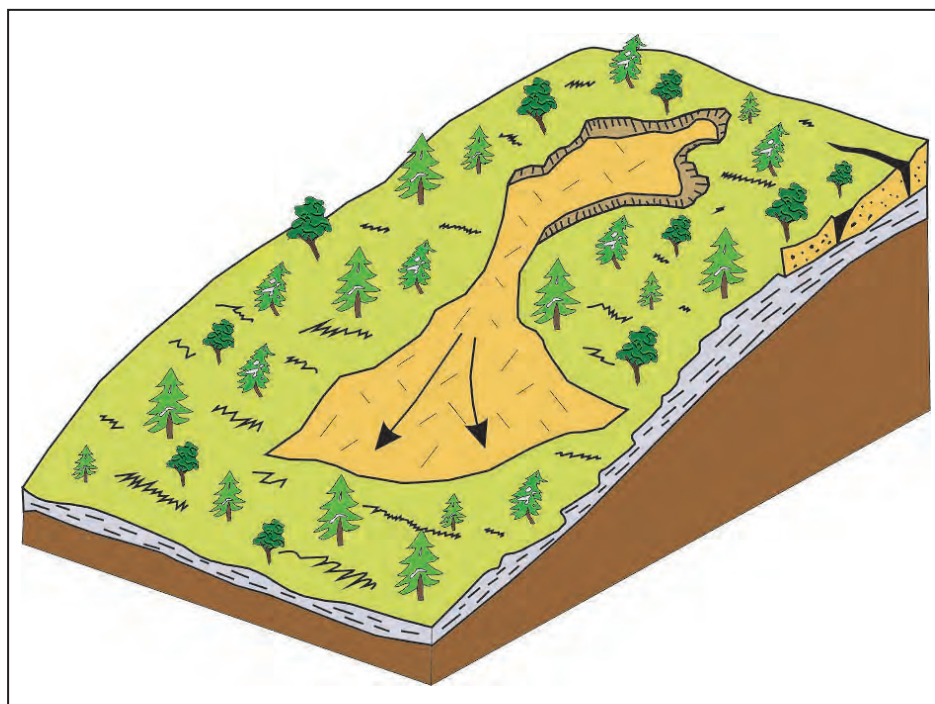


Figura 6.6 Esquema de un movimiento complejo.

Fuente: Elaboración propia.

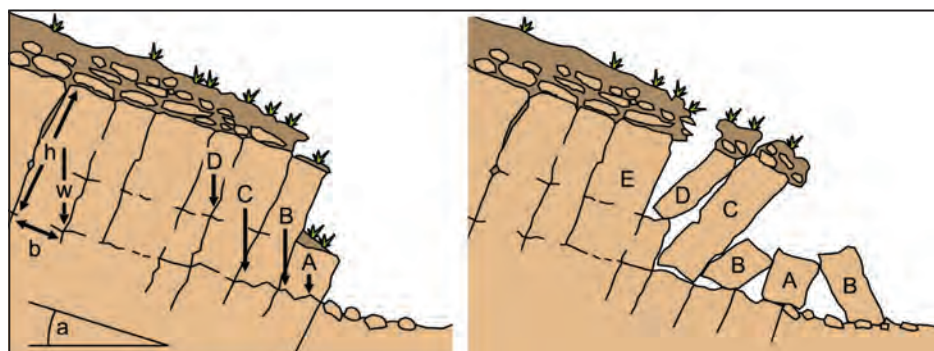


Figura 6.6 Esquema del vuelco en bloques (Varnes, 1978).

Factores de inestabilidad de las laderas

Los factores que intervienen en la ocurrencia de un movimiento en masa son variados; estos son agrupados por los distintos autores bajo diferentes categorías.

Según Ferrer (1987), estos factores pueden ser agrupados en dos categorías:

Los factores internos: Condicionan los diferentes tipos de movimientos en masa, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de los factores internos se tienen las características intrínsecas relacionadas con la resistencia de los materiales (litología, estratificación, consolidación, tamaño de partículas, etc.) y los estados de esfuerzos; las características extrínsecas están relacionadas con la morfología de la ladera (pendiente de la ladera y su disposición respecto de las discontinuidades geológicas y la orientación de la ladera), y con las condiciones ambientales de la zona (cambios estacionales de temperatura, tipo de vegetación).

Los factores externos: Actúan sobre los materiales modificando las condiciones originales de las laderas, provocando roturas al producirse variación en su estado de equilibrio; estos son la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas.

Según Villota (2005), los factores que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa pueden agruparse de la siguiente manera:

Naturaleza de los materiales: Los movimientos en masa pueden afectar 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, por permeabilidades e impermeabilidades, o de mala calidad tanto por su grado de meteorización y/o fracturamiento.

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 la existencia de depósitos antiguos de remoción en masa potentes con presencia de escarpas de deslizamientos o derrumbes, reactivados por erosión fluvial o socavamiento del pie del valle, infiltraciones naturales y de riego, o por acción antrópica (construcción de carreteras), socavamiento por corriente fluviales, por olas, los cuales crean frentes libres y hacen susceptibles a la generación de movimientos en masa.

Factores climáticos: Los movimientos en masa también se producen en cualquier clima, siendo más frecuentes en zonas donde se presentan lluvias fuertes y prolongadas, o de gran intensidad y corta duración, que humedecen y saturan materiales poco o nada coherentes, porosos e intensamente fracturados; ocasionan, por un lado, la erosión por escorrentía pluvial en terrenos impermeables y, por otro, la infiltración que ayuda al incremento de la presión intersticial (en el caso de suelos permeables), disminuyendo el esfuerzo cortante. En zonas frías se producen deformaciones en el terreno por periodos de congelamiento y rápido deshielo de suelos; en climas subhúmedos a semiáridos, donde se alternan periodos secos y húmedos, se ve favorecida la formación de grietas en suelos arcillosos y su expansión debido a variaciones en su estado de humedad, así también la formación de grietas favorece la infiltración de agua. Los cambios bruscos

de temperatura producen la expansión y contracción de los materiales que conforman suelos y rocas, fenómeno que favorece su debilitamiento; por último, fuertes vientos pueden provocar desprendimientos de materiales incoherentes en taludes y escarpes.

Factores edáficos: El agua en el suelo de tipo 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 aumentan 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.

Factores biológicos: La vegetación también influye en la ocurrencia de movimientos en masa; por ejemplo, cuando se tienen árboles de raíces superficiales, estos no amarran el suelo, ni retienen 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.

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

operaciones de mina en el borde del tajo este con disposición de material estéril, inestable, susceptible de remoción con lluvias estacionales provoca derrumbes y generación de flujos, vibraciones y modificaciones antrópicas.

El tiempo, aunque no se considera un factor, 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 a la ocurrencia de un movimiento en masa.

Inventario y frecuencia de ocurrencia de los movimientos en masa

En la región Tacna hay referencia de un moderado a alto índice de ocurrencia de eventos peligrosos en el periodo histórico o reciente (movimientos en masa detonados por sismos y lluvias). La mayor cantidad de movimientos en masa, ocurridos en la región, se asocian tanto a eventos extremos hidroclimáticos y movimientos sísmicos. En años normales, debido a sus características intrínsecas y externas (clima), en la región son también frecuentes procesos de huaicos, afectando principalmente las carreteras; en estas rutas debido a los cortes inadecuados de los taludes también son frecuentes los desprendimientos de rocas y derrumbes.

El análisis estadístico en la ocurrencia de movimientos en masa inventariados (494 ocurrencias) se aprecia en el gráfico 6.3. Se muestran los flujos de detritos (275), derrumbes (107), caídas de rocas (33), flujos de lodo (28), deslizamientos (23), avalanchas de rocas (13), movimientos complejos (12) y vuelcos (3).

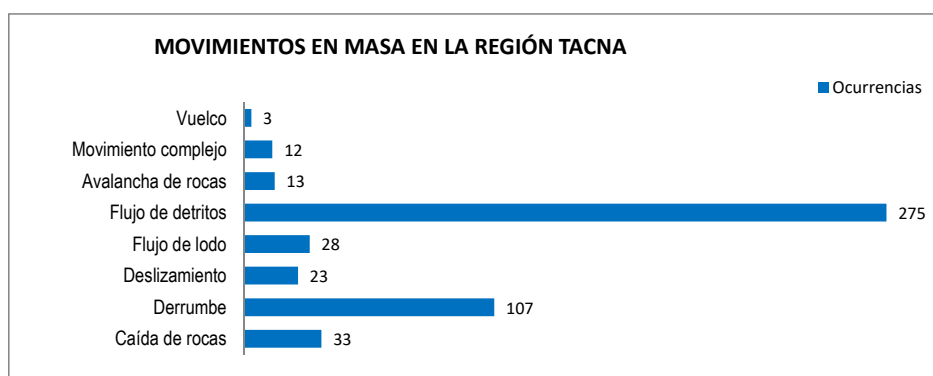


Gráfico 6.3 Ocurrencias de movimientos en masa en la región Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 6.4, se muestra un análisis estadístico de ocurrencias de peligros geológicos por movimientos en masa

inventariadas en la región, en función de la tipología similar agrupado en cinco tipos.

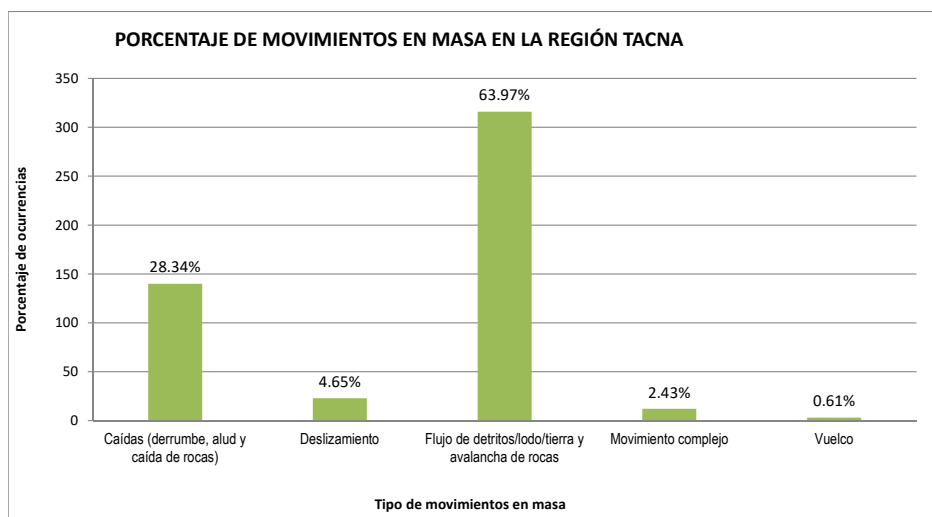


Gráfico 6.4 Porcentaje de ocurrencias de movimientos en masa en la región Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

Flujos de detritos, flujos de lodo y avalancha de rocas/detritos (63.97 %): Constituyen la mayor cantidad de ocurrencias con 316 eventos principalmente en materiales de fácil susceptibilidad a la erosión pluvial como depósitos aluviales, y rocas piroclásticas y lahares, tobas andesíticas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados, entre otros. Se generan flujos de detritos (huaicos) y flujos de lodo canalizados que interrumpen periódicamente tramos de carreteras y/o afectan áreas de cultivos en las laderas de los valles.

Se distribuyen en toda la región, es así que se puede encontrar grandes depósitos de abanicos de flujos de detritos en los valles de los ríos Calientes, Ilabaya, Salado, Cinto, Locumba, Sama, Chacavira, Ticalaco, Tarucachi, Caplina y las quebradas Huanuara, Mirave, Honda, Palca, Caramolle, Arunta, entre otros. Muchos de estos ríos presentan grandes depósitos de flujos de detritos, principalmente los que drenan hacia la vertiente del Océano Pacífico; sin embargo, no siempre se encuentran activos, estos solo se activan cuando se presentan lluvias excepcionales, lo que muchas veces motiva la ocupación antrópica de los mismos al existir grandes periodos de calma. Ejemplos de estos flujos se muestran en los sectores de Mirave, Ticapampa, Candarave, Curibaya, Tarucachi, Tarata, Calientes, entre otros, así como los tramos de las carreteras Tacna-Tarata, Costanera, Panamericana, Camiara-Ilabaya, Camiara-campamento Toquepala, Tarata-Candarave, entre otros (fotografía 6.1 y figuras de 6.8 a 6.11).

A lo largo de su historia, el poblado de Mirave ha sido afectado muchas veces por huaicos, que causaron serias destrucciones materiales y en muchas ocasiones han cobrado vidas humanas en los años 1927, 1995, 1999, 2001, 2015 y 2019, siendo los más destructivos los de los años 1927 y 2019, quedando sepultado el poblado.

Las siguientes son las causas principales que originaron estos huaicos: laderas con pendiente entre 25° a 70° que facilitan los procesos de erosión de la cobertura de suelo; el aporte de material al cauce de la quebradas por procesos de erosión u otro movimiento en masa; material poco consolidado y fácilmente removible como conglomerado no litificado con matriz arenolimoso, ante presencia de lluvias el agua erosiona la matriz, lo cual acelera la formación de material suelto y contribuye a la carga de sedimentos para la quebrada; la ausencia de vegetación permite una rápida aceleración, material superficial poco consolidado y fácilmente removible; la reducción de los cauces; el arrojado de desmonte y/o basura a los cauces de las quebradas; el progresivo movimiento de expansión acelerada dentro del cauce de las quebradas sin ninguna planificación urbana lo que ha llevado a la desaparición de estas, y la presencia de canteras en la cuenca media y alta son otros factores que aceleran que se generen nuevos flujos. Año tras año vienen afectando viviendas, vías de comunicación e infraestructuras, lo que ocasiona pérdidas económicas por la frecuente interrupción de servicios públicos como los de

saneamiento, energía eléctrica, comunicaciones y transporte, riego agrícola, etc., y en algunas ocasiones hasta la pérdida de vidas humanas, generando altos costos en los trabajos de recuperación de las zonas afectadas debido a una deficiente o nula aplicación de estrategias para reducción de desastres, así como a una deficiente cultura de prevención.

Las grandes avalanchas de rocas se localizan a lo largo de laderas de pendientes abruptas que pueden configurar acantilados, conformados por rocas piroclásticas y lavas como en las faldas de los volcanes Tutupaca y Yucamane a más de 5000 m s. n. m., así como en los cerros Negros y Caquilluno a 6 km de Tomasiri (figura 6.13).



Fotografía 6.1 Zona de huaicos en las quebradas que descienden del cerro Rocoso, en la margen derecha del río Sama. Entre los sectores Coruca y Sambalay Chico, distrito de Inclán.



Figura 6.8 Huaicos en el sector de Paso El Viento, carretera Palca-Alto Perú cruza los depósitos de los huaicos que descienden del Nevado El Fraile, distrito de Palca, con vista hacia el sureste.

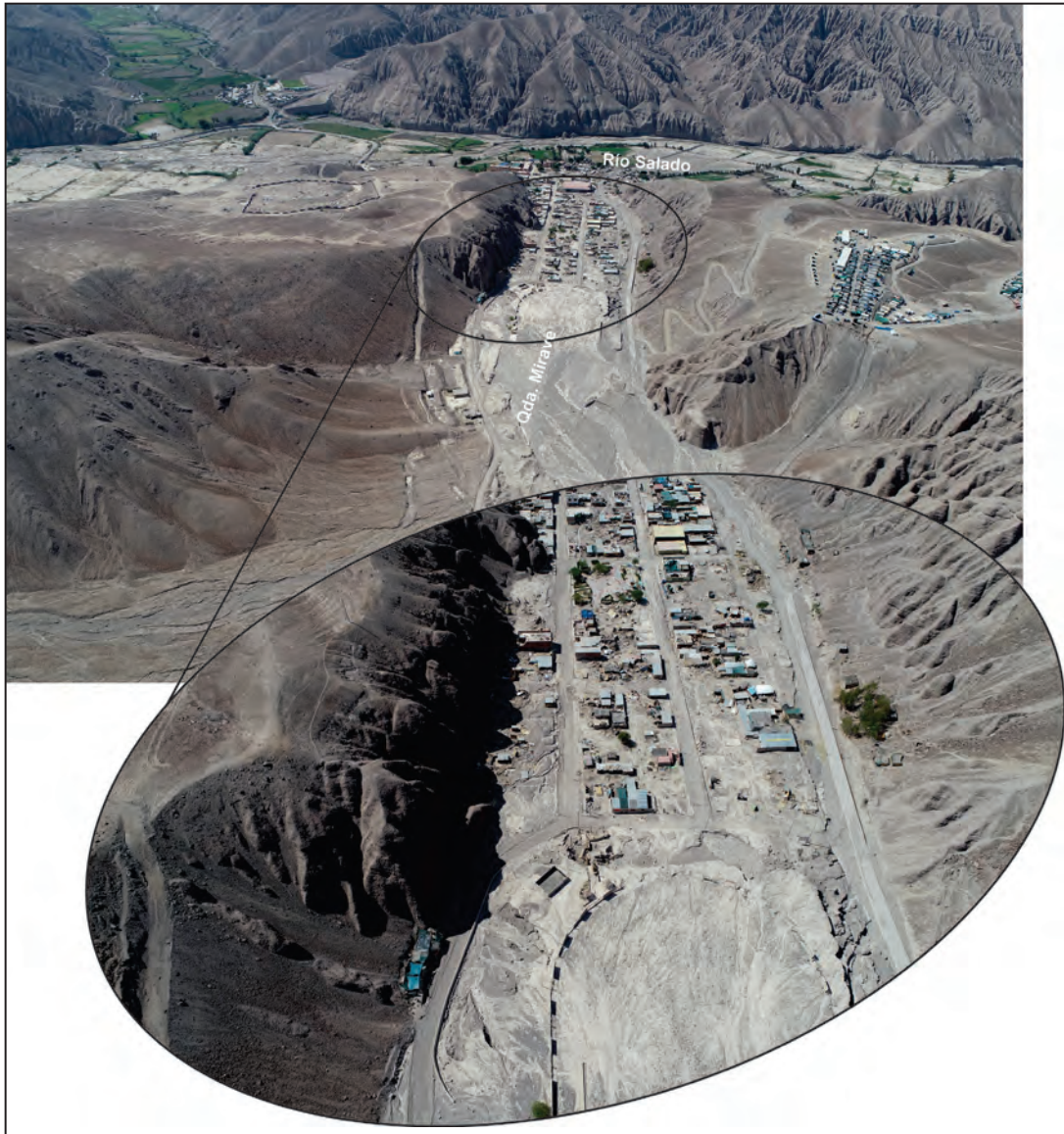


Figura 6.9 Huaico del 8 de febrero de 2019 en la quebrada Mirave, destruyó el poblado del mismo nombre en el distrito de Ilabaya, con vista hacia el sureste.



Figura 6.10 Flujo de lodo en el km 1274+140 de la carretera Panamericana Sur, límite entre los distritos Alto de la Alianza y Tacna, con vista al noroeste. Generalmente, los pontones tienen una luz insuficiente cuando se producen flujos excepcionales, obstruyéndose y desbordándose hacia la carretera (A), requiriendo ser descolmatadas periódicamente.



Figura 6.11 Flujos de lodo del 26 de marzo del 2015 que descienden del cerro Chero, cubriendo un tramo de la carretera Tacna-Ilo, km 59+000 - km 63+000, distrito de Sama, con vista al sureste. A un lado de la carretera se aprecia el material removido, luego de la limpieza efectuada en la carpeta asfáltica (A).



Figura 6.12 Flujo de lodo en la quebrada Hospicio (A), aguas abajo se desbordó afectando terrenos de cultivo, distrito de Inclán (B).



Figura 6.13 Avalancha de rocas antigua en el sector de Tomasiri, distrito de Inclán.

• **Derrumbes y caída de rocas (28.34 %):** En segundo lugar, se presentan los derrumbes y caída de rocas con 140 ocurrencias. Las caídas se presentan en muchos sectores de la región, en función al tipo de afectación (substrato rocoso), un gran número de derrumbes y colapsos antiguos tanto en roca como suelo; son comunes en las laderas naturales como cortes de carreteras, muchas veces influenciados por la fuerte pendiente de los taludes, mala calidad del substrato (fracturamiento, meteorización) u orientación desfavorable de las discontinuidades respecto al ángulo del talud. Son frecuentes en frentes montañosos en rocas volcánicas principalmente piroclásticas y lavas, y en menor proporción en secuencia lávica andesítica/dacítica. También, se producen en secuencias sedimentarias como intercalaciones de areniscas, conglomerados con matriz areno-limosa, limolitas y areniscas; en rocas volcánico-sedimentarias como rocas piroclásticas y lahares, tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas y conglomerado polimícticos; y en menor proporción se presentan en rocas intrusivas como dioritas y granodioritas. La región también presenta cobertura glaciar que en los últimos años se ha visto disminuida, condicionando la ocurrencia de desprendimientos en forma de canchales de gelifracción en sus vertientes por efectos del cambio climático y retroceso glaciar que afecta a gran parte de los Andes peruanos.

Los derrumbes se localizan principalmente a lo largo de taludes de corte de carreteras que atraviesan rocas muy fracturadas y de mala calidad como sucede en las carreteras: Costanera (Pampa Ite Sur, cerro Morro Sama), Estique Pampa-Ticaco, tramo Toco Chico-Cambaya, Ilabaya-Camilaca, Tacna-Tarata, en laderas del cerro Intorko, carretera Camiara-Ilabaya, Ticapampa-Curibaya, Tarata-Ticaco y Quilahuani-Candarave, entre otros; en cada periodo lluvioso, donde sus valores de precipitación se encuentran por encima de los valores normales, puede producir el colapso de varios kilómetros del talud superior de la carretera, impidiendo el paso de vehículos y transeúntes. Los principales sectores afectados por caídas son Estique, Susapaya, Tala, Pacuyo en la provincia de Tarata; San Pedro, Patapani, Carapampa, Angostura, Cocache, Cambaya, Camilaca, Quilahuani, Tutupaca, Cotaya Huanuara y Mollebaya, entre otros, en la provincia de Candarave; Toco, Playa Bravo, Pampa Bajas de Ite, Locumba, Matadiablo, Higuerani, Las Américas, entre otros, en la provincia de Jorge Basadre; Caplina, quebrada del Diablo, Asoc. Villa Intorko, Challata, cerro Intiorko, Palanca, entre otros, en la provincia de Tacna (fotografías 6.2 al 6.4 y figura 6.14).



Fotografía 6.2 Derrumbes en talud superior de carretera Locumba-Mirave, sector Huancarane, distrito de Ilabaya, con vista al noreste. Se distingue muros de contención en el talud inferior de la carretera.



Fotografía 6.3 Derrumbes en forma de canchales de detritos en laderas del cerro Borogueña, km 1+000 - km 2+250 de la carretera Cambaya-catarata Panina, margen derecha del río Camilaca, distrito de Camilaca.



Fotografía 6.4 Caída de rocas en la Asociación de Vivienda La Florida, margen izquierda de la quebrada del Diablo, distrito de Tacna, con vista al este. Se distingue varias familias de discontinuidades en las rocas que generan roturas planares y en cuña.



Figura 6.14 Caída de rocas en la Asociación Villa Intiorko, en el talud superior (A) e inferior (B) de la carretera Tacna-Tarata.

Deslizamientos rotacionales y traslacionales (4.65 %): Con 23 ocurrencias, tiene un área de afectación mayor que otros peligros, y un importante número de procesos antiguos y recientes. Los deslizamientos identificados en el área son antiguos y los que se encuentran reactivados involucran en su mayoría formaciones superficiales (aluviales, coluviales, deluviales), así como también al substrato rocoso muy fracturado y alterado; muchos de los deslizamientos hoy activos son procesos antiguos, reactivados o acelerados en su actividad en los últimos años, que se encuentran comprometiendo litologías de todos los tipos como: sedimentarias (areniscas con intercalaciones de lutitas carbonosas, calizas con areniscas cuarzosas), volcánico-sedimentarias (rocas piroclásticas, lavas con intercalaciones de areniscas tobáceas y conglomerados) y volcánicas (depósitos de flujos de pómez y ceniza, depósitos ingimbríticos), entre otros, con poca área y volúmenes comprometidos hasta configurar verdaderos megadeslizamientos, como los que se encuentran en los sectores Huanuara, Camilaca, Curibaya, Candarave, Larampuquio, Cairani, Yarabamba, Pallata, Talaca, Matarani y Quilahuani en la provincia de Candarave, entre otros (fotografías 6.5 al 6.6 y figura 6.15).

Las causas principales de estos megadeslizamientos son rocas de mala calidad, conformadas principalmente por flujos piroclásticos alterados, inestables si se saturan de agua, pendiente del terreno, filtración de aguas superficiales, por canales de riego y escorrentía sin tratamiento de impermeabilización el mal uso de riego; la deforestación de la zona que permite la filtración de agua al subsuelo, socavamiento de río al pie de las laderas y la actividad neotectónica.

En el caso particular de Quilahuani, se trata de un megadeslizamiento que presenta una corona de forma irregular y continua, con longitud aproximada de 10 km, cuyo depósito llegó hasta modificar el cauce del río Callazas, los cuales presentan un comportamiento muy activo por efecto principalmente de las

filtraciones de agua del riego desmesuando y factores intrínsecos como litología, geomorfología, hidrogeológicos y la actividad neotectónica.

En su mayoría son del tipo rotacional (13), presentando escarpas antiguas semicirculares a rectas del orden de pocas centenas de metros a kilómetros de longitud. Solo algunas cicatrices o escarpas se aprecian en la ladera, pero ya cubiertas por las zonas agrícolas y andenerías; sin embargo, sí ocurrieron movimientos en masa en el pasado.

Movimientos complejos (2.43 %): Este tipo de proceso tiene 12 ocurrencias inventariadas en la región. Los movimientos complejos identificados involucran en su mayoría rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias como lavas, tobas con lodolitas areniscas y arcillitas. Agrupan las ocurrencias combinadas de eventos de deslizamiento-flujo, derrumbe-flujo u otro movimiento en masa de carácter complejo como los ocurridos en los sectores de Cambaya, Curibaya, San José de Poquera, Huanuara en la provincia de Candarave, San José de Poquera en la provincia Jorge Basadre, entre otros (figura 6.16).

En el caso particular de Curibaya, este megadeslizamiento se produjo como reactivación de un depósito antiguo de remoción en masa que represó la laguna Aricota, cuyo depósito llegó hasta el campamento Shintari.

Vuelcos (0.61 %): Finalmente, se tienen los procesos de vuelcos con tres ocurrencias inventariados en el talud superior de la carretera Tacna-Palca, km 43+000 al 49+500 en la provincia Tacna; en el sector Estique Pampa que se produce en la provincia de Tarata y en la margen derecha del río Curibaya, talud superior del tramo Chulibaya-San José en la provincia Jorge Basadre.

Se presentan principalmente en rocas volcánicas como lavas e ignimbritas de las formaciones Chocolate, Quellaveco y el Grupo Barroso (figura 6.17).



Fotografía 6.5 Vista Panorámica del deslizamiento de Camilaca, distrito de Camilaca, con vista al suroeste.



Fotografía 6.6 Deslizamiento de Talaca, distrito de Candarave, con vista al suroeste.

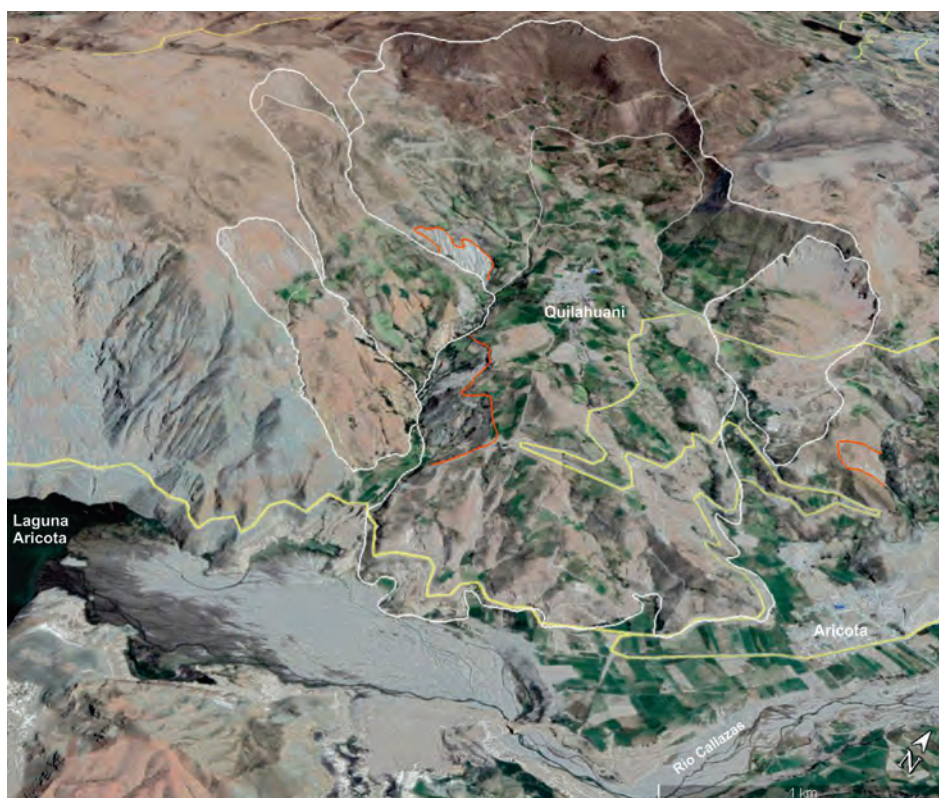


Figura 6.15 Deslizamiento de Quilahuani con reactivaciones en la margen derecha del río Callazas, distrito de Quilahuani. Vista del Google Earth.



Figura 6.16 Movimiento complejo (deslizamiento-flujo de detritos) en el sector Curibaya (línea de color naranja) como reactivación de los mega deslizamientos antiguos que represaron el río Curibaya dando origen a la laguna Aricota, distrito de Curibaya.



Figura 6.17 Vuelcos originados en ignimbritas del Barroso con disyunción columnar, margen izquierda del río Tarucachi, sector Estique Pampa, con vista al suroeste.

6.4.1.1 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), los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

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; se determina 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 que suele suponer que el comportamiento futuro de la ladera seguirá las mismas pautas que sigue en el presente (Ayala & Olcina, 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 los mapas obtenidos de datos instrumentales (Corominas, 1987). Los diferentes métodos están agrupados dentro de cuatro grandes grupos principales: determinísticos, heurísticos, probabilísticos y geomorfológicos.

Para determinar los grados de susceptibilidad a los movimientos en masa a escala regional en la región Tacna, se ha utilizado el método basado en la categorización y ponderación de factores (método heurístico, indirecto y cualitativo), cuyo objetivo principal es indicar y priorizar zonas donde las condiciones existentes hacen más probable la ocurrencia de movimientos en masa.

El proceso de elaboración se inicia con la captura de los factores (mapas temáticos) relacionados con la ocurrencia de estos fenómenos, los cuales son procesados en un software GIS para poder obtener los modelos de susceptibilidad. El inventario de movimientos en masa sirve para validar los modelos generados.

Factores condicionantes de la inestabilidad y determinación de su peso en la ocurrencia de los movimientos en masa

Los factores usados para el modelamiento de la susceptibilidad a los movimientos en masa han sido la pendiente del terreno, la geomorfología, litología, hidrogeología (permeabilidad de las rocas), la cobertura vegetal y uso del suelo.

De acuerdo con las observaciones de campo, a cada factor se le asigna un peso porcentual de forma cualitativa, según cómo se considera que influyen en la inestabilidad de los terrenos; esto basado principalmente en la experiencia del geólogo encargado de hacer el estudio de susceptibilidad. Es así que este valor o

peso, representa en cuánto influye dicho factor en la generación de movimientos en masa.

En el cuadro 6.2 se presentan los pesos en porcentaje asignados a cada uno de los factores usados en el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa para la región Tacna. La valoración de estos parámetros se han realizado de acuerdo a la influencia beneficiosa de cada subunidad de los mapas factores a la ocurrencia de movimientos en masa; en el cuadro 6.3 se presentan estos pesos. Esto permitió zonificar la región en cinco rangos de susceptibilidad desde muy alta a muy baja (mapa 7).

Cuadro 6.2
Ponderación de variables temáticas

Variable	Descripción	Obtención	Peso
Pendiente (P)	Seis rangos de pendiente de los terrenos, expresado en grados (0° a 90°).	Modelo Digital de elevaciones, elaborado con SIG a partir de mapas topográficos a escala 1:100 000 con equidistancia de curvas cada 50 m (mapa 3).	20
Geomorfología (G)	Unidades geomorfológicas de acuerdo con su amplitud de relieve, altura relativa, pendiente y asociación morfogénica.	Interpretación de Imágenes satelitales, cartas topográficas y chequeo de campo a escala 1:100 000 (mapa 4).	28
Litología (L)	Se estima la inestabilidad de los terrenos en función a las características litológicas de las unidades diferenciadas (substrato rocoso y depósitos inconsolidados), considerando además sus características estructurales y/o geomecánicas.	En base a los mapas geológicos a escala 1: 100 000 de la carta geológica nacional (mapa 2).	27
Cobertura vegetal y uso de suelo (CV)	Diferentes tipos de vegetación natural y cultivos. Se estima en forma cualitativa de acuerdo con la presencia o ausencia de cobertura vegetal. Se incluyen las áreas urbanas, lagunas y embalses.	En base al mapa de cobertura vegetal y uso de suelo (MINAM, 2012) a escala 1: 1 000 000, mapas topográficos actualizados a escala 1: 100 000 del IGN (mapa 1).	10
Unidades Hidrogeológicas (H)	Diferenciación de unidades litológicas en función de su permeabilidad (acuíferos porosos, acuíferos fisurados, acuitardos y acuifugos).	Con la información geológica y la base del Mapa Hidrogeológico de Perú a escala 1: 1 000 000 y la utilización de información hidrogeológica de cuencas y de sectores de piso de valle. (mapa 5)	15

Cuadro 6.3
Unidades consideradas para determinar la susceptibilidad a los movimientos en masa en la región Tacna

Factores	Susceptibilidad a movimientos en masa				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pendiente	< 1°	1° - 5°	5° - 15° > 45°	15° - 25°	25° - 45°
Geomorfología	Actividad minera Altiplanicie sedimentaria Altiplanicie disectada sedimentaria Bofedales Cauce de río Humedales Llanura o planicie aluvial Lagunas y cuerpos de agua Mesetas, cloinas y lomas volcanoclasticas y volcanos- sedim. Terraza aluvial Terraza indiferenciada Valle de represamiento	Coladas y campo de lavas basalto- andesíticas Domo volcánico Mantos de arena Planicies de travertino Planicies y valles aluviales con terrazas indiferenciadas Superf. con flujo piroclástico Terraza baja aluvial Terraza marina	Montañas en roca intrusiva Montañas y colinas en roca intrusiva Colinas y lomas en roca intrusiva Complejo fisural volcánico Complejo volcánico Depósito antrópico Estratovolcán Superficie con flujo piroclástico disectado Abanico de piedemonte Meseta ignimbritica Morrenas Vertientes aluviales o fluvio-glaciares con bofedales Vertiente o piedemonte aluvial; aluvio-torrencial Faja litoral	Cráter y/o caldera volcánica Colina en roca sedimentaria Colina o lomada piroclástica Montañas en roca volcánica, sedimentaria y con cobertura glaciar Montañas y colinas en roca metamórfica, sedimentaria y volcánica Ladera con flujo de lava asociada a estratovolcán Ladera con flujo piroclástico Ladera de montaña en roca intrusiva y sedimentaria Colina y lomada disectada en roca sedimentaria Colinas y lomas en roca sedimentaria y volcánica Vertiente coluvial de detritos Vertiente glacio-fluvial	Montañas y colinas en roca volcánico-sedimentaria Colinas y lomas en roca volcano-sedimentaria Colina y lomada en roca volcano-sedimentaria Vertiente coluvial de detritos Vertiente coluvio-deluvial Vertiente con depósito de deslizamiento Vertiente de gelificación

Continuación...

Factores	Susceptibilidad a movimientos en masa				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pendiente	< 1°	1° - 5°	5° - 15° > 45°	15° - 25°	25° - 45°
Litología		Depósito fluvial Deposito lacustrinos/bofedales Deposito químico/travertino/pozo de lodo Pórfidos, hipabisales	Andesitas basálticas Areniscas cuarzosas Areniscas y lutitas Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas Depósito aluvial; glaciar/fluvioglacial Depósito volcánico y volcanoclástico Dioritas, tonalitas, gabrodioritas y gabros Esquistos y esquistos micáceos/milonitas Gneis Granitos y monzogranitos: granodioritas Rocas piroclásticas y lavas Rocas piroclásticas, lavas, tobas dacíticas y andesitas intercaladas con areniscas, limolitas y conglomerados R. piroclásticas, lahares y lavas, tobas dacíticas y andesitas con areniscas, lutitas y conglomerados Secuencia lávica andesítica/dacítica	Depósito residual Depósito eólico Depósito marino Depósito antropógeno Rocas piroclásticas	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas, lutitas y niveles de yeso Depósito coluvio-deluvial Depósito proluvial

Continuación...

Factores	Susceptibilidad a movimientos en masa				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pendiente	< 1°	1° - 5°	5° - 15° > 45°	15° - 25°	25° - 45°
Cobertura Vegetal y uso de suelo	Actividad minera Áreas urbanas Desierto costero Humedal Lagunas, ríos y reserv. de agua	Loma	Andesitas basálticas Areniscas cuarzosas Areniscas y lutitas Calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas Depósito aluvial; glaciar/fluvioglacial Depósito volcánico y volcanoclástico Dioritas, tonalitas, gabrodioritas y gabros Esquisto y esquisto micáceo/milonitas Gneis Granitos y monzogranitos; granodioritas Rocas piroclásticas y lavas Rocas piroclásticas, lavas, tobas dacíticas y andesitas intercaladas con areniscas, limolitas y conglomerados R. piroclásticas, lahares y lavas, tobas dacíticas y andesitas con areniscas, lutitas y conglomerados Secuencia lávica andesítica/dacítica	Agricultura costera y andina Matorral arbustivo Glaciar	
Hidrogeología			Acuífero fisurado sedimentario y volcánico Acuífero sedimentario	Acuífero poroso no consolidado Acuitardo intrusivo, subvolcánico, volcánico y volcánico-sedimentario y en zonas de alteración	Acuitardo sedimentario Acuífugo metamórfico

Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa

Los grados de susceptibilidad se obtuvieron a partir de las interacciones entre los cinco mapas de factores temáticos (pendientes, litología, geomorfología, cobertura vegetal y uso de suelo e hidrogeología), con ayuda del GIS (ARCGIS 10.4.1 y los softwares Spatial Analyst y 3D Analyst), empleando la siguiente ecuación:

$$SMM = \frac{SCV (0.10) + SH (0.15) + SG (0.28) + SP(0.20) + SL(0.27)}{5}$$

En donde:

SCV : Susceptibilidad del parámetro Cobertura vegetal y uso de suelo

SH : Susceptibilidad del parámetro Hidrogeología

SG : Susceptibilidad del parámetro Geomorfología

SP : Susceptibilidad del parámetro Pendiente

SL : Susceptibilidad del parámetro Litología

Muy baja susceptibilidad

Los terrenos calificados con este grado de susceptibilidad tienen como principal condicionante de su relativa estabilidad, que presentan, en general, una topografía plana algo ondulada con pendientes bajas a muy bajas (menor a 1°, en algunos casos hasta 5°); se tienen depósitos superficiales de materiales inconsolidados de tipo aluvial, bofedal, lacustre y eólicos acomodados en terrenos muy planos; el substrato rocoso se encuentra constituido por rocas volcano-sedimentaria de la Formación Capillune constituida de areniscas tobáceas, tobas y conglomerados.

Constituyen terrenos con laderas de inclinación llana; con morfologías de altiplanicies sedimentarias, altiplanicies disectadas sedimentarias, vertiente glaciofluvial, piedemonte aluvial, superficie de flujo piroclástico, terrazas aluviales, humedales, mantos de arena acumulados en zonas planas y en laderas de poca pendiente y altura (no se tiene en cuenta en esta descripción problemas por licuación de suelos, tampoco se descarta la generación de flujos de material fino ante la presencia de lluvias en los bordes de los mantos de arena y en zonas inclinadas).

Generalmente, se trata de zonas desprovistas de vegetación, correspondientes al desierto costero, pajonal altoandino y en zonas donde se desarrolla agricultura costera y andina. Las unidades hidrogeológicas son del tipo acuífero poroso no consolidado y acuitardo volcánico sedimentario. Los movimientos en masa son inexistentes o muy raros, ya que las características intrínsecas de los terrenos (principalmente la pendiente, que es el factor que condiciona la susceptibilidad en estas zonas) hacen

difícil su ocurrencia; esto no significa que no se puedan producir de forma local, cuando se altera la estabilidad de colinas bajas por cortes realizados en sus laderas. Estos terrenos se pueden considerar relativamente estables.

Esta zona de muy baja susceptibilidad también puede ser alcanzada por las porciones terminales o frentes de flujos de detritos (huaicos) o lodo y flujos de agua, generados en zonas ubicadas a mayor altitud; los materiales acarreados por estos flujos se depositan en estas zonas planas.

Es imprescindible realizar en esta zona una evaluación por procesos geohidrológicos circundantes (inundación y erosión fluvial), en las áreas de escorrentía, generación de flujos u otros movimientos en masa, en sus zonas marginales, así como realizar estudio por licuación de suelos.

Esta área ocupa el 4.33 % de la superficie total de la región y en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa está representada con un color verde oscuro. Dentro de estas áreas se encuentran las planicies costeras de la región Tacna, cubiertas en grandes extensiones por mantos de arena eólica; en esta zona se encuentra trazada varios tramos de la carretera Panamericana Sur y de la carretera Costanera; la línea férrea del ferrocarril del sur y lomadas Escritos, La Aguada y Gallinazos del distrito de Tacna, entre otros, en las zonas altoandinas en el sector Pampa Huarincalani al noreste de la laguna Suches.

Baja susceptibilidad

La totalidad de las condiciones intrínsecas del terreno analizadas para cuantificar la susceptibilidad no son propensas a generar movimientos en masa; sin embargo, como se verá en la descripción, existe un parámetro o factor que influye considerablemente en la definición de las zonas con baja susceptibilidad; en este caso es la pendiente de los terrenos.

Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada con pendientes bajas a medias (de 1° hasta de 15°) en algunos sectores (laderas de colinas de baja altura); se tienen depósitos de materiales superficiales aluviales, lacustrinos, marinos, acumulaciones de arena, residuales, antropógeno, volcánico y volcanoclásticos; el substrato está constituido por rocas volcánicas constituidas por ignimbritas riolíticas; rocas sedimentarias constituidas por conglomerados, areniscas, limolitas, entre otros. La cobertura vegetal está representada por zonas agrícolas, localizadas a lo largo de valles; en menor proporción en pajonal altoandinos; el resto de territorio clasificado bajo este rango de susceptibilidad corresponde al desierto costero. Las unidades hidrogeológicas comprometidas son los acuíferos porosos no consolidados, acuíferos volcánicos, acuíferos fisurados, acuitardos volcánico sedimentario, principalmente.

Se incluyen las unidades geomorfológicas de altiplanicie sedimentaria, piedemonte aluvial, mantos de arena acumulados en zonas planas y en laderas de poca pendiente y altura (no se tiene en cuenta en esta descripción problemas por licuación de suelos; **tampoco se descarta la generación de flujos de material fino ante la presencia de lluvias en los bordes de los mantos y en zonas inclinadas**), **superficie de flujo piroclástico**; finalmente, se tiene las colinas y lomadas modeladas en rocas sedimentarias.

En esta zona se localizan obras de infraestructura vial muy importantes (algunos tramos de la carretera Panamericana Sur, que pasan por las Pampa Sitana, quebradas Cerro Gordo, Pedregal, Estación Hospicio, entre otros), las cuales resultan **dañadas por flujos o corrientes de agua con carga sólida constituida principalmente por material fino, originados en zonas de mayor altitud, durante periodos de lluvia extraordinaria**. Asociado a estas lluvias extraordinarias se dan procesos de erosión en márgenes de quebradas y ríos que afectan directamente a puentes, pontones y alcantarillas. También se pueden producir derrumbes y deslizamientos en taludes locales, los cuales no son diferenciados en el análisis por el factor de escala, consecuencia directa de la base topográfica utilizada como en el sector Pampa Ite Sur (km 82+090 al km 90+000 de la vía Costanera).

Esta área ocupa el 25.43 % de la superficie total en la región y en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa está representada con un color verde claro. Estas áreas comprenden los abanicos aluviales de los ríos Caplina, Sama y Locumba. Dentro de esta zona se tienen los poblados Pampa de Julia, Pampa Platanillo en el distrito de Inclán; Vila Vila, Boca del Río, Llostay, entre otros, en el distrito de Sama; La Yarada, Los Olivos, San Antonio, Los Palos, entre otros, en el distrito La Yarada-Los Palos; Viñani, 24 de Junio, entre otros, en el distrito Gregorio Albarracín, Camiara en el distrito Locumba; sectores lomadas Escritos, La Aguada, Gallinazos, Espíritus y El Camaleón en el distrito de Tacna, entre otros. En la zona altoandina, estas áreas comprenden las pampas Huaytire, Patjata y Huarincalani alrededor de la laguna Suches y Jucure en el distrito de Tarata, entre otros.

En esta zona se puede permitir el desarrollo de infraestructura siempre y cuando se incorporen las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto o adaptarse a las condiciones del terreno.

Media susceptibilidad

Presentan algunas condiciones que pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes bajas a medias (5° – 15°), se tiene depósitos de material superficial aluvial, proluvial, coluvial, glaciares, fluvioglaciares y acumulaciones de arena; el substrato está conformado por rocas intrusivas conformadas por dioritas, granodioritas y dioritas de

la Superunidad Ilo; rocas volcánicas (tobas ignimbritas, tobas riolíticas y tobas retrabajadas, andesitas y piroclastos); estas rocas se encuentran fracturadas y alteradas (meteorizadas) por efectos del clima. Las unidades hidrogeológicas que favorecen a la susceptibilidad son los acuíferos porosos no consolidados, acuíferos fisurados; acuitados volcánicos sedimentarios e intrusivos, entre otros.

Se incluyen dentro de esta zona a las unidades geomorfológicas de montañas, colinas y lomadas, piedemontes, mantos de arena, **vertientes glaciofluviales, complejo volcánico, laderas con flujo de lava asociada a estratovolcán y en los bordes de la superficie de flujo piroclástico disectado, entre otros**. Se encuentran cubiertas por vegetación de agricultura costera en zonas de valles y abanicos aluviales, matorrales, lomas y en mayor porcentaje se tiene al desierto costero, que favorece los procesos de erosión **de laderas y flujos cuando se registran lluvias después de largos periodos de sequía**, y otras áreas sin cobertura vegetal como periglaciares. Los derrumbes ocurren localmente hacia la cara libre de las quebradas y cursos de ríos principales, por la socavación lateral producida por los caudales que discurren por sus cauces. En los acantilados formados por el borde de los abanicos aluviales constituido de conglomerados. En colinas y lomadas modeladas en rocas volcanosedimentarias que bordean el litoral en el Morro Sama, se producen derrumbes y deslizamientos por desestabilización de acantilados (> 45°) a efecto de la erosión marina en la base.

Estas áreas catalogadas de susceptibilidad media pueden ser afectadas por movimientos en masa (cuando existe alteración o desequilibrio de laderas y taludes generados por actividad antrópica), pero generalmente permanecen estables por largos periodos de tiempo, mientras no se presente un detonante (lluvias frecuentemente) que los active. Estas áreas también se encuentran circundando áreas de susceptibilidad baja, donde hacia los márgenes de la planicie disectada se producen pequeños derrumbes, deslizamiento y procesos de erosión de laderas que pueden afectar toda infraestructura que se encuentre cerca a estos bordes.

Estas áreas también pueden resultar dañadas por los flujos de agua, lodo y detritos originados en zonas de mayor altitud, durante periodos de lluvia extraordinaria; se debe tener en cuenta que **muchos de estos flujos se forman en zonas de susceptibilidad alta a muy alta**, y las áreas más afectadas resultan ser las zonas bajas de pendiente suave a moderada, donde llegan y se depositan los **materiales acarreados por estos flujos**. Asociado a estas lluvias extraordinarias se dan procesos de erosión en márgenes de quebradas y ríos que afectan directamente a puentes, pontones y alcantarillas.

Esta área ocupa el 33.04 % de la superficie total de la región y están representados en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con color amarillo. Dentro de esta zona se ubican las localidades de Ite, La Banda, Nuevo Copare, Intiorko, Pachía, Domingo Nieto, Pampamolina, Santa Lucía, Chuñave, Calaparque, Tulupampa, Taruja y principalmente las laderas de los cerros y nevados que conforman la Cordillera del Barroso; también, se encuentra trazada parte de la carretera Panamericana Sur (cerro Chapolla, pampas de Sama, del Pedregal, de Layagache, entre otros) y algunos tramos de la vía férrea Tacna-Arica, Costanera y carreteras de penetración a las regiones Moquegua y Puno.

Es probable que cuando se construyan obras de infraestructura en estas áreas, se generen movimientos en masa, por lo que se recomienda conocer en detalle las propiedades de los terrenos para tomar decisiones respecto a la viabilidad del desarrollo de infraestructura urbana e industrial.

Alta susceptibilidad

En esta zona confluyen la mayoría de las 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 en la Cordillera Occidental.

Estas áreas comprenden topografías con rangos de pendiente muy amplio, que van de suaves a muy fuertes (5° - 30°), se tienen depósitos de material superficial inconsolidado de tipo proluvial, aluvial, coluvio-deluvial eólico, glacial y morrénico; el substrato rocoso está conformado por rocas sedimentarias (formaciones Moquegua, Gramadal, Hualhuani, Socosani, Millo, etc.), rocas volcánicas (formaciones Huayillas, Huilacollo, Tarata, Guanero superior, Grupo Barroso); rocas volcánico-sedimentarias (formaciones Guanero inferior, Chocolate, Matalaque, Quellaveco); rocas metamórficas (Complejo Basal de la Costa) y rocas intrusivas (granodioritas, granito, monzogranitos, dioritas de la unidad Yarabamba) que se encuentran muy alteradas, afectadas por disyunción esferoidal y disgregación granular; también, se encuentran muy fracturadas por el tectonismo y el fallamiento sufrido.

Se incluyen dentro de esta zona las unidades geomorfológicas de montañas modeladas en rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias; montañas y colinas en roca sedimentaria, intrusivas, volcánicas volcano-sedimentarias; laderas con flujo piroclástico; colinas y lomadas disectadas en roca sedimentaria y volcano-sedimentaria; vertientes o piedemontes coluvio-deluviales y aluvio-torrenciales (incluye abanicos de flujos

de detritos), vertientes glaciares, vertientes con depósitos de deslizamientos, mantos de arena acomodados en laderas de pendiente media a fuerte. Se encuentran cubiertas por vegetación de tipo matorral disperso y pajonal altoandino, periglacial, lomadas; el área restante lo constituye el desierto costero. Las unidades hidrogeológicas comprometidas son los acuíferos porosos no consolidados, acuíferos sedimentarios; acuíferos fisurados volcánicos; acuitados volcano-sedimentarios, intrusivos y acuíclados, entre otros.

Los procesos de erosión de laderas ocurren principalmente en las laderas de las cabeceras de los valles (tipo surcos), así mismo los materiales sueltos que se acumulan en estas quebradas durante los periodos de sequía, son movilizados por los flujos de detritos que se originan con lluvias extraordinarias; estos materiales configuran conos de deyección en la planicie costera y son afectados recurrentemente por nuevas reactivaciones.

Esta área ocupa el 25.13 % de la superficie total en la región y están representados en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con color anaranjado. Dentro de esta zona se localizan los poblados de Santa Cruz, Cinto, Ticapampa, Ilabaya y un sinnúmero de poblados que se encuentran asentados sobre abanicos de flujos de detritos (huaicos) emplazados en todos los valles que atraviesan la región Tacna, así como las quebradas que pasan por la ciudad de Tacna como las quebradas del Diablo y Caramolle. También, se tiene varios tramos de la carretera Costanera y varias carreteras de penetración hacia la sierra de Moquegua y Puno.

Estas áreas son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa (caídas de rocas, derrumbes, movimientos complejos, flujos de lodo, flujos de detritos y procesos de erosión de laderas); la susceptibilidad de esta zona aumenta por la escasa cobertura vegetal, ya que principalmente se tiene desierto costero en toda esta unidad; además, se encuentra una gran cantidad de derrumbes a lo largo de los taludes de corte de la carretera que desestabilizan las laderas.

Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones o esta debe de ser muy bien planificada y contar con sus respectivos estudios de zonificación por peligros geológicos a escala local. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deben de realizar estudios geotécnicos de detalle.

Muy alta susceptibilidad

Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Se concentran zonas donde ocurrieron deslizamientos en el pasado (Quilahuani, Aricota, Camilaca, Tomasiri, entre otros); también, se tienen ocurrencias

recientes que se encuentran actualmente en un estado de latencia alta.

Estas áreas presentan pendientes fuertes a muy fuertes ($>15^\circ$), compromete suelos coluviales derivados de antiguos movimientos en masa, también depósitos proluviales, coluvio-deluviales; el substrato está conformado por rocas sedimentarias de las formaciones Moquegua, Socosani, Millo, Sotillo, entre otras; rocas metamórficas (gneis, esquistos del Complejo Basal de la Costa); rocas volcánicas (tobas de la Formación Huaylillas); rocas volcánico-sedimentarias de las formaciones Chocolate, Quellaveco, entre otras); rocas intrusivas (granodioritas, tonalitas, granitos, monzogranitos y dioritas). Estas rocas se encuentran muy fracturadas y meteorizadas a suelos de tipo arcillolimoso y arenolimoso; la meteorización en rocas intrusivas es de tipo disyunción esferoidal y disgregación granular. Las unidades hidrogeológicas comprometidas son principalmente los acuitados, acuíferos fisurados en menor proporción se tienen a los acuíferos y acuícludos.

Se incluyen dentro de esta zona a las unidades geomorfológicas de montañas y colinas modeladas en rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas, volcánico-sedimentarias e intrusivas, montañas en roca sedimentaria; montañas en roca volcánica, colinas y lomadas disectadas en roca sedimentaria, piedemontes coluviales, vertientes de los valles con fuerte pendiente (ríos Locumba, Quebrada Santallana, Ilabaya, Arunta, Caplina, Uchusuma, etc.); vertientes con depósitos de deslizamiento que incluso llegaron a cerrar y cambiar el curso de los ríos Salado, Camilaca, Curibaya, entre otros, las cuales se encuentran descubiertas o la vegetación es escasa de tipo matorral, pajonal altoandino y periglacial. El desierto costero domina en esta zona.

En estas zonas se presentan procesos de erosión de laderas y movimientos en masa (derrumbes y caídas principalmente) que aportan material suelto a las quebradas, que son posteriormente acarreados y forman flujos de detritos cuando se presentan lluvias en estas zonas que permanecen secas por largos periodos como es el caso de Mirave, Caramolle. Los taludes de corte de carretera presentan problemas de derrumbes y caídas de rocas por el alto grado de fracturamiento de la roca y la elevada pendiente de las laderas, a las cuales se les puede considerar inestables.

Esta área ocupa el 12.07 % de la superficie total de la región y están representados en el mapa de susceptibilidad los movimientos en masa con color rojo. En esta zona se encuentran

trazados varios tramos de carretera Costanera (Morro Sama, cerro Chero, entre otros); esta vía es una alterna a la carretera Panamericana Sur que permiten el acceso hacia los diversos poblados portuarios de la costa sur peruana desde Camaná (Arequipa) hasta llegar a la ciudad de Tacna. Los tramos de carretera de acceso al campamento Toquepala, carretera Camiara-Locumba-Ilabaya-Cambaya-Camilaca, Ticampa-Curibaya, Chero-Guacano-Tarata-Candarave, Huanune Chico-Palca Ataspaca.

En esta zona se debe prohibir el desarrollo de toda infraestructura sin el conocimiento geológico detallado previo. Son necesarios los estudios geológicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción de infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puente, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana.

6.4.2 Peligros geohidrológicos

Dentro de este tipo de peligros se han considerado la inundación fluvial, lagunar y erosión fluvial o de riveras. 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 y erosión o socavamiento en las riberas o márgenes aluviales (terrazas), o procesos combinados⁴. En la región Tacna, representan el 10.67 % del total de peligros inventariados.

Erosión fluvial

Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos, socavando los valles, profundizándolos, ensanchándolos y alargándolos (Dávila, 1999). Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas precipitaciones pluviales, 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.

Los factores más importantes para la ocurrencia de erosión fluvial son la cobertura vegetal, la geomorfología 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

⁴ 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; en este caso es 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.

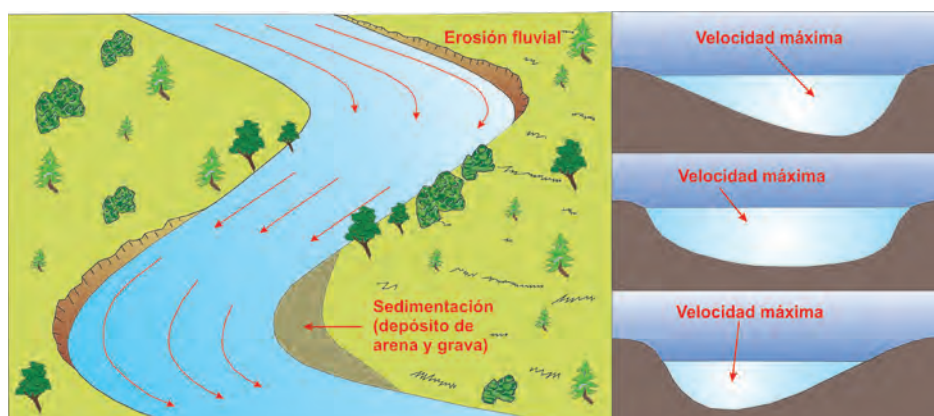


Figura 6.13 Avalancha de rocas antigua en el sector de Tomasiri, distrito de Inclán.

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 de este recibe por sedimentación la misma cantidad de materiales que pierde por erosión (figura 6.18).

Inundaciones

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 precipitaciones intensas, las terrazas bajas, la dinámica fluvial y en algunos casos la deforestación.

Las zonas inundables son aquellas que durante eventos 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. Por tanto, son "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de estas exceden 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, es 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 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; en este caso es 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.

Los sectores en donde se generan estos procesos son variables, siendo la morfología 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 eventos 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).

Frecuencia de ocurrencia a erosión fluvial e inundaciones

El análisis estadístico en la ocurrencia de peligros geohidrológicos inventariados (67 ocurrencias) se aprecia en los gráficos 6.6 y 6.7; se muestran las erosiones fluviales en primer lugar (47) e inundación fluvial (20). Estos procesos pueden presentarse asociados en algunas ocasiones.

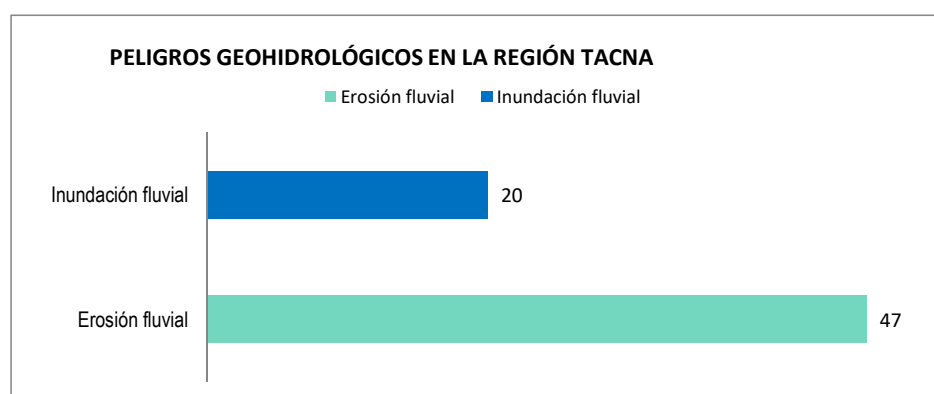


Gráfico 6.5 Ocurrencias de peligros geohidrológicos en el departamento de Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

Las ocurrencias de erosiones fluviales e inundaciones inventariadas en la región Tacna indican una regular frecuencia como se describe a continuación:

Erosiones fluviales (70.15 %): Se presentan en muchos sectores de la región con 47 ocurrencias, las causas principales son las intensas precipitaciones pluviales, ríos meandriformes o morfología del cauce, la dinámica fluvial, pendiente, material del suelo o sustrato en las márgenes, deforestación, ocupación de áreas susceptibles, falta de defensas ribereñas, mal diseño de puentes (longitud, luz y estribos) y mala ubicación de estructuras.

Durante los periodos de lluvia, cuando los ríos presentan caudales extraordinarios (de agua y de escurrimiento superficial), tienden a desgastar la ribera o cauce natural del río y propician la inundación de áreas agrícolas/ urbanas etc. Son factores que coadyuvan a este fenómeno la mayor o menor pendiente de cauce, material de arrastre (vegetales, rocas, arena, etc.) y falta de vegetación ribereña natural. Este fenómeno se produce con relativa frecuencia en la región, como el caso de los sectores de Aricota, Candarave, etc., en la provincia de Candarave; Chejaya, Cocal, tramos de carretera Locumba-Illabaya, Curibaya-Illabaya, en los estribos de los puentes Sagollo, Mal Paso, Chipe, Francisco Antonio de Zela, Mariscal Miller, Camiara, entre otros, en la provincia de Jorge Basadre; quebrada Arunta, Puquio, Los Sauces, Cerro Blanco, 6 de Julio. Peschay, Fuerte de Españoles, Defensa Patria, Pampa Molino, en la provincia de Tacna, por citar algunos ejemplos (fotografías 6.7 al 6.9).

En la mayor parte de estos sectores se encuentran asociados con inundaciones; las áreas inundables se producen en el curso

inferior del río y la erosión fluvial en el exterior de la curva donde la velocidad de la corriente de agua es mayor. Ejemplos son los sectores de Jirata, Inchupalla, La Pachana, Chulune, Toco Chico, Fundo Huancarane, Cuilona, Calientes, Calana, donde ha sido necesario efectuar obras de arrimado de material, o encauzar el río con gaviones, muros o enrocados o pilotes de concreto para controlar estos procesos.

Inundaciones fluviales (29.85 %): Con 20 ocurrencias inventariadas. La primera está relacionada a los valles principales de los ríos Cinto, Locumba, Illabaya, Curibaya, Maure, Illabaya, Caño, Sama y por sus tributarios, entre otros. Cuando se producen lluvias estacionales en forma eventual o periódica, debido a que la gran cantidad de precipitación caída en zonas de montaña al concentrarse en los cursos de ríos y quebradas sobrepasa sus capacidades de carga, provoca desbordes e inundación de tierras adyacentes, o relacionados con las variaciones climáticas como el fenómeno El Niño. El ensanchamiento del cauce de un río y la destrucción de parte de la llanura de inundación son resultados frecuentes durante la ocurrencia de estos fenómenos.

Se producen por desbordes de los cauces naturales de las aguas de los ríos, cubren temporalmente las áreas adyacentes (cultivos, ciudades, etc.); en la región de Tacna con cierta frecuencia se producen en Sama Grande, Chironita, Fuerte Arica, Cocotea-La Huaca, Challapalca, Illabaya, Agua Dulce-Viutuña, La Morena, Boca del Río, Flor Bajo, Los Pinos-Tomasiri, Poquera-La Banda, Yarahuay, Sambalay Grande, entre otros (figuas 6.19, 6.20 y fotografía 6.10).



Fotografía 6.7 Erosión fluvial en la margen derecha del río Jaruma en el sector Jirata, distrito de Candarave, con vista al noreste.



Fotografía 6.8 Erosión fluvial que genera derrumbes en la margen izquierda del río Callazas, sector Villacollo, distrito de Quilahuani, con vista al suroeste.



Fotografía 6.9 Erosión fluvial en la margen derecha de la quebrada Arunta, sector Pampa Magollo, distrito de Tacna.



Figura 6.19 Inundación fluvial en ambas márgenes del río Salado, en el sector Sagollo, distrito de Locumba. Terrazas aluviales relativamente altas donde se desarrolla la agricultura y algunas defensas ribereñas (a).



Figura 6.20 Área sujeta a inundación fluvial en ambas márgenes del río Sama (terrazas bajas) entre los sectores Tomasiri y Los Pinos, distrito de Inclán. Se distingue defensas con muro de gaviones (g).



Fotografía 6.10 Área sujeta a inundación fluvial en ambas márgenes del río Sama sector La Angola, distrito de Sama.

6.4.2.1 Susceptibilidad a inundaciones y erosión fluvial

Otro tipo de peligro que afecta con cierta recurrencia el territorio de la región son las inundaciones, que vienen acompañadas de procesos de erosión fluvial; estas se producen por desbordes de ríos de orden mayor (ríos Locumba, Sama, Salado, entre otros) y por activación de cauces de quebradas que permanecen secas muchas veces por largos periodos (quebrada de Mirave, Ticapampa, Caramolle, entre otras), debido a la condición de un clima árido que prima en la región.

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 (IDEAM, 2001).

Por tanto, la susceptibilidad a la inundación es la posibilidad de que un área se inunde en base a las condiciones locales del terreno. La geomorfología es una de las variables fundamentales; la llanura de inundación teóricamente controla: 1) el flujo de agua y la actual configuración de las formas del

terreno (terrazas y cauce); y 2) la distribución de sedimentos fluviales (albardones, terrazas bajas), las que provocarán inundaciones en el futuro. Este análisis geomorfológico de formas del terreno se complementa con información de registros históricos de antiguas inundaciones ocurridas e información topográfica (pendiente del terreno).

En el análisis de susceptibilidad a las inundaciones⁵, en función a la escala de trabajo, se consideran dos variables: rangos de pendiente y unidades geomorfológicas de la región. En forma simultánea, procesos de erosión fluvial ocurren como eventos asociados, generalmente circunscritos a la caja o cauce principal o quebrada limitado por terrazas bajas o altas, donde su fuerza erosiva o socavamiento fluvial es originado muchas veces por la carga de sedimentos (flujos de detritos o huaicos). Esto ocurre anualmente con las avenidas estacionales, y dependiendo de la existencia de una adecuada protección de riberas (defensas con gaviones, muros o enrocados) y del ordenamiento de uso del territorio; se verán afectados terrenos de cultivo (ganados de forma inapropiada al cauce fluvial) sin plataformas o rasantes de carretera en terrazas bajas, u otras estructuras como bocatomas, canales y puentes.

Factores condicionantes de la inestabilidad y determinación de su peso en la ocurrencia de inundaciones

La geomorfología es un aspecto fundamental en el análisis de la susceptibilidad a las inundaciones; esta 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 las formas del terreno y del sistema fluvial debe ser reforzado con información sobre registros históricos de antiguas inundaciones e información topográfica.

El análisis de la susceptibilidad realizado en este estudio representa un enfoque basado en un análisis heurístico-cualitativo (mapa 8), donde prima el conocimiento experto e histórico del lugar que se evalúa, basado en una visión retrospectiva de los eventos acontecidos en la región. El análisis de la susceptibilidad a las inundaciones se basa principalmente en la caracterización geomorfológica, apoyada en la interpretación de imágenes y trabajo de campo, y en la utilización de mapas geomorfológicos y de pendientes. En forma simultánea ocurren procesos de erosión fluvial como eventos asociados, generalmente circunscritos al cauce principal del río o quebrada, limitado por terrazas bajas o altas, donde su fuerza erosiva o socavamiento fluvial es originado muchas veces por la carga de sedimentos (flujos de detritos).

Las variables usadas, así como los pesos ponderados asignados a cada factor, se presentan en el cuadro 6.4. Los pesos y grados de susceptibilidad asignados a las pendientes y a las unidades geomorfológicas con relación a las inundaciones se presentan en los cuadros 6.5. Esto permitió zonificar la región en rangos de susceptibilidad desde alta a muy baja o nula (mapa 8).

Cuadro 6.4
Ponderación de las variables

Variable	Descripción	Obtención	Peso
Pendiente (P)	Seis rangos de pendiente de los terrenos, expresado en grados (0° a 90°).	Modelo Digital de elevaciones, elaborado con SIG a partir de mapas topográficos a escala 1:100 000 con equidistancia de curvas cada 50 m (mapa 3).	40
Geomorfología (G)	Unidades geomorfológicas de acuerdo con su amplitud de relieve, altura relativa, pendiente y asociación morfogenética.	Interpretación de Imágenes satelitales, cartas topográficas y chequeo de campo a escala 1:100 000 (mapa 4).	60

⁵ Se aplica el término de "susceptibilidad a las inundaciones" a los terrenos propensos a sufrir anegamiento, encharcamiento o inundación, como producto del desborde de ríos. Sin embargo, una particularidad de la región es la presencia de amplias áreas con superficies plano-onduladas o plano-depresionadas en la divisoria de aguas continentales. Esta característica permite las condiciones de anegamiento con lluvias pluviales en áreas con pobre drenaje como son las zonas altiplánicas con presencia de bofedales.

Cuadro 6.5

Unidades consideradas y susceptibilidad a las inundaciones en la región Tacna

Factores	Susceptibilidad a inundaciones			
	Muy baja a nula	Baja	Media	Alta
Pendiente	5° - 15° 15° - 25° 25° - 45° > 45°		1° - 5°	< 1°
Geomorfología	Actividad minera Colinas y lomadas en roca intrusiva, sedimentaria, volcano-sedimentaria y volcánica Colinas y lomadas disectadas en roca sedimentaria y volcánica Coladas o campos de lava basalto-andesíticas Colina o lomada piroclástica Colina en roca sedimentaria Complejo volcánico Depósito antrópico Domo volcánico Estratovolcán Ladera con flujo de lava asociada a estratovolcán Ladera de montaña en roca intrusiva y sedimentaria Mantos de arena Montañas en roca intrusiva, sedimentaria, volcánica y con cobertura glaciar Montañas y colinas en roca intrusiva, metamórfica, volcano-sedimentaria, sedimentaria y volcánica Ladera con flujo piroclástico Morrenas Terraza marina Vertiente con depósito de deslizamiento Vertiente coluvio-deluvial Vertiente coluvial de detritos Vertiente de gelifracción	Abanico de piedemonte Cráter/caldera volcánica Faja litoral Meseta ignimbrítica Meseta, colina y lomada volcanoclásticas y volcano-sedimentaria Planicie de travertino Superficie con flujo piroclástico Vertiente aluvial Vertiente glacio-fluvial	Altiplanicie sedimentaria Altiplanicie disectada sedimentaria Llanura o planicie aluvial Vertiente aluviales o fluvioglaciares con bofedales Vertiente aluvio-torrencial	Bofedales Cauce del río Humedales Lagunas y cuerpos de agua Planicies y valles aluviales con terrazas indiferenciadas Terraza aluvial Terraza baja aluvial Terraza indiferenciada Valle de represamiento

Grados de susceptibilidad a las inundaciones

En la región Tacna, las áreas sujetas a inundaciones y erosión fluvial con mayor intensidad están localizadas enteramente en los valles de la vertiente occidental de la Cordillera Occidental de los Andes. Corresponden a valles principales por donde discurren grandes caudales de forma estacional (entre los meses de diciembre-marzo), relacionadas a lluvias estacionales y extraordinarias, así como también en cursos de ríos y quebradas de régimen irregular que se activan de forma extraordinaria; se inundan terrenos bajos (llanuras inundables y terrazas bajas) y erosionan terrazas aluviales.

Asimismo, también, se pueden producir inundaciones en centros urbanos ubicados en terrenos planos, cuando las precipitaciones pluviales son extremadamente intensas y se forman anegamientos o encharcamientos por acumulación de agua, que el terreno o sustrato no puede infiltrar o porque no se cuenta con adecuados sistemas de drenaje.

Los rangos o grados de susceptibilidad fueron calculados estadísticamente de la misma forma utilizada para el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con ayuda del GIS (ARCGIS 10.4.1. y el software Spatial Analyst y 3D Analyst). A partir de los datos arrojados de las interacciones de estos dos mapas y empleando la siguiente ecuación:

$$SI = \frac{SGMI (0.60) + SPI (0.40)}{2}$$

En donde:

SI: Susceptibilidad a inundaciones

SGI: Susceptibilidad del parámetro Geomorfología a las inundaciones

SPI: Susceptibilidad del parámetro Pendiente a las inundaciones

La caracterización de los diferentes rangos de susceptibilidad a las inundaciones (mapa 8), y su distribución en la región Tacna se describe:

Nula

Esta zona corresponde principalmente a las vertientes de laderas de pendientes muy inclinadas y convexas de montañas, colinas y lomadas; también, en zonas de montaña con cobertura glaciaria y terrazas antiguas elevadas. Esta abarca la mayor superficie de la región con un 67.60 % del área total de la región.

Baja susceptibilidad

Terrenos bajos adyacentes a la llanura de inundación, terrazas, valles fluviales y ríos secundarios, vertientes de suave inclinación, donde la topografía configura terrenos cóncavos como calderas,

planicies conformadas por material piroclástico, entre otros, que pueden acumular agua. Terrenos levemente inclinados (hasta 15°) como las cimas de las mesetas, abanicos de piedemonte, mal drenados son inundados en periodos de lluvia excepcional. También, en morrenas y cuerpos de deslizamientos antiguos de gran dimensión en los cuales se forman concavidades, conformadas por materiales impermeables que favorecen la acumulación de agua de escorrentías de corto recorrido y de precipitación pluvial. Esta zona representa el 21.21 % de la superficie total de la región.

Media susceptibilidad

Inundaciones con precipitaciones ocasionales y extraordinarias a lo largo de terrenos bajos adyacentes a la llanura de inundación, conformado por terrazas bajas, altiplanicies, torrenteras y abanicos aluviales de baja pendiente son zonas mal drenadas o con poca capacidad de infiltración. También, se pueden producir inundaciones en terrenos con morfología plana ondulada, conformados por piedemontes de baja pendiente (de hasta 5°).

Se distribuyen en:

- **Río Locumba:** Área sujeta a inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial en ambas márgenes que afectan terrazas aluviales cubiertas por terrenos de cultivo en la desembocadura del río, así como en la desembocadura del río en los sectores Pampa Baja (Ite), Mal Paso, entre otros, en el extremo sur y suroeste de la región.
- **Río Sama y sus tributarios de la margen izquierda como las quebradas Puquio, Las Brujas, Las Cajas, Los Cerdos, Los Molles, Pedregal, entre otros:** Así como en la cabecera del río. Presentan inundaciones y procesos de erosión fluvial que afectan vertientes aluviales, terrazas aluviales y tramos de la carretera Panamericana Sur.
- **Quebrada Honda:** Tributaria de la margen derecha del río Sama, sujeta a inundaciones en la confluencia con el río Sama.
- **Río Tacalaya:** Inundación y procesos de erosión fluvial a lo largo del río. Afecta terrazas de baja pendiente.
- **Río Japopunco:** Predominan los procesos de erosión fluvial principalmente en altiplanicies sedimentarias en las pampas Patjata, Callulije, entre otros. Afecta tramos de la carretera Suches-Vizcacha.

Se consideran también procesos de inundación lacustre en terrenos plano-ondulados que bordean a lagunas, y procesos de inundación pluvial en mesetas, altiplanicies y fondo de valles glaciares; así como terrenos planos, ligeramente ondulados, con drenaje deficiente o por estar constituidos por materiales de poca

permeabilidad, que favorecen la acumulación de la precipitación pluvial y originan anegamientos; por ejemplo, entre las quebradas Caramolle y Arunta, los sectores La Yarada, Magollo, Tacna, Augusto B. Leguía, entre otros.

Otros sectores considerados como inundables son los valles glaciares con presencia de piedemontes de baja pendiente constituidos por materiales arcillosos, que se saturan con precipitaciones pluviales y forman anegamientos muy locales de reducida extensión.

Estas zonas representan el 8.79 % de la superficie total de la región.

Alta susceptibilidad

Terrenos menores a 5°, que corresponden a llanuras de inundación y terrazas bajas, en los valles de la altiplanicie del extremo suroeste de la región, la Cordillera Occidental y Franja de Conos Volcánicos, que se inundan de forma ocasional y excepcional. Estas inundaciones están relacionadas a lluvias extraordinarias, que se pueden presentar sin que se haya producido el fenómeno El Niño.

Tacna se ubica en una de las zonas más desérticas del mundo (próxima al desierto de Atacama) y las precipitaciones pluviales son escasas, principalmente en las zonas altas. A ello hay que añadir los efectos del cambio climático y el uso ineficiente de este recurso en la actividad agrícola, lo que agrava el problema de escasez de agua que enfrenta la región, en especial en las zonas altas de las provincias de Candarave y Tarata, y el distrito de Palca, en la provincia de Tacna. En ese sentido, en cuanto a la precipitación pluvial acumulada en Tacna para el periodo lluvioso normal (septiembre-mayo) en el sur fluctúa entre 5 a 10 mm en las provincias de Jorge Basadre y Tacna (Ite, Las Yaras, Sama Grande, Tacna, Calana, Pachía, Ilabaya); en el centro varía entre 10 a 100 mm (Camilaca, Cairani, Curibaya, Palca, entre otras localidades); en la parte alta, al norte y noreste de la región (Ticaco, Tarata, Candarave, El Ayro, Tripartito) superan los 200 mm anuales.

El régimen de precipitaciones en la región cambió con la presencia del fenómeno El Niño 1997/1998, pero no en los valores de precipitación acumulada, sino en la distribución geográfica de estas lluvias; por ejemplo, la precipitación acumulada (septiembre-mayo) con El Niño, en el extremo este, en el flanco este de la Cordillera del Barroso como los sectores El Ayro, Tripartito, Sencca (Tacna); Pocuyo, Carpachitana, Lipitaca, Challapalca (Tarata); Samuta, Incamoco, entre otros (Candarave), con los valores más altos hacia la franja de conos volcánicos, los valores de lluvia acumulada alcanzan los 400 mm. En el resto de la región (provincias de Tacna, Jorge Basadre y Candarave), la precipitación pluvial acumulada menor de 200 mm.

Algunos de los valles de la región que presentan alta susceptibilidad a las inundaciones son los siguientes:

- **Río Sama:** inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial se producen a lo largo del valle Sama que son utilizados por extensos terrenos de cultivo hasta la desembocadura del río, con precipitaciones estacionales que afectan terrazas indiferenciadas y llanura de inundación. El fondo del valle del río Sama varía entre 300 a 1600 m, cuyo ancho de cauce del río varía entre 30 a 96 m de ancho.
- **Río Locumba:** cauce del río varía entre 25 a 95 m de ancho, el ancho del valle entre 125 a 1000 m, cuyas terrazas están cubiertas por terrenos de cultivo. Presenta inundaciones fluviales sujetas a llanuras inundables a lo largo del valle, que se inundan de manera periódica, afecta terrazas indiferenciadas y terrazas aluviales.
- **Río Salado/Ilabaya:** inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial, entre los sectores Ilabaya-Mirave-Locumba en donde se han colocado muros de contención en el caso de Ilabaya.
- **Río Cinto:** inundación fluvial en ambas márgenes del río, afecta vertientes torrenciales y terrazas indiferenciadas utilizadas para terrenos de cultivos y granjas, a lo largo del río (desde Caoña hasta la desembocadura). Cauce del río varía entre 20 a 60 m de ancho, el ancho del valle entre 120 a 500 m aproximadamente. Se han realizado obras de defensa (muros de contención) para proteger las viviendas y terrenos de cultivo de Locumba, que se encuentran muy cerca del cauce del río con el fin de controlar la erosión en la margen derecha del río.
- **Río Curibaya:** inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial, en el 2015 se llevó una parte de la plataforma de la carretera Mirave-Curibaya, también afecta terrenos de cultivos que se encuentran en terrazas en ambas márgenes del río.
- **Río Callazas:** inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial; se ha colocado gaviones y espigones en algunos sectores para controlar la erosión, afecta terrazas aluviales ocupados por terrenos de cultivo.
- **Quebrada Viñani/Arunta/Hospicio:** inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial en el tramo de la carretera Panamericana Sur (km 14+500-km 15+500) muy próximo a la vía férrea Tacna-Arica, en el sector Puquio.
- **Río Caplina:** inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial, entre los sectores Calientes, Piedra Blanca, Cerro Blanco, Peschay; su cauce varía entre 10 a 78 m de

ancho aproximadamente. En el sector Calana, la luz de los puentes se encuentra colmatados; se arrimó material en ambas márgenes del río producto de la limpieza de cauce.

- **Río Uchusuma:** inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial, en el sector Chuschuco, cuyo cauce varía entre 20 a 220 m ancho aproximadamente; el fondo de valle varía entre 80 hasta 600 m de ancho; afecta terrazas aluviales aprovechadas como terrenos de cultivo.

Muchos de los cauces de estos ríos han sido modificados y reducidos para ganar terreno y construir más viviendas. Otras zonas propensas a inundaciones se encuentran también a lo largo de zonas cóncavas formadas en valles glaciares con presencia de lagunas, en bofedales y altiplanicies aluviales conformada por mesetas y terrenos ondulados, donde el drenaje es deficiente, a inmediaciones de las lagunas Suches, Vilacota, Aricota, Blanca, entre otras.

Se incluyen zonas y asentamientos urbanos ubicados dentro de las áreas de inundación normal a excepcional, terrenos de cultivo y vías de comunicación. Estas zonas representan una extensión 2.40 % con respecto a la superficie total de la región.

6.4.3 Otros peligros geológicos

Las características geomorfológicas, condicionantes litológicas y aspectos geodinámicos en la región, la hacen susceptible a otros procesos geológicos, donde destacan la erosión de laderas (laminar, surcos, cárcavas y badland), arenamientos, así como peligros antrópicos.

La distribución estadística de los denominados otros peligros geológicos con un total de 67 ocurrencias inventariadas representa el 10.67 % del total de peligros geológicos.

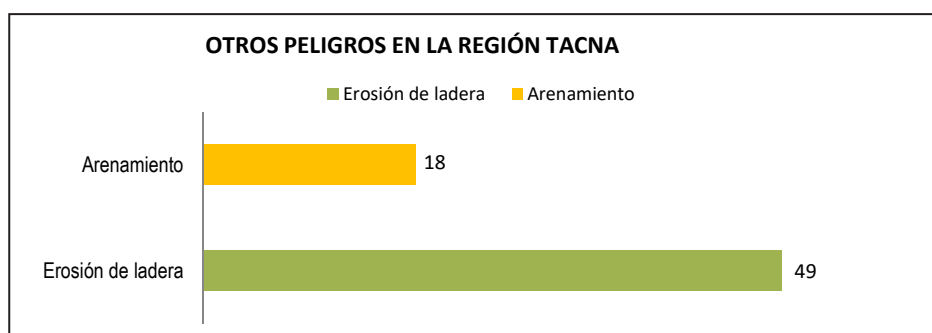


Gráfico 6.6 Ocurrencias de otros peligros en la región Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

Erosión de laderas

Estos eventos no son puntuales, sino que constituyen sectores que son afectados por estos procesos, como pueden ser laderas de montañas cortada por láminas, surcos y cárcavas, o cabeceras de quebradas donde la incisión en el terreno es por medio de cárcavamientos con avances retrogresivo y laterales; en estos surcos y cárcavas se pueden generar flujos de detritos, así como también deslizamientos o derrumbes. Cuando la erosión de laderas alcanza un estadio muy avanzado se forman los denominados *badlands* o tierras malas.

Este proceso comienza con canales muy delgados que a medida que persiste la erosión, sus dimensiones pueden variar desde estrechas y pocas profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad. La intensidad y amplitud de la formación de cárcavas (figura 6.21) guardan una íntima relación con la cantidad de agua de escurrimiento (intensidad de precipitaciones) y de la velocidad de esta; además, están reguladas por las características del suelo (permeabilidad, cohesión), el relieve y la cobertura vegetal.

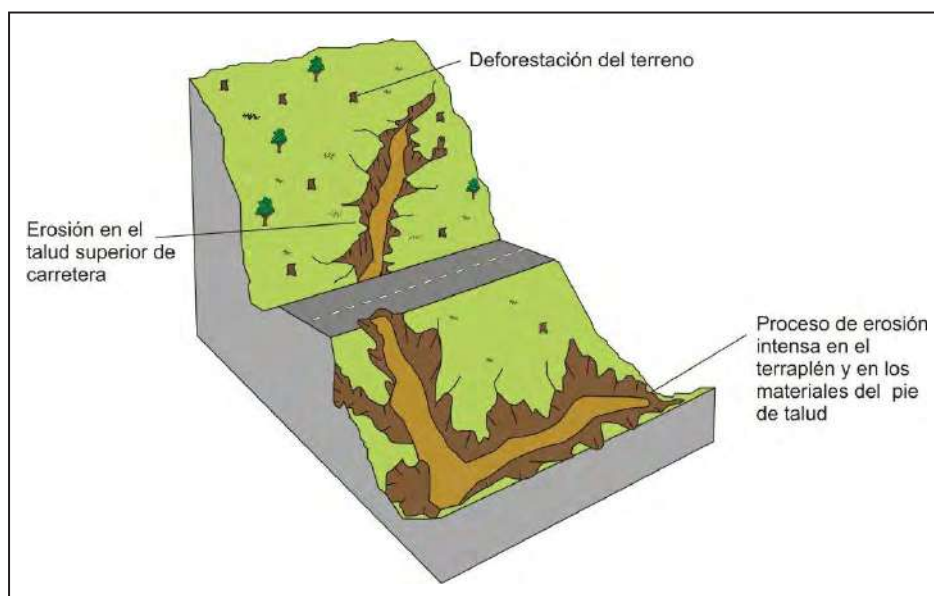


Figura 6.21 Erosión en cárcavas que afectan al talud superior e inferior de carretera.

Fuente: Elaboración propia.

En el departamento de Tacna se inventariaron 49 ocurrencias; este proceso es muy común en rocas intrusivas como granodioritas, dioritas y sienogranitos de la Superunidad Ilo, Challaviento; secuencias sedimentarias (conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y limolitas) de las formaciones Moquegua, Guaneros, Pelado, Cabanillas y Labra; rocas volcánicas (rocas piroclásticas y lavas, secuencias lávicas) de las formaciones Tarata inferior, Huaylillas, y rocas volcánicas-sedimentarias (rocas piroclásticas y lahares, intercalaciones de lavas, tobas andesíticas y lahares, limolitas y calizas) de las formaciones Quellaveco, Matalaque, Tarata superior, Chocolate, entre otros, así como en depósitos superficiales como depósitos aluviales, coluvio-deluviales y volcánico y volcanoclástico (lapillis, cenizas).

Estos eventos no son puntuales, sino que constituyen sectores que son afectados por estos procesos, como pueden ser laderas de montañas cortadas por surcos y cárcavas, o cabeceras de quebradas donde la incisión en el terreno es por medio de cárcavamientos con avances retrogresivo y laterales. En su desarrollo en la mayoría de los casos se desencadenan procesos de derrumbes, flujos y deslizamientos como en el caso de los sectores de Pistala, San Isidro, Alto de Poma, de Mullini-Pallata, San Lorenzo; Andabaya, El Ingenio, Calientes-Tocuco, Pampa Ite Alta-Norte, Las Yaras, entre otros; laderas de los cerros Sale, Machani, Lluta, Huacano, Gallinazo, Higuera, Inchupalla Chico, Juneratu, Pelado, Haunune, Paccollo, Yolaco, Mina, Nequin, Ilabaya, Ancocoy, Poromo, Villacollo, Acirune, Gangolar y Calientes, Chujune y Negro, entre otros (fotografías 6.11 al 6.13 y figura 6.22).



Fotografía 6.11 Erosión en surcos en las laderas del cerro Chuquima, entre las quebradas Salada y Mollegallo, sobre afloramientos de granodioritas y dioritas muy alteradas y meteorizadas de la Superunidad Ilo, en el sector de Ite, con vista hacia el norte.



Fotografía 6.12 Erosión en cárcavas en las laderas del cerro Tacapsirca, aportan material al cauce de la quebrada Charine, distrito de Pachía. Vista al suroeste.



Figura 6.22 Erosión en cárcavas en terrazas aluviales con altura menor a 50 m, en el sector Pampa Ite Norte (A); debido a las lluvias se generan huaicos que discurren a través de las cárcavas afectando terrenos de cultivo y viviendas que se encuentran abajo, distrito de Ite (B).



Fotografía 6.13 Erosión en badlands en las laderas del cerro Argandoñas, en la margen izquierda del río Sama, distrito de Inclán, afectando secuencias de conglomerados polimícticos de la Formación Moquegua.

Arenamiento

Este fenómeno se produce en zonas que presentan morfología plano-ondulada de pampas, colinas bajas y planicies costaneras aledañas al litoral. Con una dinámica eólica importante, la dirección, la velocidad del viento y la geomorfología del entorno favorecen la migración y acumulación de arenas; muchas veces pueden afectar viviendas, terrenos de cultivo y obstruir tramos de carreteras. Los arenamientos conforman mantos de arena, dunas, dunas trepadoras que se encuentran detenidas, cordón de dunas, etc.

En el departamento se han inventariado 18 ocurrencias, como ejemplo típico se dan en algunos tramos de las carreteras Panamericana Sur, Costanera (fotografía 6.16), sectores Cocal, Quebrada Honda-Tacna, Pampa Cabeza de Vaca, El Pedregal, Meca Grande, Sama, Inclán; en ladera de los cerros Punta Paloma, Los Churcos, Hospicio Antiguo, Magollo, Botadero, Del Abra, Magollo, Arunta y Piedras Anches, Los Pabellones, Cajones, Chamita Moreno, Puente Colorada, entre otros (figura 6.23 y 6.24 y fotografía 6.14).



Figura 6.23 Mantos de arena invaden en el km 54+700 de la carretera Costanera afecta aproximadamente 1 km de esta carretera (km 54+000-km 55+000), sector Playa Jardín, distrito de Sama, con vista al sureste. Indicar la dirección del viento.



Figura 6.24 Dunas trepadoras en las laderas del cerro Botadero, distrito de Ite, con vista al sureste. Se distinguen algunas dunas individuales tipo barcanas.



Fotografía 6.14 Mantos de arena y dunas trepadoras en laderas del cerro Arunta, margen izquierda del río Caplina, distrito de Pocollay. Vista hacia el sureste.

6.4.4 Grado de correlación entre de peligro – vulnerabilidad y tipología de peligros geológicos

Peligro: También denominado “amenaza”, se entiende como “un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden 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 incluyen condiciones latentes que pueden materializarse en el futuro. Pueden tener diferentes orígenes: natural (geológico,

hidrometeorológico y biológico) o antrópico (degradación ambiental y amenazas tecnológicas).

Se define como peligro a la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos (Perú. Presidencia del Consejo de Ministros, 2011).

El grado de peligro asignado a cada uno de los eventos inventariados se realizó tomando en cuenta una calificación cualitativa basada en el estado del movimiento en masa (activo, inactivo joven, inactivo maduro, viejo), dimensiones (área y volumen involucrados) y recurrencia del evento en el

tiempo. Adicionalmente, se evalúa la relación de los factores condicionantes y su potencialidad en la aceleración del evento, considerando los factores detonantes en el área.

El cuadro 6.6 y gráfico 6.7 muestran el análisis estadístico de la calificación cualitativa del grado de peligro otorgado a cada uno de los eventos que se inventariaron en la región Tacna (628 ocurrencias). Se puede ver que el 7.8 % de las ocurrencias (49) se califican como peligro “bajo”; el 68.9 % de las ocurrencias (433) han sido calificada con “peligro medio”; el 21.0 % equivalente a 132 ocurrencias como eventos con “peligro

alto” y el 2.2 % con peligro “muy alto”, 14 ocurrencias. Se puede interpretar que la mayor cantidad de eventos inventariados se presentan en un estado de actividad o eran eventos antiguos que presentan alguna reactivación al momento que se realizó el trabajo; el volumen que comprometían significaba cantidades importantes y pueden generar grandes daños. Finalmente, podemos mencionar también que la recurrencia de estos eventos se producen de forma periódica y estacional como es el caso de los flujos de detritos.

Cuadro 6.6

Peligro asignado a los peligros geológicos en la región Tacna

Tipo de peligro	Peligro (P)			
	B	M	A	MA
Caídas (derrumbe y caída de rocas)	7	107	26	0
Deslizamiento	1	8	8	6
Flujos	21	226	64	5
Movimiento complejo	1	8	2	1
Vuelco	0	2	1	0
Erosión de ladera	4	40	5	0
Erosión fluvial	2	23	21	1
Inundación fluvial	2	12	5	1
Arenamiento	11	7	0	0
Ocurrencias	49	433	132	14
Porcentaje (%)	7.8	68.9	21	2.2

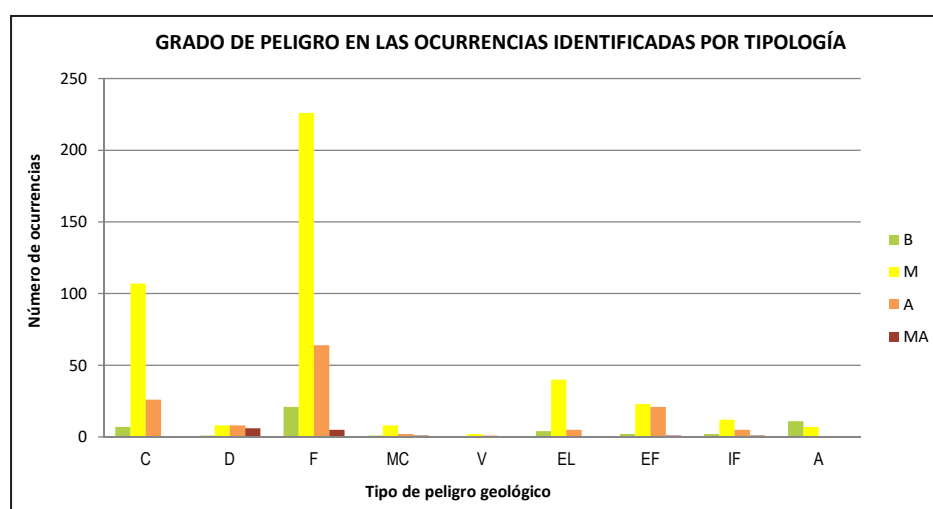


Gráfico 6.7 Grado de peligro asignado a las ocurrencias de peligros geológicos inventariados en la región Tacna. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, V: vuelco, EL: erosión de laderas, EF: erosión fluvial, IF: inundación fluvial y A: arenamiento.

Vulnerabilidad: Se consideran las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas. (Naciones Unidas, 2009). Es una amenaza para el desarrollo humano, y a menos que se aborde sistemáticamente modificando políticas y normas sociales, el progreso nunca será equitativo ni sostenible.

De igual forma, el grado de vulnerabilidad de lo que se encuentra expuesto a un determinado tipo de peligro dentro de la región, considera el tipo de área afectada y los daños materiales ocurridos o probables (infraestructura hidroenergética: presas, bocatomas y central; infraestructura vial y poblacional). Para cada peligro identificado se hace un estimado de los daños causados o probables a viviendas y áreas pobladas, servicios básicos; pérdidas de vidas humanas, damnificados; pérdidas de áreas agrícolas, pastizales, entre otros.

El análisis de la vulnerabilidad cualitativa asignada a cada una de las ocurrencias de peligros naturales inventariadas en la región Tacna (cuadro 6.7 y gráfico 6.8), nos muestra que el 22.0 % del total de 138 ocurrencias fue calificada con una “vulnerabilidad baja”, el 50.6 % con “vulnerabilidad media”, el 23.4 % con “vulnerabilidad alta” y el 4.0 % con “muy alta vulnerabilidad”;

puede interpretarse que dentro del área de influencia para cada uno de estos eventos inventariados casi siempre se encuentran elementos expuestos que pueden resultar afectados con las reactivaciones de estos eventos o la ocurrencia periódica de los mismos. Es el caso de los deslizamientos, pues de producirse el desplazamiento del material comprometido por el evento este puede afectar viviendas, carreteras, terrenos de cultivo, etc., que se encuentran asentados o trazadas dentro del cuerpo del deslizamiento; además, si esta represa un río, puede verse afectado todo lo que se encuentra aguas abajo o aguas arriba del mismo. En el caso de los derrumbes y caídas de rocas, los cuales se ubican principalmente en taludes de corte de carretera, los elementos expuestos son los vehículos y personas que transitan por las carreteras; pueden cortar el tránsito por horas, inclusive días, con lo que afecta la actividad económica. Finalmente, los flujos de detritos que se producen de manera periódica a excepcional siempre tienen dentro de sus límites (entiéndase como las áreas conformadas por depósitos dejados por eventos antiguos, no históricos) infraestructura desarrollada, como es la construcción de viviendas, carreteras o se realizan labores agrícolas; todos estos son altamente vulnerables a la ocurrencia de nuevos flujos.

Cuadro 6.7

Vulnerabilidad asignada a los peligros geológicos en la región Tacna

Tipo de peligro	Vulnerabilidad (V)			
	B	M	A	MA
Caídas (derrumbe y caída de rocas)	32	69	36	3
Deslizamiento	2	8	6	7
Flujos	64	174	68	10
Movimiento complejo	4	2	4	2
Vuelco	0	3	0	0
Erosión de ladera	18	23	7	1
Erosión fluvial	4	21	20	2
Inundación fluvial	2	12	6	0
Arenamiento	12	6	0	0
Ocurrencias	138	318	147	25
Porcentaje (%)	22	50.6	23.4	4

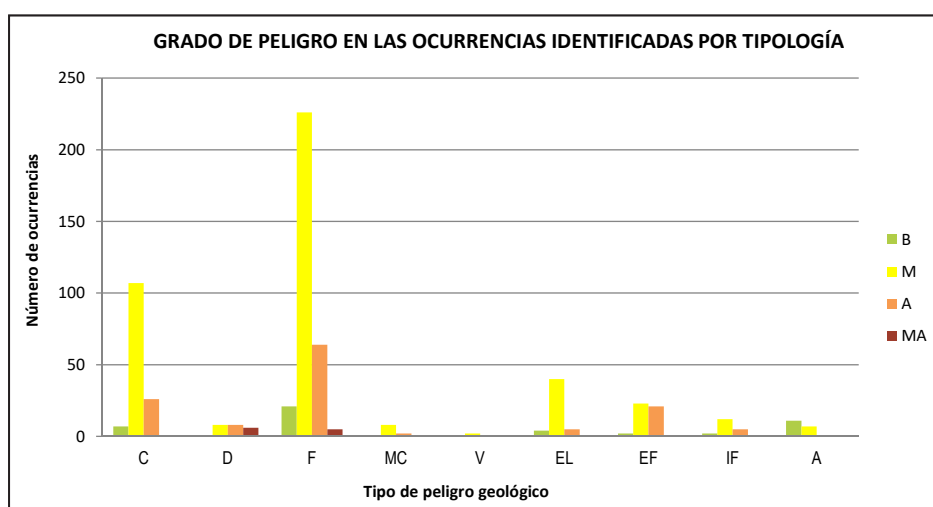


Gráfico 6.8 Grado de vulnerabilidad asignado a las ocurrencias de peligros geológicos inventariados en la región Tacna. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, V: vuelco, EL: erosión de laderas, EF: erosión fluvial, IF: inundación fluvial y A: arenamiento.

6.5 PELIGRO SÍSMICO

El Perú se encuentra ubicado en una zona de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, que es su principal fuente sismogénica; nuestro país está propenso a la ocurrencia de un gran número de sismos de diferente magnitud, focos a diferentes profundidades, los cuales producen en superficie distintos grados de destrucción. Una segunda fuente se ubica en la zona continental cuya deformación origina la formación de fallas geológicas de diversas longitudes y consecuentemente sismos de magnitudes menores en tamaño a los que se producen en la primera fuente (Cahill & Isacks, 1992; Tavera y Bufo, 2001). Por estos motivos, los sismos en el Perú constituyen el mayor peligro al cual se encuentra sometido nuestro territorio; de ahí que los daños que provocan en las áreas urbanas o ciudades, dependerán de su tamaño y de la capacidad de respuesta de las estructuras a la aceleración a la cual son sometidas. La correcta equivalencia entre estos dos factores permitirá reducir los daños causados por este tipo de peligro.

Fuentes históricas demuestran que la región Tacna fue altamente afectada por sismos de magnitudes elevadas, generados en

la zona de subducción (cuadro 6.10) que llevaron en muchos casos a la pérdida de vidas humanas y dañaron una parte o la totalidad de las viviendas.

6.5.1 Sismicidad histórica

La historia que se conoce con relación a los acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, según datos históricos disponibles, indican una intensa actividad sísmica en la región Tacna, ocurrida entre los siglos XVI y XX.

En los últimos 400 años, la región sur del Perú ha sido afectada con variable severidad por más de 30 terremotos; es importante mencionar que la ciudad de Tacna en los últimos 55 años ha soportado la violencia de terremotos en 1604, 1833, 1868, 1958, 1960 y 2001.

Para la mayoría de los sismos descritos en el cuadro 6.8, Silgado (1978) elaboró sus respectivos mapas de intensidades (isosistas), siendo cuatro de estos los que más afectaron la región Tacna y corresponden a los sismos del 24 de noviembre de 1604, del 13 de mayo de 1784, del 13 de agosto de 1868 y del 23 de junio del 2001 (figuras 6.25 y 6.26).

Cuadro 6.8

Descripción de los datos macrosísmicos ocurridos en la región Tacna y alrededores

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
19-02-1600	16:00:00	Moquegua, Arequipa y Tacna	VIII	Cuyo epicentro fue en Moquegua por la explosión fuerte del volcán Huaynaputina (Omate), en cuyas inmediaciones quedaron sepultados 6 o 7 pueblos. El río Tambo quedó represado.

Continuación...

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
24-11-1604	13:30:00	Tacna, Moquegua, Arequipa e Ica	IX	Con epicentro en Tacna, arruinó las ciudades de Tacna, Arequipa, Moquegua y Arica. El mar se salió en el Puerto de Arica, causando la muerte de 23 personas.
21-10-1687	6:00:00	Arequipa, Moquegua, Tacna e Ica	VIII	Ocurrió un fuerte sismo en Arequipa que causó serios daños en sus templos y viviendas. Otros daños se registraron en los valles de Sihuas y Majes. Sismo llamado de Santa Úrsula por celebrarse ese día su festividad.
13-05-1784	7:36:00	Arequipa, Moquegua y Tacna	IX	Perecieron 54 personas. La ciudad sufrió ruinas de edificios y viviendas, cayó el arco del puente y se deterioró el empedrado de sus calles. Hubo el derrumbe de dos templos antes de que ocurra el terremoto, como previo aviso. Tuvo una duración de 4 a 5 minutos de varias réplicas.
08-10-1831	21:15:00	Tacna, Moquegua, Arica	VII	En Arica hubo varios muertos y heridos a consecuencia del desplome de varias casas. Se llegó a sentir hasta Bolivia.
18-09-1833	5:45:00	Tacna, Arica, Moquegua y Arequipa	VII	Redujo parte de la ciudad de Tacna a escombros. Dejó un saldo de 18 muertos y 25 heridos.
13-08-1868	16:45:00	Moquegua, Tacna, Arica, Arequipa e Ica	X	Dejó en ruinas las ciudades de Moquegua, Tacna, Tarata y Arica. Murieron 180 personas en todo el sur. Según el Dr. J. Polo "este sismo pudo ser como uno de los mayores que se haya verificado en el Perú". Su epicentro fue en Arica, acompañado de un tsunami que afectó Arica con 12 m de altura. La Catedral de Arequipa quedó destruida, así como el Portal de Flores y la Iglesia de la Compañía. En Arequipa se sintió con intensidad de IX en la escala de MM.
24-06-1869	13:45:00	Moquegua, Tacna, Arica, Arequipa	VI	Fuerte movimiento sísmico en Arequipa y Tacna y en los antiguos puertos del Perú y Bolivia. El sismo duró como minuto y medio. A las 14:15 horas, se retiró el mar causando gran alarma, volviendo luego a su nivel, hubo crecientes y bajadas como siete veces. El temblor se sintió violentamente a bordo del vapor inglés "Paita" que navegaba del Callao a Valparaíso estando a tres millas de tierra firme con 75 brazas de agua y casi frente al actual límite con Chile.
09-08-1877	20:28:00	Arequipa, Ilo y Arica	VII	Destruyó las poblaciones de Mollendo, Ilo y Arica. Fue seguido de un Tsunami que inundó los puertos de Ilo y Arica. Más al sur fueron arrasados los Puertos de Pica y Mejillones, con olas de 20 m de altura, dejando un saldo de 33 muertos.

Continuación...

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
23-01-1878	0:00:00	Arequipa, Tacna y Arica	VII	Sentido en Arequipa y Tacna, cayeron varias casas en el antiguo Tarapacá. El oleaje marino producido por la conmoción inundó los pueblos costeros del sur.
5/16/1908	12:50:00	Tacna y Arica	VII	Sacudida de dos minutos de duración, que ocasionó desplomes de casas y cuarteado de paredes en Tacna y Arica.
8/6/1913	17:13:00	Arequipa, Moquegua, Tacna	IX	Edificada cerca de las estribaciones de la cordillera Occidental quedó destruida por un terremoto. El movimiento de pocos segundos de duración produjo desplome de edificios y derrumbes en las laderas del valle, ocasionando varios muertos. Sufrieron igualmente todos los pueblos del valle de Majes, especialmente Chuquibamba (2921 m s. n. m.), donde además de desplomarse la iglesia mayor se deterioraron los edificios y viviendas. Otros daños se apreciaron en Cailloma (4354 m s. n. m.), donde su iglesia matriz quedó agrietada. En la ciudad de Arequipa hubo averías en algunos edificios públicos, mientras que en la zona costera sufrieron las poblaciones de Ocoña y Atico.
12/4/1934	12:40:00	Frontera Perú-Chile	VII	Fuerte movimiento sísmico en la frontera Perú-Chile. En la ciudad de Tacna ocasionó ligeros deterioros en muchas paredes de casas antiguas. Hubo indicios de una Marejada en el Puerto de Arica.
10/11/1939	9:51:00	Arequipa, Moquegua, Tacna e Ica	VII	El Observatorio Sismológico de Lima registraba un movimiento sísmico proveniente de unos 650 km al SE de Lima. Las comunicaciones con el sur informaban que el pueblo de Chuquibamba (3050 m s. n. m.), situado en el valle del río Majes, había sido afectado. Su iglesia, la cárcel y la municipalidad sufrieron graves daños y con desplome de muchas casas. En la aldea de Chuquibambilla (3343 m s. n. m.) en las inmediaciones del río Vilcabamba, tributario del río Apurímac, se destruyeron muchas viviendas, lo mismo que en Caravelí en la vertiente del Pacífico. El sismo causó otros daños en los edificios de las ciudades de Arequipa y Moquegua. Con gran intensidad se sintió en las poblaciones de Puquio, Quicacha, Palpa y en los puertos de Chala y Mollendo.

Continuación...

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
8/24/1942	17:51:00	Región limítrofe entre Ica y Arequipa, Moquegua y Tacna	VIII	Terremoto en el sector limítrofe entre los departamentos de Ica y Arequipa en un área de 18 000 km ² , donde ocurrió gran destrucción. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas y 25 heridos. Quedaron en escombros las poblaciones vecinas de Acari y Jaqui, extendiéndose los daños hasta las poblaciones de Quincacha, Atiquita y Palpa. En Caravelí solo resistieron al sismo los edificios de reciente construcción. Fue sentido en Camaná, Chuquibamba, Aplao, y Mollendo. El sismo tuvo un minuto de duración. Los pueblos cordilleranos de Coracora, Huancapi y otros experimentaron algunos daños. En el puerto de Chala la sacudida alcanzó tal violencia que varias personas fueron arrojadas al suelo al perder la estabilidad; un testigo narra: "las casas tenían movimiento semejante a la de un barco azotado por una tempestad", sufriendo el nuevo hotel de turistas, cuarteamiento de sus paredes. Fue sentido hasta Tacna.
5/11/1948	3:56:00	Tacna, Moquegua y Arequipa	VII	Dejó 1 muerto y 66 heridos; los efectos destructores fueron dentro de un área aproximada de 3500 km ² .
1/15/1958	14:14:00	Arequipa, Moquegua y Tacna	VII	Causó 28 muertos y 133 heridos. Todas las casas construidas a base de sillar sufrieron averías, resistiendo los inmuebles construidos a partir de 1940 y los edificios modernos. Afectó los distritos de Tiabaya, Sabandía, Miraflores y Yarabamba. Hubo gran polvareda, daños al Ferrocarril y Carretera Panamericana. Agrietamientos con eyección de aguas negras en Camaná.
2/16/1979	8:54	Arequipa, Moquegua, Tacna, Ica, Ayacucho	VII	Se sintió con mayor intensidad (VI) en Mollendo, La Planchada, La Joya, Punta de Bombón, Sihuas, Uchumayo, Camaná y Corire, sufriendo daños en sus viviendas.
5/24/1991	20:50:54	Tacna, Moquegua	VI	Se sintió con mayor intensidad en Tacna y Moquegua.
6/23/2001	20:33:13	Arequipa, Moquegua, Tacna, Ica, Ayacucho, Apurímac, Puno	VII	Terremoto de 7 grados en la escala de Richter; afectó al 80 % de la población, ocasionando el derrumbe de las viviendas en algunos poblados, el 90 %. La ciudad quedó incomunicada y las líneas telefónicas y viviendas fueron seriamente dañadas; en ciudades aledañas, como Arequipa, Moquegua y Tacna murieron más de 70 personas. Además, un fuerte Tsunami arrasó la localidad de Camaná.

Continuación...

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
10/1/2005	12:19:00	Moquegua, Tacna	V	Fuerte movimiento sísmico en el distrito Omate, de la provincia Sánchez Cerro del departamento Moquegua, con una profundidad de 14 km y de magnitud 5.4 de la Escala de Richter, registrándose daños personales en los distritos San Cristóbal: 469 familias damnificadas y 311 afectadas; en Cuchumbaya, 02 familias damnificadas y 68 afectadas. También se registraron 471 viviendas destruidas y 379 afectadas.
8/15/2007	18:40:58	Ica, Lima, Arequipa, Ancash, Moquegua y Tacna	VII	Sismo con epicentro ubicado a 60 km al oeste de esta ciudad. El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80 %) y menor en localidades aledañas. En Arequipa, el sismo fue sentido leve por varios minutos.
5/14/2012	11:03:00	Tacna, Moquegua y Arequipa	VI	Sismo de magnitud moderada (6.1 ML, 6.2 Mw) y epicentro ubicado a 18 km al SO de la localidad de Chuquibamba (Arequipa). El sismo ocurrió a una profundidad de 110 km (foco intermedio) y, en general, presentó un área de percepción con radio del orden de 350 km ($I_{max}=II$), siendo mayor su intensidad entorno a las localidades de Chuquibamba, Pampacolca y Aplao (Arequipa).

Fuente: Tavera *et al.*, 2016.

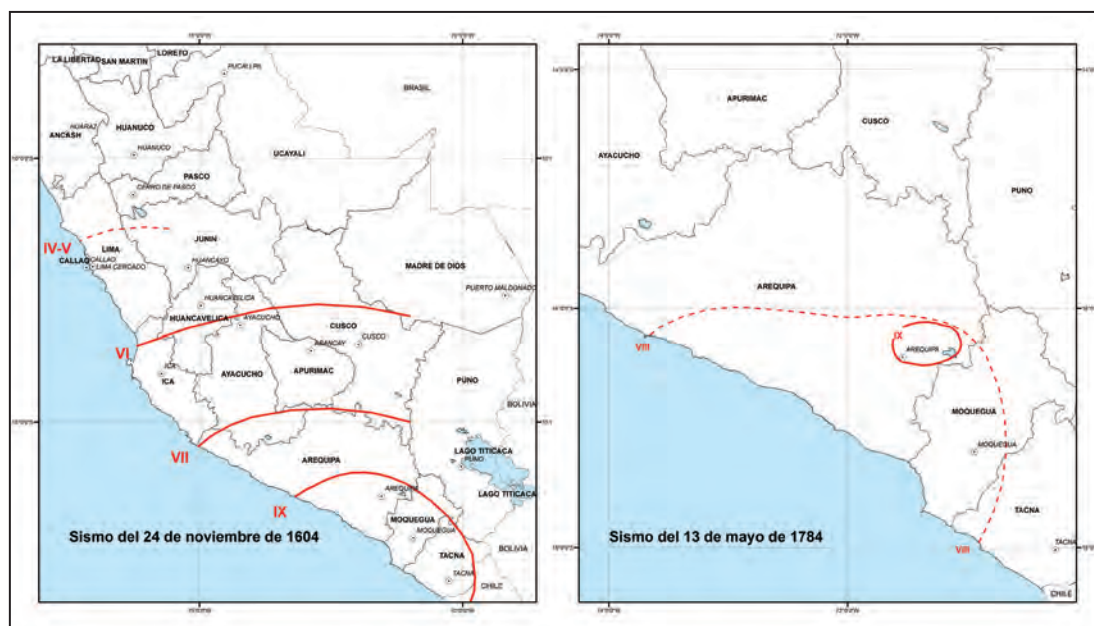


Figura 6.25 Mapa de isosistas del sismo del 24 de noviembre de 1604, Arequipa y del sismo del 13 de mayo de 1784, Tacna-Arequipa.

Fuente: Tavera *et al.*, 2016.

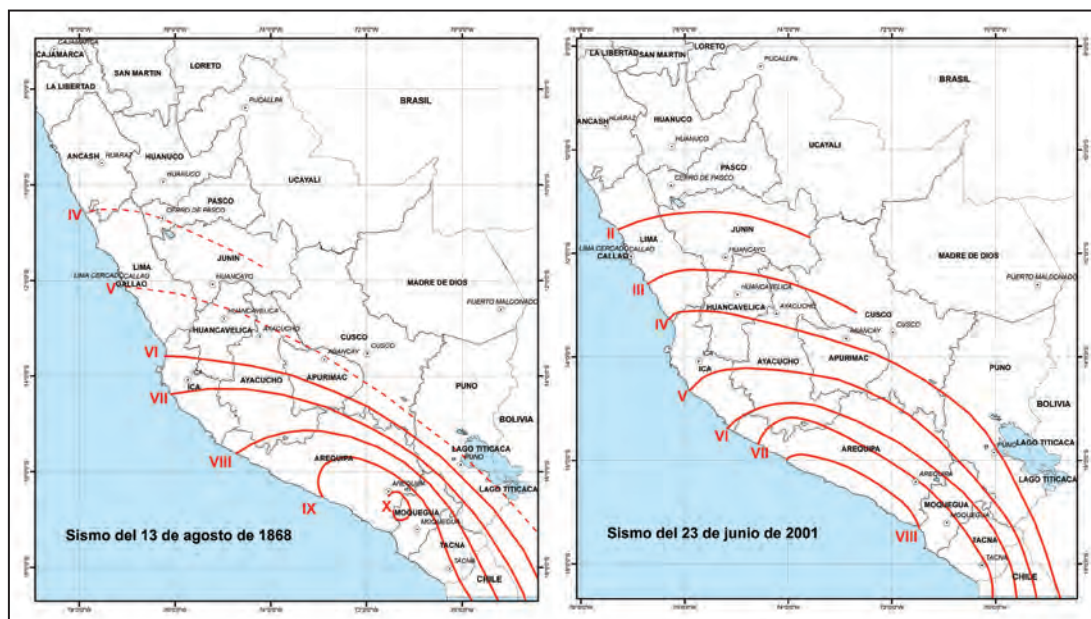


Figura 6.26 Mapa de isosistas del sismo del 13 de agosto de 1868, Arica-Arequipa y del sismo del 23 de junio de 2001, Arequipa

Fuente: Tavera *et al.*, 2016.

6.5.2 Distribución de máximas intensidades sísmicas

En la figura 6.27 se presenta el mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas para Perú (Alva *et al.*, 1984), basado en 30 mapas de isosistas de terremotos recientes e intensidades puntuales de terremotos históricos, como parte del proyecto SISRA a cargo del Centro Regional de Sismología para América del Perú y el Caribe (CERESIS). El mapa representa el nivel de daño independiente de la causa: vibración de suelo, licuación, deslizamientos provocados por terremotos u otros. Este mapa dentro de la región Tacna nos indica una

alta actividad sísmica en el sector oeste colindante al Océano Pacífico. Zonas que prevalecen intensidades máximas de IX MM, se presentan en los sectores de Ite, Locumba, Sama, Inclán, Ilabaya, Camilaca, Cairani, Huanuara, Quilahuani, Chucatamani, Estique Pampa, Calama, Tacna, Pocollay, Alto Alianza, Ciudad Nueva, Gregorio Albarracín, una parte de Candarave, Susapaya, Ticaca, Tarata, Estique, Tarucachi, Pachía y Palca. Zonas que prevalecen intensidades máximas de VIII MM, se presentan en las partes de los sectores Palca, Pachía, Estique, Tarata, Ticaco, Susapaya y Candarave.

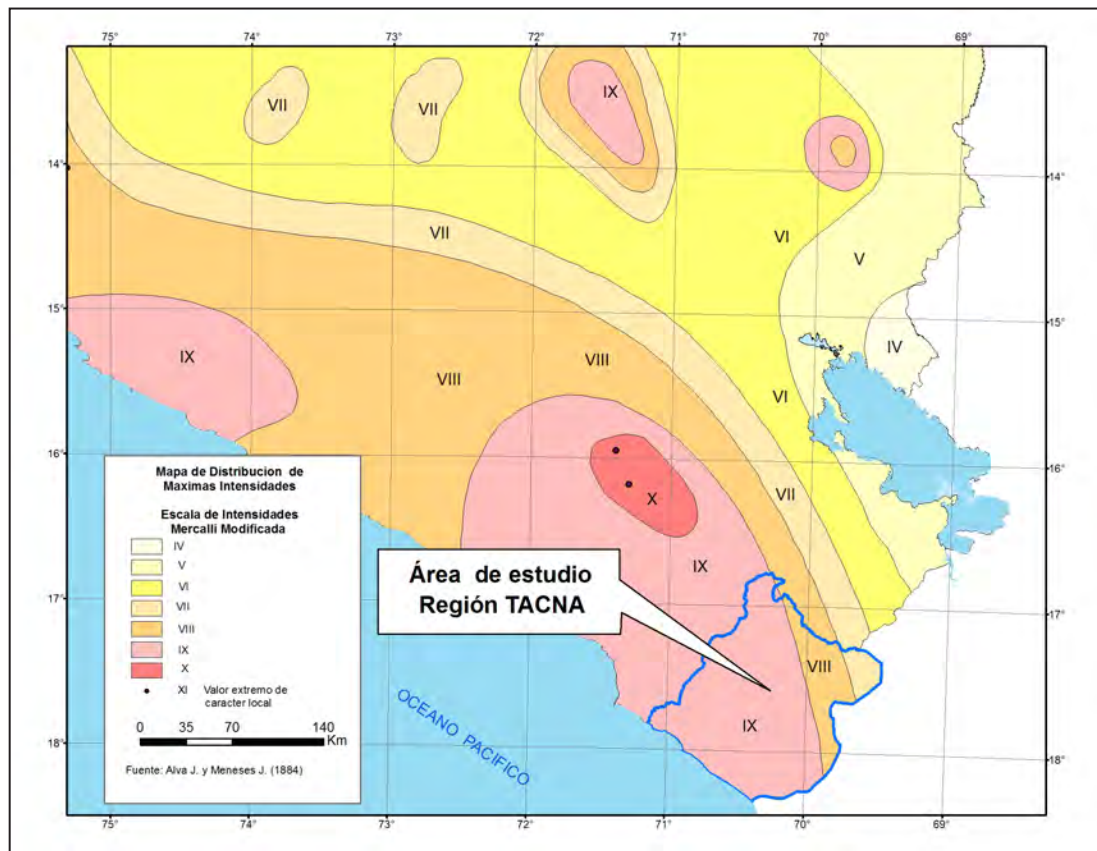


Figura 6.27 Distribución de máximas intensidades sísmicas en la región Tacna.

Fuente: Alva *et al.*, 1984.

6.5.3 Distribución espacial de los sismos

La distribución espacial de los sismos se analizó a partir de la base de datos histórica y de sismos instrumentales registrados por el Instituto Geofísico del Perú, que considera los sismos ocurridos entre los años 1500 a 2015.

En la figura 6.28, se diferencian sismos superficiales ($h < 60$ km) e intermedios ($61 < h < 300$ km), y su distribución espacial muestra que los superficiales ocurren frente a la línea de costa y representan un 90 % del total de la actividad sísmica que ocurre en el país, aun considerando todos los niveles de profundidad. Esta sismicidad puede ser asociada principalmente al proceso de subducción en sus primeros niveles de profundidad y agrupa los sismos de mayor magnitud que ocasionaron diversos grados de destrucción y muerte en las ciudades distribuidas a lo largo de la línea de costa peruana: sismos que ocurren en el interior

del continente y que se distribuyen de norte a sur, paralelos a la Cordillera de los Andes. Estos sismos podrían tener su origen en las importantes deformaciones superficiales puestas en evidencias con la presencia de importantes fallas neotectónicas como Cerro Chascoso, Alto Los Chilenos, Toquepala, Purgatorio, Micalaco, Villacollo, Caquilluco, Sama-Calientes, Mesacalame y San Francisco.

En la sección A-A', los sismos se distribuyen en profundidad con características diferentes de las otras regiones. La profundidad de los focos sísmicos aumenta linealmente de oeste a este de manera continua con una pendiente de 30° hasta los 300 km de profundidad aproximadamente. Esta sismicidad alcanza una distancia en superficie de 340 km desde el punto A, mientras que a distancias mayores solo se observa la presencia de sismos con foco superficial ($h \leq 60$ km).

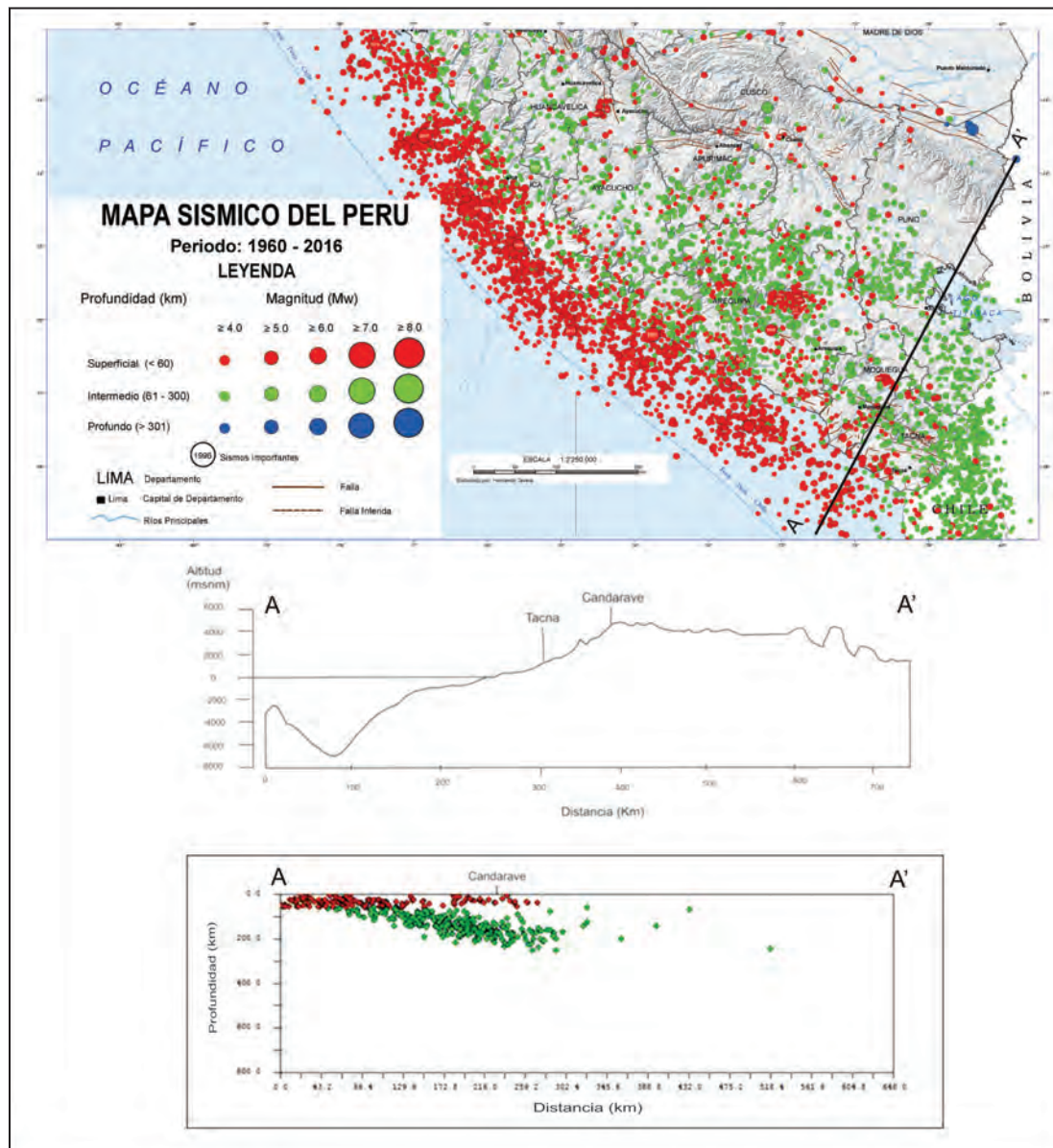


Figura 6.28 Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la región Tacna con una sección sísmica transversal A-A' (SO-NE).

Fuente: Tavera *et al.*, 2016.

6.5.4 Estudio sísmico probabilístico

Con el propósito de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo que en el futuro pudiera ocurrir en la región Tacna, se ha evaluado el peligro sísmico de dicha región, utilizando la base de datos sísmicos del "Catálogo Sísmico del IGP", la Ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1980), y las fuentes sismogénicas definidas por Zamudio y Tavera (2004). Para el cálculo de las aceleraciones máximas se utilizó el programa RISK III (McGuire, 1976).

Se elaboraron mapas de aceleraciones máximas para diferentes periodos de retorno de 20, 50 y 100 años con un 10 % de excedencia dentro de la región. Para 20 años, las aceleraciones oscilan entre 254 a 355 gals (figura 6.29). Para 50 años de vida útil varían de 308 a 408 gals (figura 6.30), y para 100 años varían de 358 a 468 gals (figura 6.31). Estos resultados muestran que las áreas más propensas a soportar aceleraciones importantes se encuentran en el sector oeste de la región Tacna, siendo coherente con el importante número de sismos que en dicha área ocurren.

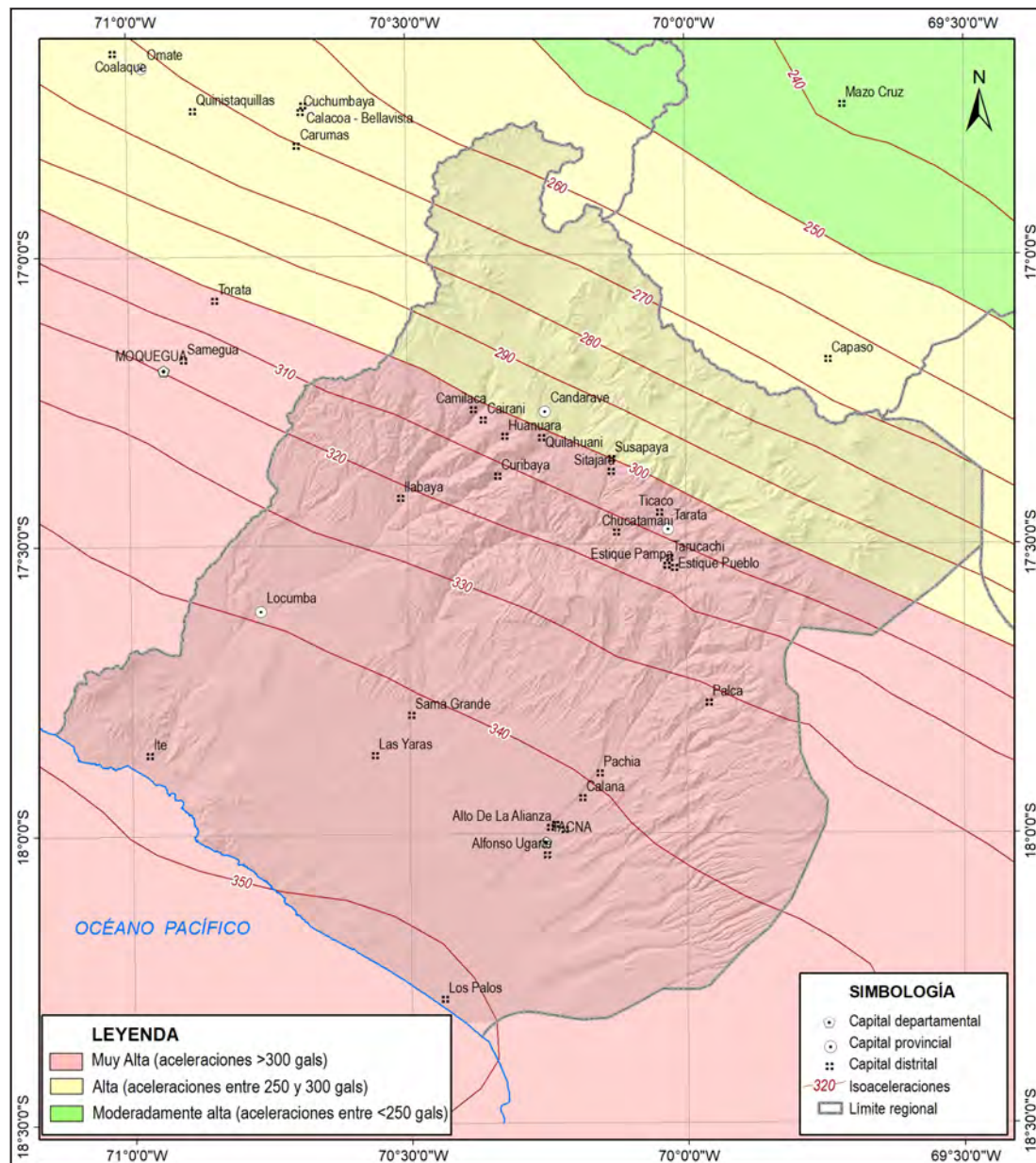


Figura 6.29 Aceleraciones sísmicas máximas para 20 años de la región Tacna (para un 10 % de excedencia).

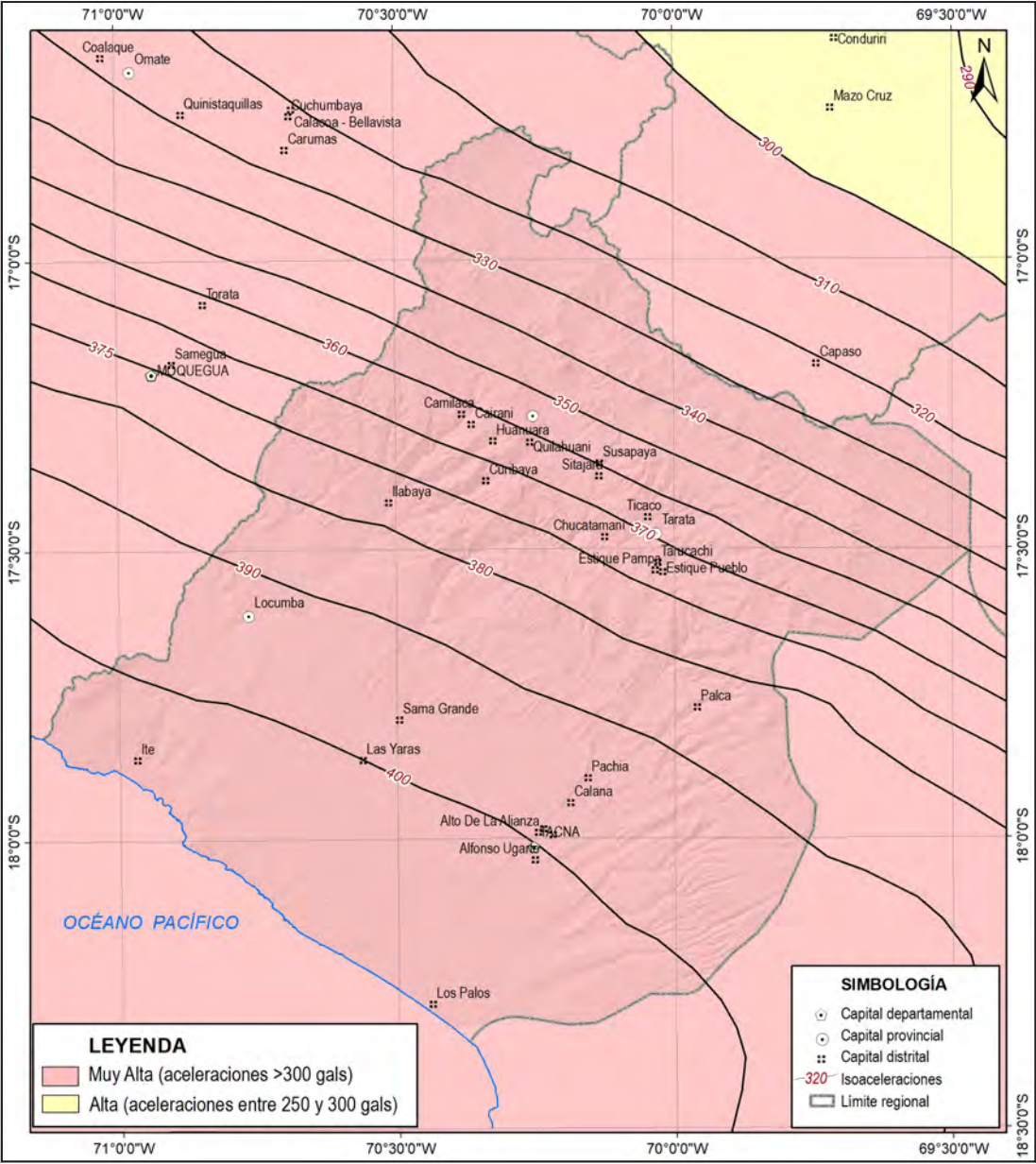


Figura 6.30 Aceleraciones sísmicas máximas para 50 años de la región Tacna (para un 10 % de excedencia)

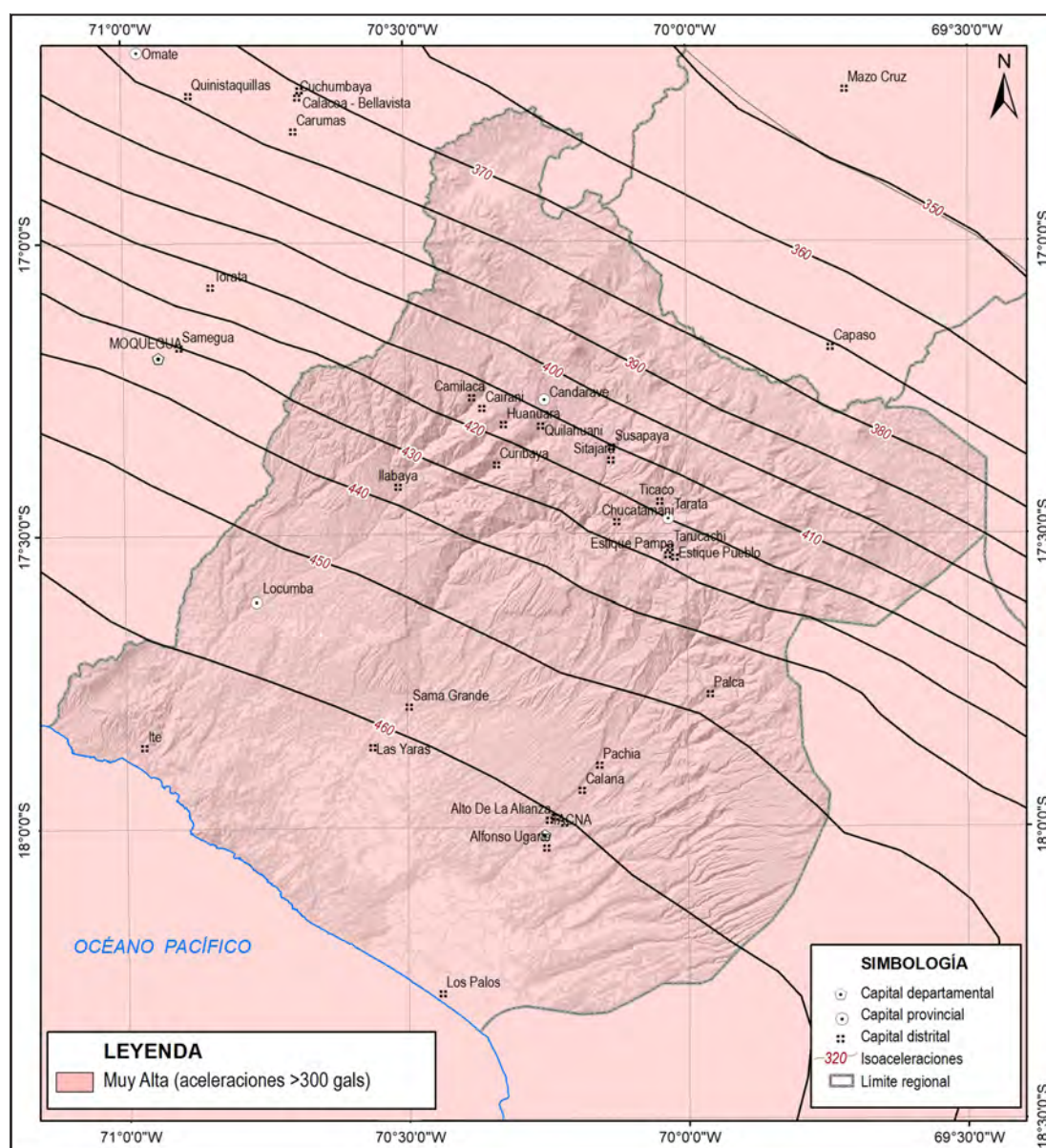


Figura 6.31 Aceleraciones sísmicas máximas para 100 años de la región Tacna (para un 10 % de excedencia)

6.5.5 Zonificación y aceleraciones máximas

Los diversos estudios de sismicidad existentes sirvieron de referencia para que autores como Alva *et al.* (1984) elaboraran el Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, el mismo que actualmente es utilizado en el *Nuevo Reglamento Peruano de Construcción Sísmica con la Norma Técnica de edificación E-30* (Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016). El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura 6.32. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral,

así como la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor Z según se indica en el cuadro 6.9. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad (D. S. n° 003-2016-VIVIENDA).

De acuerdo con este mapa, la región Tacna se ubica en las zonas 3 y 4, correspondiente a una zona de sismicidad alta a muy alta. Según la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" indica valores de "Z" que varían entre 0.25 g y 0.35 g. El valor de "Z" representa una fracción de la aceleración de la gravedad.

Cuadro 6.9

Factores de zona Z

Zona	Z (g)
1	0.1
2	0.25
3	0.35
4	0.45

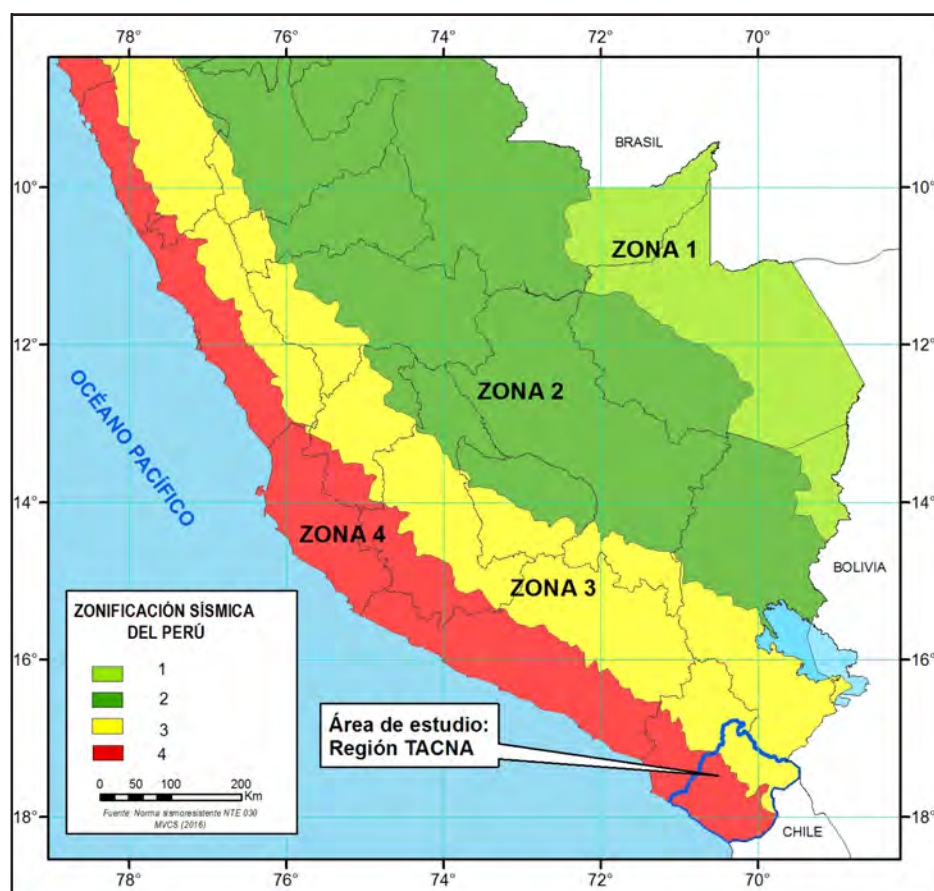


Figura 6.32 Zonificación Sísmica de la región Tacna.

El mapa de zonificación sísmica es coherente con el de aceleraciones máximas, y de su comparación es posible definir la existencia de dos zonas de alta a muy alta sismicidad bien marcada y en las cuales las áreas con valores de intensidades máximas coinciden con las de intensidades para la región de Tacna, área de interés en el presente estudio.

En la figura 6.33 se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la ciudad de Tacna, donde nos muestra

la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 607 gals con una probabilidad del 0.002 %, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 345 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

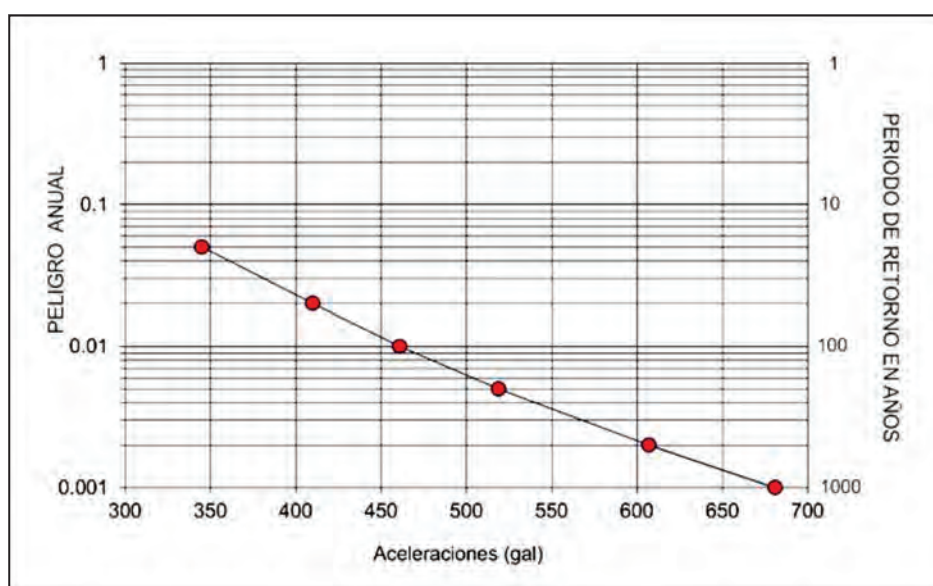


Figura 6.33 Curva de peligro anual para la ciudad de Tacna (-18.01 S – 70.25 O)

Asimismo, en la figura 6.34 se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la localidad de Candarave, donde nos muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 542 gals

con una probabilidad del 0.002 %, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 297 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

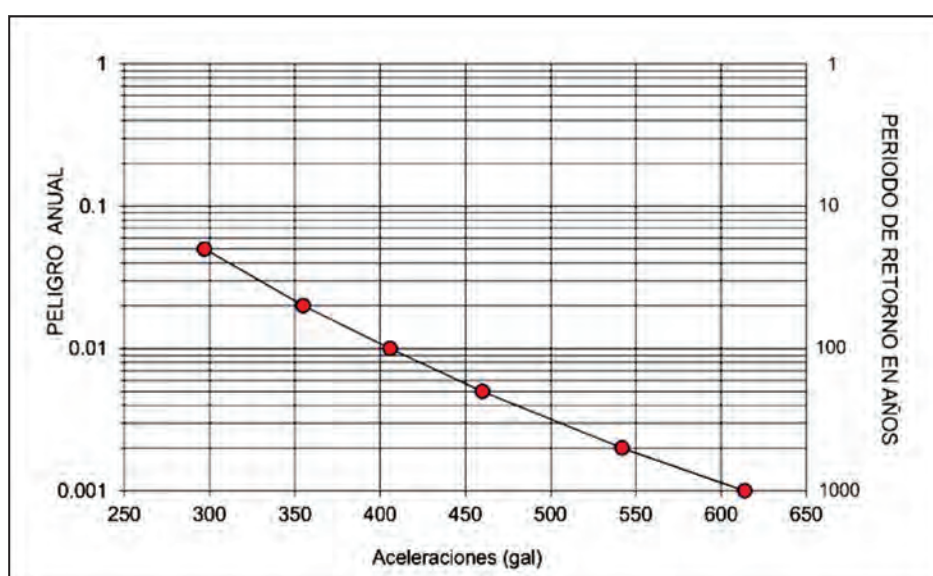


Figura 6.34 Curva de peligro anual para la localidad de Candarave (-17.27 S – 70.25 O)

Del mismo modo, en la figura 6.35 se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la localidad de Mirave, donde nos muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 589 gals

con una probabilidad del 0.002 %, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 330 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

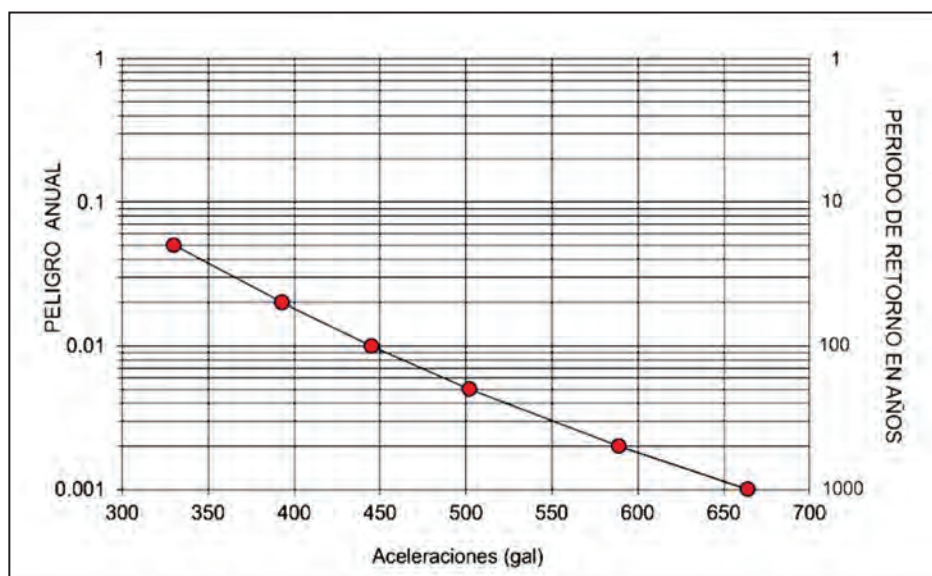


Figura 6.35 Curva de peligro anual para la localidad de Mirave (-17.47 S – 70.55 O)

Según la guía metodológica de evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa (Ojeda *et al.*, 2001) (cuadro 6.10), con ventana de tiempo para 50 años de vida útil correspondientes a 475 años de periodos de retorno

respectivamente, para un 10 % de excedencia, se ha determinado en forma general de acuerdo con los valores de aceleraciones máximas esperadas para la región de Tacna, las categorías de alta y muy alta.

Cuadro 6.10

Clasificación del factor detonante (sismicidad)

Categoría	Descripción	Valor asignado
Muy alta	Se espera un AMH mayores a 300 gals	4
Alta	Se espera un AMH entre 250 gals a 300 gals	3
Moderadamente alta	Se espera un AMH entre 210 gals a 250 gals	2

De acuerdo con el análisis realizado, el Perú es potencialmente sísmico y, por lo tanto, es susceptible a la ocurrencia de sismos de gran magnitud. En estas condiciones es de aceptar que cualquiera de estos sismos puede ser acompañado de tsunamis importantes que inundarían los poblados y localidades distribuidas a lo largo del litoral costero de la región Tacna.

6.5.6 Movimientos en masa detonados por sismos

En la literatura se tiene un mapa de áreas de deslizamientos por sismos en el Perú elaborado por Chang & Alva (1991). La documentación básica consistió en una recolocación y revisión de la información; se contó con una versión preliminar del mapa de deslizamientos por terremotos presentado por Ingemmet. Se trató de encontrar evidencias sobre el fenómeno de deslizamientos por sismos, interpretando los casos como seguros y probables. Los casos probables, por lo general, fueron

aquellos asociados a sismos históricos y a sismos recientes, donde la descripción del fenómeno no es muy detallada.

Para el caso de la región Tacna, estos fenómenos no se registran en esta literatura; pero posteriormente el terremoto del 23 de junio del 2001 afectó una de las principales vías de comunicación en el Perú: la Carretera Panamericana Sur, que une toda la zona sur del litoral peruano y países vecinos como Chile. En el tramo de Tacna – Moquegua – Arequipa de esta vía se registraron derrumbes de taludes, asentamientos de plataformas, hundimientos y fisuras de la calzada, y colapsos de algunos muros de contención, al igual que en la carretera de penetración (vecinal) del puente Camiara a Locumba y en la Carretera Nacional Costanera Sur de Ilo a Tacna, donde también se aprecian colapsos de rellenos. Se produjeron derrumbes que afectaron la circulación de vehículos durante casi una semana. Se removieron los escombros en muchas zonas afectadas y posteriormente se permitió el libre tránsito. El servicio de

transporte ferroviario entre Tacna y Arica se paralizó a causa de daños en varios tramos de esta red.

6.5.7 Licuación de suelos y deformaciones superficiales

Licuación de suelos: ocurre en materiales no consolidados saturados de agua que pierden su capacidad de soporte temporalmente mientras ocurre un sismo. La licuación es una de las amenazas geológicas más destructivas.

Una revisión de la información histórica de licuación de suelos en el Perú fue presentada por Alva (1983). La evidencia de licuación tal como el desarrollo de volcancitos de arena y lodo, la expulsión violenta de agua del terreno, presencia de agrietamiento intenso y asentamiento diferencial debido a los eventos sísmicos se ha tomado en consideración.

Veintisiete casos de licuación de suelos en el Perú fueron determinados. En la costa la licuación de suelos es generalizada debido a la más alta sismicidad y la existencia de mayor población en esta parte del Perú. Existe una correspondencia entre intensidades más altas y la ocurrencia de licuación de suelo en el Perú.

En la región Tacna ocurrió este fenómeno en el terremoto del 13 de agosto de 1868 que fue acompañado de un tsunami en Arica. Silgado (1978) refiere el relato de Toribio Polo: "Agrietamientos del suelo se observaron en varios lugares, especialmente en Arica, de los que brotó agua cenagosa". Bachmann (1935) reporta que "en Sama y Locumba se perdió gran parte de las cosechas y la tierra se abrió a trechos en hondas grietas que vomitaban agua cenagosa". La máxima intensidad de este sismo fue de XI MM.

6.5.8 Tsunamis

Los tsunamis son una serie de ondas marinas de gran tamaño que han sido generadas por una perturbación en el interior del océano, al ocurrir principalmente un movimiento sísmico superficial ($h < 60$ km) con foco en el fondo marino. Dependiendo del tamaño del sismo, las olas pueden alcanzar diversas alturas y muchas veces recorren distancias tan grandes como la existente entre la costa occidental de Sudamérica y la oriental de Japón

a velocidades que prácticamente no son perceptibles sobre la superficie del océano. Del mismo modo, las dimensiones de las áreas inundadas en continente, dependerá del tamaño del sismo y de su ubicación con relación a la línea de costa.

En el Perú, la información histórica e instrumental indica que, durante los últimos 500 años, se han producido un número importante de sismos de gran magnitud que fueron acompañados de tsunamis en algunos casos de diversos tamaños que también han producido destrucción y daños en las principales ciudades distribuidas a lo largo de la línea de la costa de Perú y donde está incluida la costa de la región de Tacna.

Historia de los Tsunamis

Según la historia sísmica de Perú, su costa ha sido afectada por varios tsunamis que se produjeron después de haber ocurrido importantes sismos en los años 1968, 1966, 1960, 1996 y 2001. A continuación, se presenta una breve descripción de las características de estos tsunamis.

- El Tsunami de 1968: El 13 de agosto, que causó daños desde Trujillo (Perú) hasta Concepción (Chile). En Arica una nave de guerra fue varada 400 m tierra adentro. Se sintió en puertos lejanos como Hawái y Japón, epicentro frente a Arica, la altura de la ola registrada fue de 21 m en Concepción.

En el caso de la región Tacna, de producirse un sismo y, por consiguiente, un tsunami; los mayores impactos serían en la desembocadura del río Locumba en el sector de Ite, Caleta Morro-Sama, la parte baja de La Yarada, Caleta Vila Vila, el Balneario de Tomoyo y Boca del Río, playa Llostay, playa Los Palos y hasta el sector de Santa Rosa. En tal sentido, para prever futuras inundaciones, la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú propuso siete (7) cartas de inundaciones para la región de Tacna (anexo I), en las que contribuyen a definir las zonas de inundación, vías de evacuación y zonas de refugio, en caso de ocurrencia de un Tsunami.

En el cuadro 6.11 se muestran las zonas costeras afectadas por tsunamis y que incluye la costa de la región de Tacna, que reportaron tsunamis originados por sismos en el Perú y en otras regiones, desde el año 1604 según Carpio y Tavera (2002).

Cuadro 6.11

Zonas costeras afectadas por tsunamis que incluye la costa de la región Tacna

Fecha	Lat.	Long.	Magnitud (Ms, Mb, Mw)	Intensidad Fuente (Mm)	Localidades afectadas
19-02-1600	16.8	70.9	7.9 Ms	XI	sur del Perú, norte de Chile
28-02-1600	16.6	70.8	8.1 Ms	X	sur del Perú, norte de Chile

Continuación...

Fecha	Lat.	Long.	Magnitud (Ms, Mb, Mw)	Intensidad Fuente (Mm)	Localidades afectadas
24-11-1604	177	71.33	6.5 Ms	VI	sur del Perú, norte de Chile
16-09-1615	18.3	71	8.8 Ms	IX	sur del Perú, norte de Chile
10-03-1681	18.5	70.3	7.5 Ms	-	sur del Perú, norte de Chile
26-11-1705	18.6	70.2	-	-	sur del Perú, norte de Chile
23-08-1715	18.5	70.3	7.5 Ms	-	sur del Perú, norte de Chile
13-08-1858	16.4	16.4	8.8 Ms	X	sur del Perú, norte de Chile
24-08-1871	17.5	72	8.4 Ms	VI	sur del Perú, norte de Chile
7/28/1913	16.6	73.3	7.0 Ms	IX	sur del Perú, norte de Chile
8/6/1913	15.8	73.5	7.8 Ms	X	sur del Perú, norte de Chile
1/6/1922	16.5	73	7.2 Ms	-	sur del Perú, norte de Chile
8/24/1942	15.6	74.7	8.2 Ms	X	sur del Perú, norte de Chile

En el caso del presente estudio, para la región Tacna, la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (2017) propuso cartas actualizadas de inundaciones para siete lugares de la costanera de la región de Tacna, en la que contribuyen a definir las zonas de inundación, vías de evacuación y zonas de refugio en caso de la ocurrencia de un Tsunami.

Estas cartas serán útiles para la preparación de planes de emergencia y posterior realización de simulacros de evacuación para la protección de la población, con el objeto de mitigar los efectos del tsunami y, por consiguiente, reducir los daños materiales y pérdidas de vidas humanas, proponiendo además a un crecimiento urbano ordenado y seguro de las zonas costeras bajas que son más vulnerables.

6.5.8 Actividad neotectónica

El entorno sismotectónico del Perú se caracteriza por la colisión y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, proceso conocido como subducción, el mismo que dio origen a la aparición de la fosa peruana-chilena, a la Cordillera de los Andes, a los principales sistemas de fallas activas y a la ocurrencia continua de un gran número de sismos de diversas magnitudes. Estas

características geomorfológicas, geológicas y geofísicas, permiten considerar al Perú como uno de los países de mayor riesgo sísmico en América Latina.

Estudios sobre la neotectónica de Perú (Sébrier *et al.*, 1982), así como la elaboración del mapa neotectónico (Macharé *et al.*, 2009) y sismotectónicos de Perú (Tavera *et al.*, 2001), han permitido identificar la presencia sobre nuestro territorio de un importante número de fallas activas, muchas de las cuales producen sismos continuamente.

Según los estudios realizados por Noller (1993), Fenton *et al.* (1995) y Audin *et al.* (2008) el área de la región Tacna se encuentra afectada por las siguientes fallas:

- **Cerro Chascoso (PE-):** Se ubica al sur de la región Moquegua, a lo largo de la margen del cerro del mismo nombre (Noller, 1993), forma un escarpe de roca de 10 km de largo aproximadamente y tiene dirección noreste-suroeste. La falla se bifurca en el extremo norte del cerro.

El escarpe de falla tiene expresión superficial activa sobre toda su longitud, con una ruptura superficial reciente que comprende cerca de 8 km de su traza, con un movimiento normal.

El escarpe más reciente tiene una altura aproximada de 3 a 3.5 m y se encuentra bien desarrollado en depósitos coluviales del Holoceno y depósitos eólicos, además muestra escasas evidencias de erosión. Además, cruza hondonadas bajas formado así facetas triangulares (Fenton *et al.*, 1995; Benavente, 2008).

A partir de perfiles realizados con un GPR (Ground Penetrating Radar) podemos observar en los radargramas la traza de falla en profundidad.

- **Alto Los Chilenos:** Se ubica al sur de la localidad de Ite, región Tacna, presenta un trazo bien definido con una longitud aproximada de 10 km y un salto vertical de 4 m. Esta falla hace que un pequeño graben limite con la Falla cerro Morrito ubicada al sur (Noller, 1993).

La asociación cercana de las fallas Alto Los Chilenos y cerro Morrito sugiere historias similares. La segunda es probablemente antitética a la primera.

La falla se caracteriza por un escarpe de 4 m de alto con dirección noreste-suroeste, afecta depósitos del Terciario y depósitos aluviales del Pleistoceno. La mayor parte del escarpe se encuentra muy erosionado y está enterrada por parte de un depósito coluvial y depósitos eólicos.

La edad de los depósitos aluviales a lo largo de la falla es desconocida, pero el desgaste por la acción atmosférica superficial indicaría una edad perteneciente al Pleistoceno medio (Fenton *et al.*, 1995). Se descartan movimientos más recientes debido a la pobre preservación de la escarpa.

- **Toquepala:** Es un segmento principal en el sistema de fallas Incapucquio, se extiende a lo largo de 114 km y está marcada por un lineamiento fuerte de cerca de 5 km al sureste de la región Moquegua, de aquí se extiende hasta llegar entre la cabecera del río Caplina y la cordillera del Barroso, emplazándose en una distancia aproximada de 107 km.

La morfología y la altura de las escarpas son relativamente continuas, con dirección este-oeste a lo largo de la falla hasta el río Ilabaya y llegan a alcanzar un salto vertical de 3 m (Fenton *et al.*, 1995).

La Falla Toquepala tiene una historia compleja de movimientos durante el Cuaternario, sugiriendo para el último movimiento un desplazamiento lateral. Se encuentra dividida en dos secciones: la occidental está marcada por escarpas normales asociadas a pequeños grabens. Su ruptura superficial a lo largo de esta sección se extiende cerca de 40 km entre pampa Lagunas y río Ilabaya. La falla cruza la pampa Lagunas afectando unidades del Mioceno y depósitos aluviales recientes.

La sección oriental está marcada por un patrón más simple de la ruptura en comparación con la sección occidental. La ruptura superficial produjo una escarpa lineal, afectando unidades del Mioceno y depósitos aluviales donde la falla atraviesa cursos de drenaje. La falla forma una escarpa casi continua de 25 km de largo, desde Coropuro en el río Sama hasta cerro Palquilla sobre la quebrada Chero.

La escarpa de la falla mantiene una cara libre que mide cerca de 1 m de alto a lo largo de la parte mayor y podría indicar el último movimiento en el Holoceno, mientras que toda la escarpa alcanza 3 m de altura.

En el 2004, David *et al.* determinaron que en la región la microsismicidad está presente a lo largo de la Falla Incapucquio formando varias agrupaciones, mientras que aparece dispersa sobre el resto de las fallas.

Villacollo: Se ubica entre la localidad de Villacollo y el río Sama. Comprende una serie de escarpas de dirección aproximada noreste-suroeste, que cortan depósitos aluviales recientes. La falla tiene dos secciones según las direcciones y geometría que presentan (Noller, 1993).

Se observa carencia de depósitos cuaternarios y roca altamente fracturada en los extremos occidentales de ambas secciones, haciendo difícil determinar su longitud verdadera.

Esta sección abarca dos segmentos secundarios que atraviesan el lado noroeste del valle de río Sama y se extienden al noroeste del río Curibaya, pero no lo cruzan. El movimiento más reciente en la sección occidental ocurrió durante el Pleistoceno, con características normales; la preservación de escarpas en el depósito aluvial sugiere que puede ser del Pleistoceno superior (Fenton *et al.*, 1995).

- **Cerro Caquilluco:** Se emplaza en una extensión de 18 km a través de una superficie de erosión entre el río Sama y Tacna. La falla parece disturbar la superficie erosiva del Mioceno y aparece como lineamiento claro debajo del cerro Caquilluco con dirección noroeste-sureste; su último movimiento ocurrió durante el Pleistoceno superior (Noller, 1993).
- **Cerro Morrito:** Limita en el lado meridional del graben entre las fallas Alto Los Chilenos y Cerro Morrito (Noller, 1993). Tiene dirección noreste-suroeste y se emplaza a lo largo de 5.6 km de longitud. La asociación cercana de las fallas Alto Los Chilenos y de Cerro Morrito sugiere que tienen historias similares en su origen. La Falla de Cerro Morrito es probablemente antitética a la Falla Alto Los Chilenos.

La escarpa de falla tiene un salto vertical de 2 a 3 m, afecta depósitos aluviales del Pleistoceno y la parte noreste está cubierta por depósitos eólicos. El buzamiento hacia el noroeste se basa en la expresión topográfica de la falla.

- **Micalaco:** Se ubica al norte del Sistema de Fallas de Incapuquio; se emplaza a lo largo de 33 km, cruza el cerro Yarito, la parte oeste de la mina Toquepala y el cerro Cadete hasta llegar al sector de Micalaco, donde se divide en tres ramas antes de desaparecer en el área de un extenso deslizamiento sobre el río Ilabaya (Noller, 1993).

La falla está marcada por una serie de escarpas de 1.5 a 2 m en roca y depósitos aluviales con dirección noroeste-sureste y buzamiento hacia el suroeste. Las escarpas en los depósitos aluviales son afectadas solo por los canales más recientes de la corriente, lo que sugiere un movimiento reciente (Fenton *et al.*, 1995).

- **Purgatorio:** El Sistema de Fallas Purgatorio se localiza a una altura promedio de 1 200 m s. n. m., entre las ciudades de Moquegua y Mirave, en el borde de la Cordillera Occidental (Noller, 1993). La falla activa afecta a abanicos aluviales cuaternarios y a niveles sedimentarios de la Formación Moquegua superior. Es una falla dextral con un componente inverso, tiene un rumbo aproximadamente paralelo al sistema de fallas de Incapuquio, pero se ubica hacia la zona del Pacífico (Audin *et al.*, 2007; Benavente, 2009).

Se extiende sobre más de 45 km, y su traza en superficie se manifiesta por un escarpe que evidencia un desplazamiento vertical (3 m) y un componente lateral. La Falla Purgatorio muestra actividad, movimientos e historia complejos.

El segmento este de la falla tiene dirección noroeste-sureste, mientras que sobre la localidad de Mirave la ruptura se desvía de una tendencia noroeste-sureste hacia otra este-oeste (Fenton *et al.*, 1995). El Sistema de Fallas probablemente también se asocia a la falla previamente cartografiada en la localidad de Chulibaya por Sèbrier *et al.* (1985) y a la falla inversa con buzamiento hacia el este localizada en la localidad de Mirave.

Se observan terrazas de 0.5 a 2 metros de altitud sobre el actual cauce del valle. Estos depósitos Cuaternarios constituidos por gravas y arenas están afectados por la falla, al igual que la pampa Purgatorio en el extremo occidental del poblado de Mirave. Las escarpas de falla forman charcas o lagunillas a lo largo del trazo de esta.

- **Sama-Calientes:** El Sistema de Fallas Sama-Calientes (activas) se ubica a una altura media de 1700 m s. n. m., en la región, exactamente entre la quebrada Locumba y la frontera Perú-Chile. La traza de la falla pasa cerca de las localidades de Sama y Calientes; esta última a 20 km del departamento de Tacna. Por esta razón, presenta un tipo de riesgo que debe tomarse en consideración.

El Sistema de Fallas Sama-Calientes afecta depósitos aluviales, fluviales y lacustres pertenecientes a las terrazas aluviales del Plioceno, Pleistoceno y Holoceno (Benavente *et al.*, 2008).

Las evidencias de tectónica compresiva se expresan en cambios en la geomorfología, los cuales alteraron los cursos de los paleoríos, además de las terrazas aluviales encajonadas compuestas por secuencias conglomeráticas de gran espesor y de clastos de gran diámetro. Estas secuencias son afectadas por fallas inversas y flexuras con un buzamiento principal hacia el este. Las fallas inversas tienen un rumbo aproximado N120°E y son las que actualmente participan en el levantamiento del bloque cordillerano (Audin *et al.*, 2007; Benavente, 2008).

En el río Caplina se ubica junto a la traza de falla una fuente de aguas calientes de más de 40 °C; en la misma dirección, se observa un afloramiento en la margen izquierda del río Caplina (señalado con punto blanco), el que evidencia una falla inversa en la terraza más reciente.

- **Mesacalene:** Es una falla poco estudiada, pero potencialmente activa; se encuentra en el límite de las regiones Moquegua y Tacna, en la margen suroeste del volcán Mesacalene.

La Falla Mesacalene fue reconocida a partir de un estudio detallado de fotos aéreas e imágenes satelitales a diferentes escalas, en las que se observa que la traza de la falla afecta depósitos recientes, así como a las lavas del volcán activo Mesacalene. La traza de la falla tiene dirección noroeste-sureste y buzamiento hacia el sureste.

El 2006 se registró un sismo de magnitud de 4.5 asociado probablemente a esta falla. En el caso de este sismo se determinó una profundidad focal de 14 km.

- **San Francisco (PE-52):** Se caracteriza por una serie de escarpas degradadas y discontinuas en depósitos aluviales al noreste de Tacna. La traza de falla se extiende a lo largo de 21 km con rumbo noroeste-sureste, y afecta depósitos del río Caplina, la pampa San Francisco y la quebrada Cobani (Noller, 1993).

La parte sureste de la falla se expresa simplemente como fractura de la roca o como una escarpa de baja altura enterrada en parte por depósitos eólicos. Sin embargo, la falla expresa un salto vertical de 1 a 1.5 m (Fenton *et al.*, 1995).

- **Fosa Perú-Chile (zona de subducción de Nazca):** Se encuentra en alta mar, a unos 100 a 200 km al oeste de la costa del Pacífico en Perú y se extiende de norte a sur a lo largo de toda la costa occidental de América del Sur. Esta zona de subducción es la responsable de la mayoría de los

grandes sismos ($M > 8$) y tsunamis que han golpeado la costa occidental de América del Sur.

La morfología de la fosa se expresa en el fondo del océano que libera energía durante sismos de subducción; estos originan levantamientos o subsidencias a lo largo de las regiones costeras adyacentes.

En la zona de subducción ocurrieron grandes sismos como en 1906 (Ecuador), 1960 (Chile) y 2001-2007 (Perú), con magnitudes de 8, 9.5, 8.2 y 7.9 en la escala de Richter, respectivamente. Se desconoce el intervalo de tiempo de recurrencia de los grandes sismos, pero se calcula que en el Perú deben producirse en intervalos de tiempo de cientos de años.

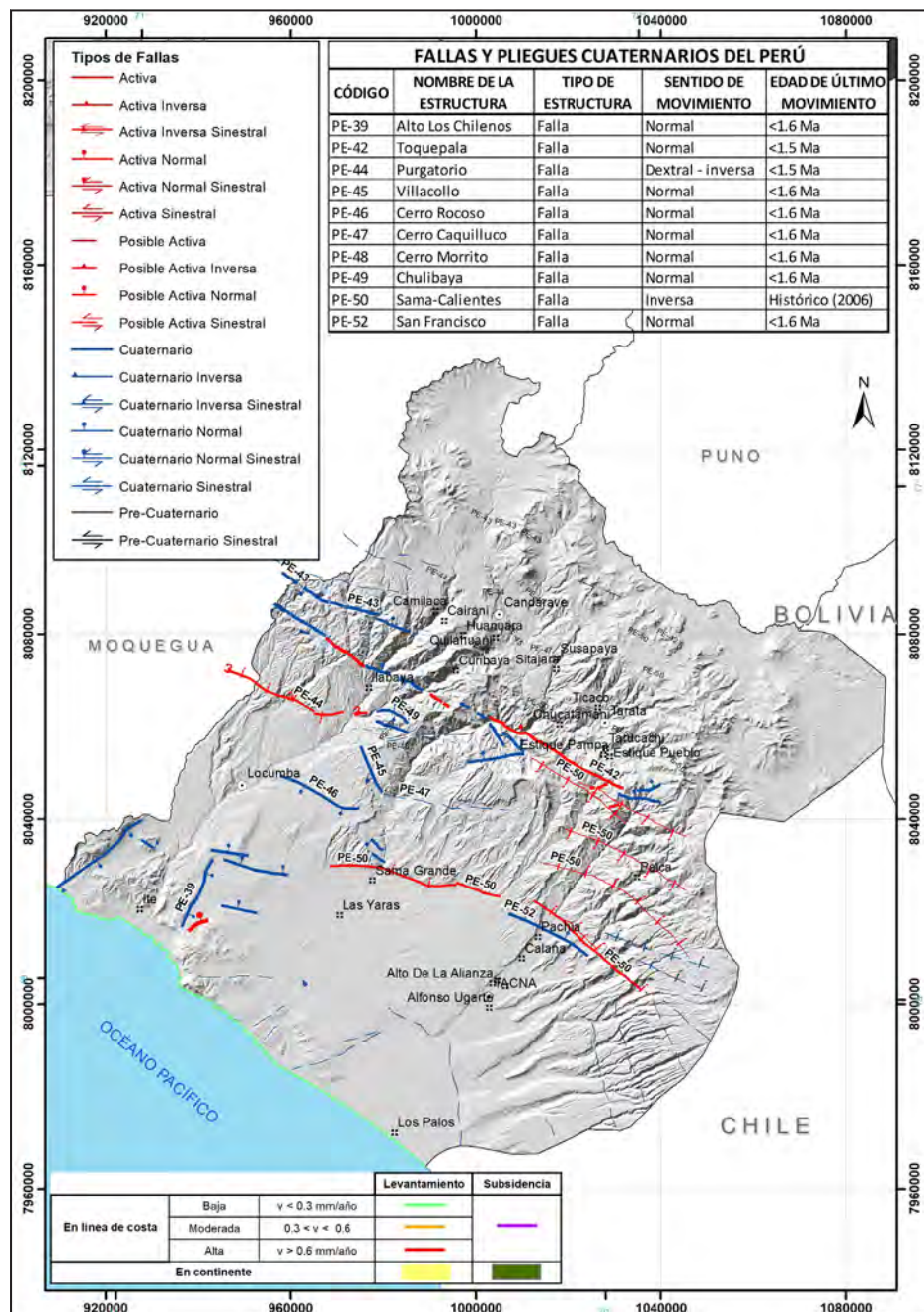


Figura 6.36 Mapa neotectónico de la región Tacna.

Fuente: Macharé *et al.*, 2009

CAPÍTULO VII

ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN TACNA

7.1 GENERALIDADES

El presente capítulo enfatiza las zonas o áreas consideradas como críticas, con peligros potenciales de acuerdo con la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados). Zonas que muestran una recurrencia en algunos casos periódica a excepcional, algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y, donde es necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres. Sobre estas zonas se dan recomendaciones generales para prevención y mitigación de desastres.

La información fue obtenida de informes, artículos periodísticos, relatos orales de los mismos pobladores y principalmente observaciones de campo. Constituye información geológica útil sobre áreas afectadas por peligros o potencialmente susceptibles a los peligros, la cual se pone a consideración de CENEPRED, INDECI, Gobierno Central, Regional y municipalidades.

Sin embargo, no se puede dejar de manifestar que, si bien este estudio recomienda la priorización de obras en estas zonas críticas, buscando mitigar o reducir los daños causados por estos peligros, no se debe restar atención a las demás zonas que han sido identificadas en el inventario de peligros. Es necesario tener presente también aquellos peligros que aparecen cartografiados

en el mapa geomorfológico, ya que ante la presencia de lluvias excepcionales, muchas de estas zonas podría aumentar y acelerar su actividad, o reactivarse hasta constituirse en nuevas zonas críticas.

En el mapa 9, se muestra la distribución de 45 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos del departamento Tacna, que fueron analizadas e identificadas en el 2015 durante los trabajos de campo en la región con el proyecto GA45A: Riesgo geológico de la región Tacna, en el informe técnico *Zonas críticas por peligro geológico en la región Tacna* (Luque, 2016) y el estudio *Riesgos geológicos en el Perú - Franja n° 1* (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

7.2 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

Luego de realizar la correlación estadística del tipo de peligro o peligros que concurren en las 45 zonas críticas identificadas en el departamento de Tacna y su ubicación por provincia (gráfico 7.1), se puede observar que la mayor cantidad de zonas críticas a la ocurrencia de peligros geológicos se ubican en la provincia de Tarata (15), seguido por las provincias de Candarave (14), Tacna (9) y Jorge Basadre (7).

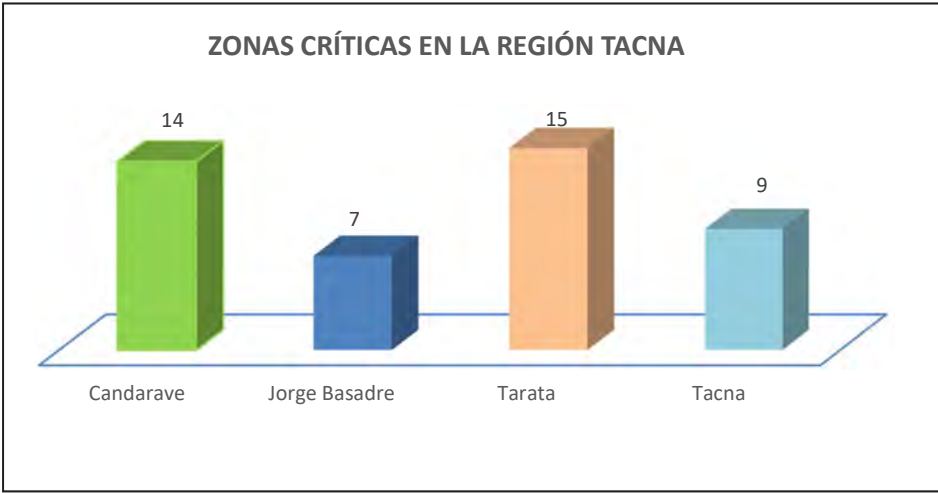


Gráfico 7.1 Zonas críticas por provincias en la región Tacna. Elaboración propia.

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 las zonas críticas resultan de la combinación de más de dos peligros.

En los cuadros 7.1 al 7.4, se describen los principales sectores considerados críticos agrupados por provincia. En cada uno se indica el /los tipos de peligros a los que están expuestos, las zonas vulnerables (afectadas o con potencial de daño), así como las recomendaciones que deben tomarse en cuenta para prevenir y mitigar daños.

7.2.1 Provincia de Candarave

Esta provincia se encuentra al norte de la región Tacna, con una extensión de 2312.07 km² y una población de 6102 habitantes (INEI - Censo de Población y Vivienda 2017). Su capital es la ciudad de Candarave que se encuentra a 3415 m s. n. m. La provincia de Candarave está compuesta por seis distritos: Candarave, Cairani, Camilaca, Curibaya, Huanuara y Quilahuani.

Se identificó 14 zonas críticas (cuadro 7.1), principalmente deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos, erosión fluvial, las cuales se detallan a continuación por distritos y se aprecian en las figuras 7.1 a la 7.14.

Cuadro 7.1

Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Candarave

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
1. Borogueña (Camilaca)	Área sujeta a erosión de laderas y huaicos. Poblado de Borogueña es afectado por intensa erosión en cárcavas en laderas de los cerros Cotañane y Borogueña; en época de lluvias se genera huaicos en la margen derecha de la quebrada Borogueña. También, es afectado por derrumbes debido al corte de carretera de acceso al estadio. Se ha colocado muro de gaviones transversales a la cárcava (figura 7.1).	Puede afectar viviendas del poblado Borogueña, carretera de acceso y terrenos de cultivo.	Reforestación de laderas, encauzar drenaje. Prohibir la construcción de viviendas muy cerca de las cárcavas. Sistema de drenaje.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
2. Coraguaya (Camilaca)	Área sujeta a avalanchas de detritos, erosión de laderas y huaicos. El poblado Coraguaya se encuentra ubicado sobre el depósito de una avalancha de detritos antigua en laderas del cerro Cicuni (figura 7.2) . En caso de lluvias excepcionales pueden generarse huaicos y afectar viviendas del poblado, o en caso de sismos pueden caer bloques suspendidos en las laderas.	Puede afectar viviendas y loza deportiva del poblado Coraguaya.	Colocar muros de contención. Reforestación de laderas. Reubicar viviendas que se encuentran sobre estos depósitos inconsolidados.
3. Camilaca (Camilaca)	Área sujeta a deslizamientos, derrumbes, erosión de laderas y huaicos. Zona de deslizamientos en la margen derecha del río Camilaca. A pesar de que se recomendó la reubicación de viviendas al poblado Nuevo y Alto Camilaca aún existen viviendas habitadas en Camilaca antigua (figura 7.3) . Con presencia de cárcavas muy desarrolladas que en época de lluvias generan huaicos.	Afectó viviendas del poblado Camilaca antigua y terrenos de cultivo.	Reubicación de viviendas del poblado Camilaca antiguo.
4. Yarabamba (Cairani)	Área sujeta a deslizamientos. Deslizamiento en la margen izquierda del río Cotaña; poblado de Yarabamba se encuentra por encima de una escarpa antigua de un deslizamiento rotacional, al pie del depósito presenta derrumbes.	Puede afectar viviendas que se encuentran cerca de la escarpa antigua, terrenos de cultivo y canal de riego.	Reforestación de laderas. Prohibir la construcción de viviendas cerca del acantilado.
5. Cairani (Cairani)	Área sujeta a deslizamientos. El poblado de Cairani se encuentra sobre el depósito de un deslizamiento antiguo en laderas del cerro Alto Cairani, en la margen izquierda del río Camilaca. Con reactivaciones a manera de derrumbes (figura 7.4) en la escarpa principal , y pequeños deslizamientos al pie del depósito que represó al río.	Puede afectar viviendas del poblado Cairani, terrenos de cultivo.	Reforestación de laderas. Sistema de drenaje. Prohibir la construcción de viviendas cerca al acantilado. Cambio de riego por gravedad.
6. Pallata (Quilahuani)	Área sujeta a deslizamientos, caída de rocas y derrumbes. En laderas del cerro Tancatacamí en la margen derecha del río Callazas. La zona de escarpa del deslizamiento muestra reactivación a manera de caída de rocas. Poblado de Pallata se encuentra sobre depósito de un antiguo deslizamiento; al pie del deslizamiento se presenta derrumbes y pequeños deslizamientos (figura 7.5) .	Afecta viviendas del poblado Pallata y Talaca, carretera Candarave-Quilahuani, terrenos de cultivo.	Reubicar viviendas. Mejorar técnicas de riego. Sistema de drenaje.
7. Quilahuani (Quilahuani)	Área sujeta a caída de rocas, derrumbes, huaicos y deslizamientos. Deslizamiento antiguo en ladera del cerro Alto Quilahuani. Presencia de canchales de detritos en escarpa antigua. Poblado de Quilahuani asentado sobre el cuerpo de un deslizamiento de grandes dimensiones (figura 7.6) , un terreno cóncavo-convexo.	Afecta viviendas del poblado de Quilahuani, carretera Candarave-Quilahuani, terrenos de cultivo.	Reubicar viviendas. Mejorar técnicas de riego. Sistema de drenaje.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
8. Candarave (Candarave)	Área sujeta a deslizamientos, derrumbes, huaicos, flujos de lodo y erosión fluvial. El poblado de Candarave se encuentra sobre un deslizamiento antiguo en la margen derecha del río Callazas. Los canales de riego sin revestir y filtraciones de reservorio pueden reactivarlo. Al pie del depósito presenta deslizamientos y derrumbes. La zona también es afectada por huaicos que descienden de la quebrada Jucuturi y el río Candarave. Todos los años la quebrada Jucuturi (de fuerte pendiente) acarrea huaico en el poblado Candarave, cruzando los terrenos de cultivo en la entrada del poblado (barrio Villapampa). En el año 2013 el río Candarave se llevó el puente Tacna y colapsó una vivienda. Actualmente el cauce se encuentra colmatado con basura y material. Se ha colocado muros de enrocado en sectores que presentan socavamiento en las bases. Aguas arriba se ha estrangulado el cauce de 10 m a 5.2 m, al colocar el puente El Triunfo. Aguas abajo presenta erosión fluvial en la margen izquierda del río Candarave; puede afectar viviendas y estribo de puente Candarave, aguas abajo del puente termina canalización de concreto (figuras 7.7 y 7.8).	Puede afectar puente Tacna de 6 m, Dos de Mayo de 6 m y El Triunfo de 10 m de ancho así como viviendas que se encuentran en ambas márgenes. Puede afectar puente Río Candarave de 14 m de ancho. Viviendas de las Av. del poblado Candarave. La quebrada Jucuturi afectó instalaciones del Ministerio Público, estadio, terrenos de cultivo y viviendas del barrio Villapampa en la margen izquierda de la quebrada. Los derrumbes y deslizamientos pueden afectar carretera Candarave-Yucamani.	Limpieza de cauce, canalizar quebrada Jucuturi y río Camilaca. Reubicar las viviendas que se encuentran muy cerca del cauce. Cambio de las técnicas de riego. Sistema de drenaje.
9. Inchupalla-Aricota (Candarave)	Área sujeta a huaicos, inundación y erosión fluvial. Erosión fluvial en ambas márgenes del río Callazas. En el sector Inchupalla presenta erosión fluvial en la margen izquierda del río Callazas donde arrasó un muro de gaviones y socavó estribo de puente (figura 7.9). Aguas abajo, sector Aricota, se colocó muro de gaviones a manera de diques transversales para mitigar la erosión, medida insuficiente debido a la dinámica fluvial, generándose derrumbes que contribuyen a la pérdida de terrenos de cultivo.	Afecta tramo de la carretera Ticaco-Candarave, de acceso a Aricota, y terrenos de cultivo. Se llevó un muro de gaviones de 200 m de longitud. Presenta socavación de 8 m de longitud y 1 m de profundidad en el estribo izquierdo del puente Inchupalla-Candarave (15 m).	Limpieza de cauce. Colocar defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río.
10. Central Hidroeléctrica Aricota I (Curibaya)	Área sujeta a huaicos, erosión de la damera y derrumbes. Abanico de la quebrada Shumbiraca corta la carretera Ilabaya-Curibaya; podría afectar instalaciones de la Subestación C.H. Aricota I (figura 7.10). También es afectado por derrumbes en forma de canchales, que en época de lluvias intensas generan huaicos. Con presencia de derrumbes en talud superior de la carretera Ilabaya-Curibaya (km 15+000-km 23+000).		

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
11. Curibaya (Curibaya)	Área sujeta a deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas , huaicos y erosión fluvial. El poblado de Curibaya se encuentra al pie de un deslizamiento antiguo producto de la avalancha de rocas que represó la laguna Aricota (figura 7.11). El área también es afectada por huaicos y derrumbes debido a la dinámica fluvial del río.	Puede afectar viviendas, canales de riego, terrenos de cultivo y tramo de carretera Curibaya-Aricota.	Prohibir la construcción de viviendas dentro del cuerpo del deslizamiento antiguo. Revestir canales de riego. Defensa ribereña.
12. Central Hidroeléctrica Aricota II (Curibaya/Ilabaya)	Área sujeta a huaicos, derrumbes y caída de rocas. Zona de huaicos periódicos en ambas márgenes del río Curibaya, la Central Hidroeléctrica Aricota II es afectada por las quebradas La Cruz, Paquiña y Chintari. Esta última se activó el 26/03/2015 afectando parte de las instalaciones de la C.H (almacén, puente de ingreso, y un grifo afectados). Mientras que la quebrada Paquiña afectó el reservorio. En el año 1998 la quebrada La Cruz destruyó viviendas, embalsó el río y se llevó puente de la C.H. La zona también es afectada por derrumbes en forma de canchales de detritos que alimentan el cauce de estas quebradas y en el talud superior de la carretera Ilabaya-Curibaya (figura 7.12). Aguas abajo el huaico se desbordó llevándose parte de la plataforma de la carretera por sectores.	Afecta instalaciones de la C.H. Aricota II. Tramo de la carretera Ilabaya-Curibaya (km 18+000- km 20+000)	Limpieza de cauce, canalizar quebradas. Reubicar una parte de las instalaciones de la CH. Aricota II. Defensa ribereña para proteger plataforma de carretera Ilabaya-Curibaya, muros de contención.
13. km 18+000 – km 24+000 de la carretera Ilabaya-Candarave (Camilaca)	Área sujeta a derrumbes, caída de rocas, erosión de laderas y erosión fluvial . Derrumbes por corte de carretera y depósitos no consolidados afectan varios tramos de la carretera Ilabaya-Camilaca en margen izquierda del río Ilabaya (figura 7.13).	Área sujeta a derrumbes, caída de rocas, erosión de laderas y erosión fluvial . Derrumbes por corte de carretera y depósitos no consolidados afectan varios tramos de la carretera Ilabaya-Camilaca en margen izquierda del río Ilabaya (figura 7.13).	Mejorar talud. Muros de contención. Colocar defensa ribereña.
14. Huanuara (Huanuara)	Área sujeta a huaicos, deslizamientos, inundación y erosión fluvial . Huaico en quebrada Picacahua - Poblado de Huanuara se encuentra sobre abanico formado en la desembocadura de quebrada en la margen izquierda de la quebrada Huanuara. Se ha canalizado con gaviones cerca de la desembocadura. La zona también es afectada por deslizamientos en las laderas del cerro Alto Cairani, en la margen derecha de la quebrada Huanuara (figura 7.14).	Puede afectar viviendas, terrenos de cultivo, tramo de la carretera Cairani-Huanuara, Huanuara-Andabaya y puente.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas cerca del cauce de la quebrada.



Figura 7.1 Erosión de laderas (cárcavas) en el poblado Borogueña, en época de lluvias se generan huaicos.



Figura 7.2 Avalancha de rocas, donde el poblado de Coraguaya se encuentra al pie del depósito, distrito de Camilaca.



Figura 7.3 Deslizamiento y derrumbes en margen derecha del río Camilaca, sector Camilaca Antigua.



Figura 7.4 Deslizamiento (línea de color amarillo) y derrumbes reactivados (líneas de color rojo) al pie de un depósito antiguo, en la margen izquierda del río Camilaca, sector Cairani.



Figura 7.5 Escarpa del deslizamiento de Pallata, reactivado como derrumbes o caída de rocas que originan depósitos de canchales (c). Vista al suroeste.

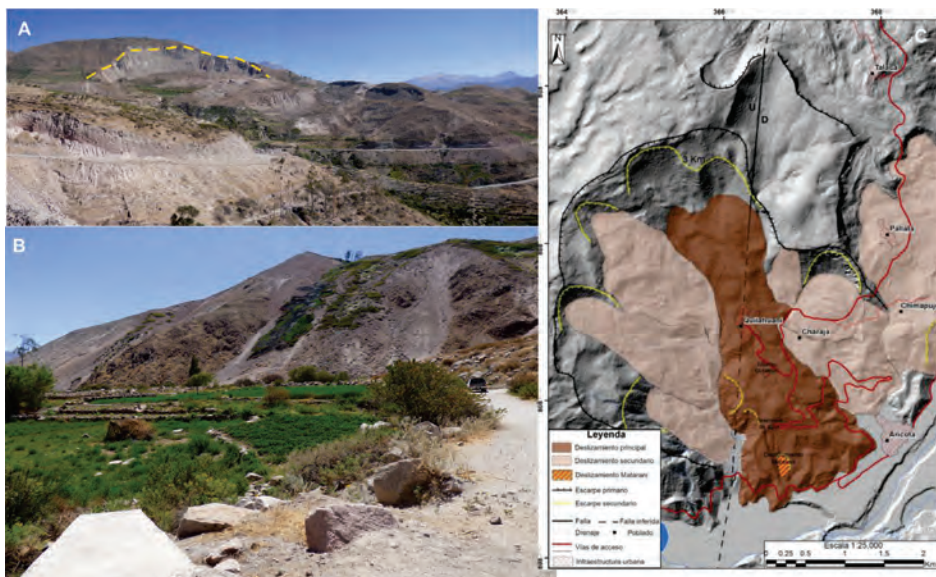




Figura 7.7 A) Vista del cauce colmatado del río Candarave, aguas arriba del puente 2 de Mayo; B) Vista del cauce estrangulado y colmatado aguas arriba del puente El Triunfo; C y D) Cauce colmatado encauzado por partes, aguas abajo del puente Dos de Mayo; E y F) Canalización de una parte del río Candarave hasta el puente Candarave de 14 m de longitud, como se observa en las vistas anteriores, en la parte alta el cauce se encuentra estrangulado (5-6 m) y colmatado; G y H) depósito del último huaico acarreado por la quebrada Jucuturi.



Figura 7.8 Deslizamiento antiguo en la margen derecha del río Callazas, el poblado Candarave se encuentra dentro del cuerpo del fenómeno, con vista al suroeste.



Figura 7.9 A) Vista panorámica de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Callazas, sector Aricota; B) erosión fluvial en la margen izquierda del río Callazas en el sector Inchupalla; C) erosión fluvial en ambas márgenes del río Callazas, la carretera Ticaco-Candarave corta este río.



Figura 7.10 Vista panorámica de la Central Hidroeléctrica Aricota I, afectada por huaicos que descienden de las laderas del cerro donde se exponen depósitos coluvio-deluviales.



Figura 7.11 Poblado de Curibaya ubicado en el cuerpo de un deslizamiento antiguo, el cual muestra un relieve ondulado (cóncavo-convexo) y escalonado.



Figura 7.12 Sector Aricota II, sector Chintari afectado por huaicos que descienden de las quebradas Chintari y Paquiña.



Figura 7.13 Derrumbes en el talud superior de la carretera Ilabaya-Candarave km 18+000 – km 24+000, sector Cambaya.



Figura 7.14 A) Vista panorámica del poblado Huanuara; B) deslizamiento en la margen derecha de la quebrada Huanuara; C) erosión fluvial en la margen derecha de la quebrada Huanuara.

7.2.2 Provincia de Jorge Basadre

Esta provincia se encuentra al este de la región Tacna, con una extensión de 2732.52 km² y una población de 10 773 habitantes (INEI - Censo de Población y Vivienda 2017). Su capital es la ciudad de Ilabaya que se encuentra a 1425 m s. n. m. La provincia de Jorge Basadre está compuesta por tres distritos: Locumba, Ilabaya e Ite.

En esta provincia se identificó siete zonas críticas (cuadro 7.2), principalmente deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos, erosión fluvial, las cuales se detallan a continuación por distritos y se aprecian en las figuras 7.15 a la 7.24.

Cuadro 7.2

Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Jorge Basadre

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
15. Higuerani (Ilabaya)	Área sujeta a derrumbes, huaicos, erosión de laderas, inundación y erosión fluvial. Erosión en cárcavas en laderas del cerro Cuesta del Diablo, en época de lluvias discurren huaicos a través de estas que cortan al poblado Higuerani (figura 7.15). Erosión fluvial en la margen izquierda del río Micalaco ha generado derrumbes en las laderas del cerro El Manto que pueden afectar tramo de carretera Mirave-Toquepala. Se ha colocado un muro de contención en la margen derecha del río.	Afecta viviendas del poblado Higuerani, loza deportiva. Puede afectar carretera Mirave-Toquepala.	Canalización de la quebrada. Defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río. Reubicar una parte del poblado. Reforestar laderas.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
16. Ilabaya (Ilabaya)	Área sujeta a huaicos, erosión e inundación fluviales. Huaicos periódicos que acarrear el río Calumbraya y la quebrada Pachana, en la margen derecha del río Ilabaya (figuras 7.16 y 7.17), a consecuencia de lluvias intensas. Con presencia de derrumbes y erosión de laderas (badlands) en ambas márgenes del río Calumbraya. La zona también es afectada por inundaciones en la margen derecha del río Ilabaya para lo cual se ha colocado un muro de gaviones.	Afectó viviendas, carretera Mirave-Ilabaya, terrenos de cultivo, puente Colacaya (26 m). Se llevó muros de contención en ambas márgenes por socavamiento de bases. Se llevó una parte de la plataforma de la carretera a Ilabaya en el sector Pachana.	Reubicar viviendas que se encuentran cerca al cauce del río Ilabaya. Mejorar la defensa ribereña. Limpieza de cauces. Control de erosión.
17. Mirave (Ilabaya)	Área sujeta a erosión de laderas, derrumbes, huaicos y flujos de lodo. El poblado de Mirave se encuentra asentado sobre depósitos de flujos de detritos. El 26 de marzo de 2015, a las 17:00 horas aproximadamente, en la microcuenca de la quebrada Mirave, a consecuencia de las intensas lluvias excepcionales se originaron huaicos, que afectaron viviendas, vías de comunicación y áreas de cultivo en la localidad de Mirave. Debido a los recurrentes huaicos, los diques transversales colocados en la quebrada Mirave y tributarios, se encuentran completamente rellenos o colmatados por depósitos de flujos de detritos y lodo (figuras 7.18 y 7.19). Indicador que señala a la microcuenca muy activa a la ocurrencia de flujos de detritos excepcionales. La zona también es afectada por derrumbes e intensa erosión de laderas que pueden afectar a las viviendas ubicadas al pie de los acantilados o laderas con pendiente muy escarpada y debido a la composición litológica. El 08 de febrero del 2019, un huaico arrasó con el poblado de Mirave (figura 7.20).	En el año 2015, afectó viviendas, carretera Mirave-Toquepala, Mirave-Ilabaya, terrenos de cultivo, coliseo, vías de comunicación y áreas de cultivo en la localidad de Mirave. En el año 2019, el huaico destruyó el poblado de Mirave.	Reubicar viviendas que se encuentran cerca al cauce del río Ilabaya. Mejorar la defensa ribereña. Limpieza de cauces. Control de erosión. En el año 2015 se realizó una evaluación de peligros geológicos en donde se recomendó la reubicación de viviendas del poblado Mirave. En la actualidad se debe prohibir la construcción de viviendas en el fondo de valle y en la desembocadura de la quebrada Mirave y otras similares. Construir obras hidráulicas y de control de erosión, mediante diques transversales, barreras, rellenos y cortacorrientes. Mejorar talud de la carretera. Reubicar las viviendas construidas al pie de los acantilados o zonas de derrumbes.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
18. Locumba (Locumba)	Área sujeta a derrumbes, erosión de laderas, inundación y erosión fluvial. Derrumbes en talud superior de carretera en la entrada al poblado de Locumba (km 11+800- km 12+000), se da en conglomerados, se ha colocado un muro de pircas insuficientes para mitigar la caída. También presenta erosión de laderas que pueden afectar viviendas del A.H. que se encuentra por encima del poblado Locumba. Inundación en ambas márgenes del río Cinto y erosión fluvial en la margen izquierda. Erosión fluvial-inundación en margen derecha del río Locumba, aguas abajo se ha colocado muro de gaviones para proteger terrenos de cultivo (figura 7.21).	Puede afectar puente Locumba-Margarata, canal y terrenos de cultivo.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del cauce. Control de erosión.
19. Matagroso-Cañña (Locumba)	Área sujeta a derrumbes, erosión de laderas, huaicos, flujos de lodo, erosión fluvial e inundaciones. Huaicos excepcionales que arrasaron terrenos de cultivo, tuberías de riego y viviendas en ambas márgenes del río Cinto. También, presenta en algunos sectores erosión fluvial como en el sector Matagroso (figura 7.22). Con presencia de erosión de laderas y derrumbes en ambas márgenes del río Cinto.	Afectó terrenos de cultivo, tuberías, reservorios, viviendas, tramos de carretera Locumba-Cañña.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Reubicación de algunas viviendas. Prohibir la construcción de viviendas cerca del cauce del río.
20. Ticapampa (Ilabaya)	Área sujeta a derrumbes, caída de rocas, erosión de laderas, huaicos y flujos de lodo. Huaicos periódicos en la quebrada Gallinazos, en la margen izquierda del río Ilabaya. Se ha canalizado la parte baja del cauce de quebrada (figura 7.23). Algunas viviendas del poblado Ticapampa se encuentran sobre laderas inestables, con pircas artesanales, susceptible a caída de rocas y derrumbes. Gran parte del trazo de la carretera desvío de Panamericana Sur-Ticapampa se realiza dentro del cauce de la quebrada Gallinazos.	Afectó puente Mirave-Ticapampa. Puede afectar viviendas del poblado Ticapampa y carretera desvío de Panamericana Sur-Ticapampa.	Control de erosión. Mejorar canalización. Colocar cunetas. Prohibir la construcción de viviendas cerca del cauce de la quebrada.
21. San José de Poquera (Ilabaya)	Área sujeta a derrumbes, derrumbe-flujos y huaicos. Derrumbes generancanchales de detritos en las laderas del cerro Alto Poquera, en talud superior de carretera Ticapampa-Curibaya. La zona también es afectada por derrumbe-flujo en forma de abanico que puede afectar al poblado de San José de Poquera (figura 7.24).	Afectó viviendas, terrenos de cultivo, tramo de carretera Ticapampa-Curibaya (km 14+400-km 17+000).	Reforestación de laderas, muros de contención. Defensa ribereña. Canalización de quebradas en ladera del cerro Alto Poquera.



Figura 7.15 Poblado Higuerani en la margen derecha de la quebrada Micalaco afectado por erosión fluvial e inundación en ambas márgenes, también es afectado por huaicos que discurren por las cárcavas.



Figura 7.16 Flujo de lodo y erosión fluvial en la quebrada cabecera, sector Pachana, distrito de Ilabaya
(Fuente: Defensa Civil de Ilabaya, 2015).



Figura 7.17 Área sujeta a erosión fluvial e inundación en ambas márgenes del río Calumbraya, sector de Ilabaya.



Figura 7.18 A) Vista panorámica de la quebrada Mirave; B y C) diques transversales colmatados con material del huaico del 26/03/2015; D) erosión en cárcavas en la parte alta de la quebrada Mirave que aportan material al cauce de la quebrada.



Figura 7.19 El huaico del 26/03/2015 afectó viviendas del poblado de Mirave pendiente abajo principalmente en la calle Toquepala y coliseo del poblado; socavó diques transversales, plataforma de carretera Mirave-Toquepala.



Figura 7.20 Vista panorámica del poblado Mirave después del huaico del 08/02/2019, nótese el estadio (e) destruido y relleno por el depósito del huaico, así como gran parte del poblado. En la margen derecha de la quebrada Mirave, en los sectores Alto Mirave y Ahorcados, se encuentra una parte de la población reubicada.



Figura 7.21 A) Muro de contención en la margen derecha del río Cinto cerca de la confluencia con el río Locumba; B) Área sujeta a inundación en la margen derecha del río Locumba; C) erosión fluvial en la margen izquierda del río Cinto; D) derrumbes en talud superior de carretera de acceso a Locumba.



Figura 7.22 El huaico del 26/03/2015 arrasó con los terrenos de cultivo en ambas márgenes del río Cinto, puede afectar en la margen izquierda al poblado Matagroso.



Figura 7.23 Vistas del sector Ticapampa, y canalización de la parte baja de la quebrada Gallinazos con mampostería de piedra (A, B y C) y con canales de concreto (D y E), poblado se encuentra en la margen derecha de esta quebrada.



Figura 7.24 A) Derrumbes que generan acumulación de canchales en el sector Poquera, km 12+400 de la carretera Ticapampa-Curibaya; B) derrumbes en el sector San José de Poquera; C y D) derrumbe-flujo en forma de abanico, puede afectar terrenos de cultivo; E) derrumbes en talud superior de carretera Ticapampa-Curibaya (km 17+000), debido al huaico que acarreo el río Curibaya socavó parte de la plataforma de la carretera.

7.2.3 Provincia de Tacna

Con una extensión de 8233.01 km² y una población de 306 363 habitantes (INEI - Censo de Población y Vivienda 2017). Su capital es la ciudad de Tacna que se encuentra a 562 m s. n. m. Limita al este con la provincia de Jorge Basadre, al norte con la provincia de Candarave y Tarata, al este con la república de Chile y Bolivia y al oeste con el Océano Pacífico. La provincia

de Tacna está compuesta por once distritos: Tacna, Alto de la Alianza, Calana, Ciudad Nueva, Inclán, Pachía, Palca, Pocollay, Sama, Coronel Gregorio Albarracín y LaYarada-Los Palos, siendo esta última creada en el año 2015.

En esta provincia se identificó 15 zonas críticas (cuadro 7.3), principalmente deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos, erosión fluvial, las cuales se detallan a continuación por distritos y se aprecian en las figuras 7.25 a la 7.37.

Cuadro 7.3

Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Tacna

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
22. Ataspaca (Palca)	Área sujeta a erosión de laderas y huaicos. Huaicos periódicos km 9+540, en margen derecha de la quebrada Ataspaca (figura 7.25). También se pueden generar en torrenteras que descienden de las laderas del cerro Sarani.	Puede afectar viviendas de Ataspaca, badén y carretera Calana-Caplina.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Colocar badén más resistente. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal de la quebrada. Reforestar laderas.
23. Calana (Calana)	Área sujeta a inundación, erosión fluvial y huaicos. Erosión fluvial-inundación en ambas márgenes del río Caplina, sector Velasquez-Calana. Puede afectar algunas viviendas de Calana que se encuentran en la margen izquierda y terrenos de cultivo en ambas márgenes. Se ha realizado la limpieza del cauce del río Caplina (figura 7.26).	Puede afectar puente, canal de riego, viviendas y terrenos de cultivo.	Se ha realizado limpieza del cauce, y el material se acumuló en ambas márgenes. Colocar defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río.
24. Piedra Blanca (Calana)	Área sujeta a erosión fluvial y huaicos. Erosión fluvial en margen derecha de quebrada tributaria de la margen derecha del río Uchusuma (desvío del río Caplina). Se ha colocado gaviones en ambas márgenes de la quebrada. Se ha perdido terrenos de cultivo por el socavamiento producto de la dinámica fluvial (figura 7.27).	Puede afectar terrenos de cultivo, viviendas y vías de acceso.	Colocar defensa ribereña aguas arriba. Prohibir el arrojo de basura o desmonte en el cauce. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río.
25. Calientes (Pachía)	Área sujeta a erosión de laderas, erosión fluvial y huaicos. Área sujeta a erosión fluvial en la margen izquierda del río Calientes e inundación en la margen derecha del río Calientes. Se ha colocado muro de contención para proteger las instalaciones de los Baños Termales en la margen izquierda (figura 7.28). La zona también es afectada por erosión en cárcavas en la margen derecha del río.	Puede afectar instalaciones de los Baños Termales de Calientes, terrenos de cultivo y puente.	Limpieza de cauce. Seguir con la defensa ribereña aguas abajo. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río.
26. km 1274+000 - km 1285+000 de la carretera Panameri- cana Sur (Inclán)	Área sujeta a erosión fluvial, huaicos* y flujos de lodo*. Huaicos excepcionales ocurridos en marzo del 2015, cortó tramos de la carretera Panamericana Sur, por sectores, los cauces de las quebradas Honda, Pedregal, de Los Molles Cerrillos Negros, Los Cardios, Puquio y torrenteras de la pampa Pedregal y Layagache. En algunos sectores se desbordó en la carretera Panamericana Sur (figura 7.29). La quebrada Puquio, Los Cardios no tienen desfogue en la carretera Panamericana Sur. En el km 1274+140 se ha colocado un pontón de aproximadamente 4 m, sector Asoc. Las Viñas.	Afectó terrenos de cultivo, tuberías, reservorios, viviendas, tramos de carretera Locumba-Caoña.	Limpieza de cauce. Colocar alcantarillas.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
27. Sector Los Sauces-Valientes de Tacna (Gregorio Albarra-cin)	Área sujeta a derrumbes, huaicos, erosión fluvial e inundaciones. Erosión fluvial en ambas márgenes del río Seco (Arunta). Se llevó en varios sectores con muros de contención (figura 7.30). Su cauce se encuentra estrangulado en varios sectores, facilitando el socavamiento y desborde con lluvias excepcionales, generando huaicos que aguas abajo puede aislar a las AA.VV. de Viñani. Además, la disturbación por efecto de extracción de material de agregados ha generado la obstrucción del cauce normal. La zona también es afectada por derrumbes en margen izquierda del río Seco, que se da en tobas cubiertas por depósitos residuales y eólicos.	Puede afectar viviendas del sector Los Sauces, Valientes de Tacna, Arunta, instalaciones del Cuartel Militar, y canteras de la Municipalidad Provincial.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río. Ensanchar cauce. Canalizar cauce en la parte baja
28. km 59+000 - km 63+000 de la Carretera Tacna-Ilo (Sama)	Área sujeta a derrumbes, derrumbe-flujos y huaicos. Área sujeta a derrumbes, erosión de laderas, huaicos* y flujos de lodo*. Derrumbes en el talud superior de carretera Tacna-Ilo en depósitos superficiales (deluvio-columbiales y eólicos) suspendidos en el cerro Chero, con lluvias excepcionales del 26/03/2015 se generaron flujos de lodo excepcionales que discurrieron a través de erosión en cárcavas y surcos, obstruyendo la carretera Costanera en varios sectores (figura 7.31).	Afectó tramo de carretera Costanera Tacna-Ilo.	Colocar cunetas y alcantarillas. Mejorar talud.
29. Carretera Tacna-Tarata km 28+000 – km 34+000 (Alto de la Alianza/ Estique/Ciudad Nueva)	Área sujeta a huaicos y erosión fluvial. Zona de huaicos periódicos en quebradas tributarias de la quebrada Los Molles como la quebrada Huintilla, con las lluvias intensas de marzo del 2015 arrasó en algunos sectores la plataforma de la carretera Tacna-Tarata (km 28+000-km 29+000), aproximadamente 1000 m en la margen izquierda de la quebrada Los Molles (figura 7.32). Con lluvias excepcionales también podría generar huaicos en las quebradas Honda, Cuylate, Achacune y del Diablo.	Afectó tramo de carretera Tacna-Tarata por sectores. Con lluvias excepcionales puede afectar por tramos de la carretera a Tarata, entre las quebradas Honda y del Diablo.	Limpieza de cauce. Control de erosión. Mantenimiento permanente de la carretera; colocar alcantarillas, badenes, pontones, entre otros, según sea el caso. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal de las quebradas. Defensa ribereña y encauzamiento de la quebrada del Diablo.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
30. Asoc. de vivienda La Florida (Alto de la Alianza)	Área sujeta a huaicos*, caída de rocas y derrumbes. Huaico con lluvias excepcionales en la quebrada del Diablo, puede afectar a viviendas de la Asociación de Vivienda La Florida. Con presencia de caída de rocas y derrumbes en la margen izquierda de la quebrada (figura 7.33). En caso de un sismo, las viviendas que se encuentran al pie de las laderas de los cerros La Cripta pueden ser afectadas, así como poder colapsar por estar edificadas sobre depósitos de relleno (poco o nada compactados). En la margen derecha se ubica un antiguo botadero de basura abandonado que genera derrumbes y aporta material al cauce, además de poner en riesgo la salud de sus habitantes.	Con lluvias excepcionales puede afectar viviendas del sector La Florida, aguas arriba puede afectar tramo de carretera Tacna-Tarata.	Limpieza y encauzamiento del cauce de la quebrada. Delimitar la franja marginal de la quebrada; así como prohibir la construcción de viviendas dentro de esta. Reubicar viviendas que se encuentran dentro de la faja marginal de la quebrada. Construir defensa ribereña. Reubicación del botadero de basura. Es necesario que las municipalidades hagan programas de sensibilización para impedir que siga la propagación de asentamientos humanos hacia las laderas de los cerros y cauces de quebradas secas. Así como la implementación de drenaje pluvial integral en el sector y en toda la ciudad de Tacna para evitar la inundación pluvial.
31. Sector 06 de Julio (Pocollay/Calana)	Área sujeta a inundación, erosión fluvial y huaicos. Erosión fluvial en ambas márgenes del río Uchusuma (figura 7.34). Se colocó un dissipador de energía, el canal reduce el cauce del río generando el socavamiento del cauce, de ocurrir lluvias excepcionales podría colapsar en este sector obstruyendo el cauce y generando desbordes en ambas márgenes.	Puede afectar terrenos de cultivo, viviendas de la Urb. 06 de Julio, canales de riego, puente y vías de acceso.	Se ha realizado limpieza del cauce, y el material se acumuló en ambas márgenes. Colocar defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal.
32. Poquera-La Banda (Sama)	Área sujeta a erosión fluvial e inundación. Inundación fluvial en la margen derecha del río Sama, afecta extensas áreas de terrenos de cultivo (figura 7.35). El ancho del cauce del río Sama es de 270 m aproximadamente.	Puede afectar terrenos de cultivo, estribos de puente peatonal y canales de riego.	Defensa ribereña. Limpieza de cauce de río. Prohibir la construcción de viviendas dentro de la faja marginal.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
33. Challaviento (Pachía)	Área sujeta a deslizamientos, erosión de laderas y derrumbes. Derrumbes en ambos márgenes de la quebrada Aruma, en laderas de los cerros Challaviento y Patine (figura 7.36). Poblado de Challaviento se encuentra entre las quebradas Aruma y Charine; se presentan deslizamientos en la margen derecha de la quebrada Charine, en laderas del cerro Tacapsirca, afectando terrenos de cultivo y vías de acceso. En época de lluvias intensas puede obstruir la carretera Palquilla-Challaviento.	Afectó terrenos de cultivo. Puede afectar viviendas del poblado Challaviento y carretera de acceso.	Control de erosión. Sistema de drenaje. Mejorar técnicas de riego. Prohibir la construcción de viviendas cerca del acantilado. Reforestación de laderas.
34. Peschay (Pocollay)	Área sujeta a huaicos, erosión fluvial. Huaicos excepcionales en el río Arunta, en algunos sectores es afectado por erosión fluvial como en los estribos del puente Peschay, que podría ser arrastrado debido al incremento del caudal. Se ha colocado muros de contención para proteger los estribos.	Puede afectar terrenos de cultivo, tuberías de agua potable, viviendas y puente Peschay.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas cerca del cauce de la quebrada.
35. Quebrada Caramolle (Pocollay/Ciudad Nueva)	Área sujeta a huaicos*, flujo de lodos*, derrumbes y caída de rocas. Huaicos excepcionales en la quebrada Caramolle, aunque parece poco probable que en la actualidad se generen flujos de detritos o flujos de lodo, pues en la zona son escasas las lluvias (figura 7.37). Sin embargo, se tienen evidencias de depósitos de flujos de lodo que discurrieron por el cauce de la quebrada Caramolle; de presentarse afectarían a las viviendas y granjas de aves y cerdos que se encuentran dentro del cauce. Hay que tener en cuenta eventos excepcionales de intensas precipitaciones pluviales**. Debido a la ausencia de obras que minimicen el efecto de un flujo de lodo o detritos, ante un posible evento o avenida extrema que se podría desplazar por la quebrada Caramolle, se incrementa el grado de vulnerabilidad en la zona.	Puede afectar viviendas ubicadas en los límites de los distritos Pocollay y Ciudad Nueva, y cementerio Municipal de Pocollay.	Limpieza de cauce. Construir defensas ribereñas. Definir la faja marginal de la quebrada y prohibir la construcción de viviendas dentro de ella. Reubicar viviendas y granjas de animales que se encuentran dentro del cauce. Se recomienda realizar estudios geotécnicos para el diseño de muros de contención, muros disipadores de energía, canalización de la quebrada y reordenamiento del sector.

Continuación...

Pasaje/sector Distrito	Área sujeta /comentario geodinamico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
36. Asentamientos humanos en laderas del cerro Intiorko (Alto de la Alianza/ Ciudad Nueva)	<p>Área sujeta a derrumbes y caída de rocas y licuefacción de suelos.</p> <p>El sismo del 2001 afectó viviendas precarias en los poblados Alto de La Alianza y Ciudad Nueva. En caso de nuevos sismos en la zona de estudio se pueden generar caídas y derrumbes de las laderas inestables en los cerros Cripta e Intiorko, que afectarían viviendas ubicadas debajo de depósitos coluviales. En la parte inferior del cerro Intiorko se tienen antiguas caídas de rocas, donde también se han edificado viviendas.</p> <p>En las laderas se observan bloques suspendidos que pueden ceder ante un movimiento sísmico, por ello los moradores, han construido muros de contención y otras estructuras (pircas artesanales sin asesoramiento), que pueden ceder y caer cuesta abajo, lo cual afectaría las viviendas ubicadas en la parte inferior.</p> <p>Las construcciones sobre estos depósitos superficiales (rellenos, depósitos de ceniza, arena) pueden presentar problemas de asentamientos por ser sedimentos inconsolidados y por su baja capacidad portante.</p>	<p>En caso de sismo puede afectar viviendas de material precario ubicadas en las faldas del cerro Intiorko.</p>	<p>No construir más casas en las laderas del cerro Intiorko.</p> <p>Es necesario que las municipalidades hagan programas de sensibilización para impedir que siga la propagación de asentamientos humanos hacia las laderas de los cerros. Se debe señalar la zona inestable y vías de evacuación en caso de sismos. Es necesario reubicar viviendas expuestas a los bloques sueltos y los canchales. Realizar estudios detallados de suelos para determinar su capacidad portante y qué tipo de construcción se debe hacer. Evitar el humedecimiento del terreno. Realizar estudios geotécnicos para el diseño de muros de contención, para el diseño de refuerzo en zonas donde se han realizado cortes de talud y reordenamiento del sector.</p>

(*) Peligros reactivados con presencia de lluvias excepcionales.

(**) El periodo de recurrencia de estos eventos puede darse en 50, 100 o más años.



Figura 7.25 Huaicos en la quebrada Ataspaca, el poblado del mismo nombre se encuentra en la margen derecha de la quebrada.



Figura 7.26 Área sujeta a inundación y erosión fluvial en ambas márgenes del río Caplina, sector puente Calana.



Figura 7.27 Erosión fluvial en la margen derecha del desvío del río Caplina, aguas abajo se han colocado gaviones en ambas márgenes, sector Piedra Blanca.



Figura 7.28 Área sujeta a inundación y erosión fluvial en la margen izquierda del río Calientes, donde se encuentra las instalaciones de los Baños Termales Calientes.



Figura 7.29 A y B) Huaico del 26/03/2015 en la quebrada Puquio, arrasó con terrenos de cultivo de Puquio en la margen izquierda de la quebrada; C y D) los flujos también afectaron tramos de la Panamericana Sur, km 1274+140.



Figura 7.30 Vistas de la erosión fluvial en ambas márgenes del río Arunta, debido a la socavación de las bases colapsaron los muros, aguas abajo se colocó gaviones para proteger estribo de puente, lo cual fue insuficiente. Pasando el puente se extrae material para canteras en donde se pierde el cauce normal del río.



Figura 7.31 Flujos de lodo del 26 de marzo del 2015 obstruyeron tramo de la carretera Tacna-Ilo, km 59+000 - km 63+000.



Figura 7.32 Baden en la quebrada Huintilla en la margen izquierda de la quebrada Chero, corta la carretera Tacna-Tarata (izquierda). Erosión de la plataforma de la carretera Tacna-Tarata (km 28+000- km 29+000) en la margen izquierda de la quebrada Molles, erosiona aproximadamente 1000 m.



Figura 7.33 A) Viviendas del sector La Florida ubicadas dentro del cauce de la quebrada del Diablo, en la margen izquierda de la quebrada presenta derrumbes y caída de rocas en el cerro Intiorko; B) Vista aérea realizada con dron, donde se observa la zona afectada por el flujo de lodo en la quebrada del Diablo del 21/02/2020 (Instituto geológico Minero y Metalúrgico, 2020).



Figura 7.34 Erosión fluvial en ambas márgenes del desvío del río Uchusuma, sector 06 de Julio; se aprecian estructuras de encauzamiento con muros de concreto (A, C y D) y gaviones (B).



Figura 7.35 Área sujeta a inundación en la margen derecha del río Sama, sector Miraflores.



Figura 7.36 Vista panorámica de derrumbes y deslizamientos en el sector Challaviento.



Figura 7.37 Flujo de lodo en el sector Caramolle, distrito de Pocollay. Fuente: Correo, 2019.

7.2.4 Provincia de Tarata

Esta provincia se encuentra al norte de la región Tacna, con una extensión de 2 766.82 km² y una población de 6094 habitantes (INEI - Censo de Población y Vivienda 2017). Su capital es la ciudad de Tarata que se encuentra a 3070 m s. n. m. La provincia de Jorge Basadre está compuesta por ocho distritos: Tarata, Héroes Albarracín, Estique, Estique Pampa, Sitajara, Susapaya, Tarucachi y Ticaco.

En esta provincia se identificó nueve zonas críticas (cuadro 7.4), principalmente deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos, erosión fluvial, las cuales se detallan a continuación por distritos y se aprecian en las figuras 7.38 a la 7.43 y fotografía 7.1.

Cuadro 7.4

Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Tarata

Paraje/Sector Distrito	ÁREA SUJETA A/COMENTARIO GEODINÁMICO	VULNERABILIDAD Y/O DAÑOS OCASIONADOS	RECOMENDACIONES
37. Chucatamani (Héroes Albarracín)	Área sujeta a erosión de laderas, derrumbes y huaicos. Zona de huaicos en quebradas ubicadas entre los cerros Jichuladara y Jacsacruz, en la margen izquierda del río Tala. En la margen izquierda de torrentera que cruza poblado Chucatamani, se ubica la I.E. Héroes Albarracinos, el cual puede ser afectado en caso de lluvias intensas. La zona también es afectada por derrumbes debido a las filtraciones del tanque de reserva que se encuentra en la parte alta (figura 7.38).	Puede afectar un colegio, viviendas y tramo de carretera de acceso a Chucatamani. El aumento del caudal del río Chucatamani erosionó el cimiento del pontón izquierdo, ocasionando el colapso del puente peatonal de 10 m de luz, que comunica el anexo del pueblo de Tala.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Reubicar colegio. Colocar badén. Control de erosión.
38. Talabaya (Estique)	Área sujeta a huaicos. Zona de huaicos en el sector Talabaya que descienden de las quebradas que se encuentran en las laderas de los cerros Jacnone y Huarina, en la margen izquierda del río Estique.	Puede afectar viviendas del sector Talabaya y carretera Estique-Talabaya.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña.
39. Tarucachi (Tarucachi)	Área sujeta a huaicos. Huaico en quebrada que atraviesa el poblado Tarucachi, que proviene de los cerros Lapanana y Poromo, en la margen derecha del río Tarucachi. El 03/02/2014 entre las 15:00 y 16:00 horas, se registraron intensas precipitaciones pluviales provocando dos pequeños huaicos que erosionaron el terreno, destruyendo un canal de regadío y poniendo en riesgo la infraestructura del colegio secundario Manuel Flor de Silva.	Puede afectar viviendas del poblado Tarucachi, colegio secundario Manuel Flor de Silva y puente. En el 2004 afectó viviendas de las calles Junín, 28 de Julio, y Zela; en esta última fue más destructiva, destruyó un canal de regadío.	Limpieza de cauce. Control de erosión. Defensa ribereña.
40. Yabroco (Susapaya)	Área sujeta a deslizamientos, erosión de laderas y huaicos. El poblado de Yabroco, se encuentra sobre un deslizamiento reactivado con presencia de cárcavas en laderas del cerro Yocata, entre la quebrada Queuña y el río Yabroco. Presencia de asentamientos y grietas en el poblado Yabroco (figura 7.39) y filtraciones por mala técnica de riego y posible filtración de reservorio de agua. La zona también es afectada por huaicos en la quebrada Queuña.	Afecta viviendas, colegio, terrenos de cultivo y reservorio de agua en Yabroco. Puede afectar también puente Yabroco.	Limpieza de cauce del río Yabroco y quebrada Queuña. Defensa ribereña. Control de erosión. Sistema de drenaje. Reubicación paulatina del poblado Yabroco.

Continuación...

Paraje/Sector Distrito	ÁREA SUJETA A/COMENTARIO GEODINÁMICO	VULNERABILIDAD Y/O DAÑOS OCASIONADOS	RECOMENDACIONES
41. Pistala (Héroes Albarracín)	Área sujeta a erosión de laderas, movimientos complejos y huaicos. El poblado Pistala es afectado frecuentemente por huaicos que descienden de las cárcavas que se desarrollan por encima del poblado en laderas del cerro Altos Pistala, margen izquierda del río Pistala (figura 7.40). Afectó viviendas que se encuentran en la parte baja del poblado cerca del acantilado.	Afectó viviendas del poblado Pistala; afecta carretera Tarata-Tala.	Reforestar laderas. Encauzar quebradas. Limpieza de cauce. Colocar alcantarillas. Reubicar viviendas.
42. Tarata (Tarata)	Área sujeta a erosión de laderas, huaicos y derrumbes. Huaicos descienden de las quebradas Choja Chico y Choja Grande Cruz, en el cerro Vizcachune, margen izquierda del río Tarata (figura 7.41). Aguas abajo de la quebrada Choja Chico se desborda por la Av. 01 de Setiembre hasta la carretera a Chucutamani (km 3+500). La zona también es afectada por derrumbes en la margen derecha del río Tarata, a la altura del km 84+000 de la carretera Tacna-Tarata, acceso al poblado de Challa.	En el año 1998 afectó viviendas de la Av. 01 de Setiembre y 28 de Julio, canal de riego, tramo de carretera de acceso al anexo Challa.	Encauzar quebradas. Limpieza de cauce. Colocar alcantarillas. Cambiar la mala técnica de riego. Reforestación de laderas. Prohibir la construcción de viviendas cerca del acantilado en la margen izquierda del río Tarata.
43. Carretera Tarata-Ticaco km 98+300 - km 116+550 (Sitajara)	Área sujeta a derrumbes, deslizamientos, caída de rocas, erosión de laderas y huaicos. Zona de huaicos periódicos en la quebrada Caravira (Challahuay) y torrenteras del cerro Nequiri, en los km 116+550, km 104+500, km 102+300 - km 101+950, km 101+150 - km 100+700, km 100+370, km 100+020- km 99+500, km 98+750, en este último tramo erosionó estribos de puente en el río Salla Cotacucho (figura 7.42), el puente se encuentra a punto de colapsar.	Afectó estribos de puente de 30 m. Puede afectar puentes y carretera Tarata-Ticaco por sectores.	Limpieza de cauce. Defensa ribereña. Control de erosión. Reforestación de laderas. Cambiar puente.
44. Carretera Tarata-Ticaco km 83+200 - km 89+100 (Tarata)	Área sujeta a deslizamientos, derrumbes y huaicos. Zona de huaicos cortan la carretera Tarata-Ticaco. Zona de derrumbes en talud superior de carretera Tarata-Ticaco y deslizamiento en el km 88+000, con presencia de asentamientos y grietas en plataforma de carretera asfaltada con bloques de hasta 5 m de diámetro, entre los ríos Tarata y Ticalaco (figura 7.43).	Afecta tramo de carretera Tarata-Ticaco por sectores.	Mejorar talud. Sistema de drenaje. Reforestación. Prohibir la construcción de viviendas en estas laderas inestables.
45. Carretera Tacna-Tarata km 34+000 - km 44+000 (Estique)	Área sujeta a erosión fluvial, inundación, huaicos, erosión de laderas y caída de rocas. Huaicos periódicos interrumpen la carretera Tacna-Tarata, en ambos márgenes de la quebrada Huacano Grande que descienden de torrenteras de los cerros Negro, Huacano, sectores Mal Paso-Quilla (fotografía 7.1). En algunos sectores socavó plataforma de carretera.	Puede afectar tramos de carretera Tacna-Tarata por sectores.	Limpieza de cauce de quebradas. Mejorar talud. Obras hidráulicas. Control de erosión. Defensa ribereña..



Figura 7.38 Varias imágenes de la zona de huaicos (A y C) y derrumbes (B y D) en el sector Chucalamani, margen izquierda del río Tala.



Figura 7.39 Vista panorámica del poblado Yabroco, con presencia de erosión en cárcavas (arriba). Asentamientos y grietas en el colegio del poblado Yabroco (abajo).



Figura 7.40 Vistas del poblado Pistala afectado por intensa erosión en cárcavas que en época de lluvias se generan huaicos.



Fotografía 7.1 Flujos de detritos que atraviesa cuatro desarrollos de la carretera Tacna-Tarata (km 24+000–km 49+000), sector Mal Paso-Quilla.



Figura 7.41 A y B) Vista de quebrada Chojá Chico, con lluvias intensas se desborda afectando directamente a la Av. 01 de Setiembre; C y D) quebrada Chojá Grande Cruz en ladera del cerro Vizcachune; E) derrumbes en acantilados en la margen izquierda del río Tarata, viviendas del poblado de Tarata se encuentran muy cerca del borde.



Figura 7.42 Zona de huaicos periódicos en el río Salla Cotacuchu (km 98+750 de la carretera Tarata-Ticaco), por dinámica fluvial erosionó estribos de puente de 30 m, el cual se encuentra a punto de colapsar.



Figura 7.43 A) Zona de derrumbes en el talud superior de carretera Tarata-Ticaco; B) derrumbes en la margen izquierda de la quebrada Cachitala; C, D y E) deslizamiento en el km 88+000 aproximadamente de la carretera Tarata-Ticaco, con presencia de grietas y asentamientos en la plataforma.

CAPÍTULO VIII

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

8.1 GENERALIDADES

El Perú es un país con unidades sociales altamente expuestas y vulnerables ante fenómenos naturales de potencial destructivo. En este contexto, para mejorar la seguridad de las personas en lo que respecta a los desastres, se debe desarrollar medidas de prevención y mitigación apropiadas basadas en el reconocimiento de los cambios tanto en la vulnerabilidad y en la resistencia. Hay tres formas diferentes de mitigación de desastres: 1) reducir la vulnerabilidad, 2) aumentar la resistencia o 3) reducir el impacto.

La identificación de las señales de peligro por movimientos en masa es también un punto de importancia que las comunidades deben comprender y estar alertas ante su aparición; así tenemos las grietas en la cresta de los taludes y laderas, los abultamientos en el pie del talud, los asentamientos diferenciales, las condiciones de humedad del talud y la geología que la componen. Otras señales que podemos detectar, pero con mayor cantidad de herramientas, son las fallas geológicas, los plegamientos, las diaclasas, las fracturas en la roca (que eventualmente pueden causar caída de bloques), los cambios de litología, entre otros.

Los efectos de estos peligros sobre las personas e infraestructuras se pueden disminuir y prevenir mediante la supresión total de zonas con alto riesgo, limitando, prohibiendo o imponiendo condiciones sobre las actividades en estas zonas. Los gobiernos locales pueden lograr esto a través de políticas y reglamentos de uso del suelo. Las personas pueden reducir su exposición a los riesgos adquiriendo información sobre el historial de los peligros (mapa de inventario de peligros geológicos y zonas críticas).

Algunas de las técnicas de estabilización con que se cuenta actualmente en el país se presentan en este capítulo. Adicionalmente se tomó como base la información del Instituto Geominero de España *Manual de Ingeniería de Taludes* (1987), *Ingeniería Geológica* (González et al., 2002) y el estudio *Riesgos geológicos del Perú, Franja n° 1* (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000). Estas medidas se orientan con la finalidad de minimizar los problemas de deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, procesos de erosiones de laderas y huaicos, como también evitar la generación de nuevas ocurrencias en la región.

Cabe mencionar que esta es una descripción de métodos de estabilización; para el diseño e implementación es esencial contar con el asesoramiento profesional antes, durante y después de la ejecución (de ser posible), así como la consulta de literatura adicional para elegir el método más adecuado o alternativo (económico o constructivo).

8.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS

En esta sección se dan algunas propuestas de solución de forma general para la zona de estudio con la finalidad de minimizar las ocurrencias de deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, flujos, procesos de erosión de laderas, entre otros, así también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

La estabilidad de una pendiente mejora cuando se llevan a cabo ciertas acciones. Para tener éxito, primero hay que identificar el proceso de control más importante que está afectando la estabilidad del talud; en segundo lugar, hay que determinar la técnica adecuada que debe aplicarse suficientemente para reducir la influencia de ese proceso. La mitigación prescrita debe diseñarse de manera que se adapte a las condiciones específicas de la pendiente que se esté estudiando. Por ejemplo, instalar tuberías de drenaje en una pendiente que tiene muy poca agua subterránea no tiene sentido. Los esfuerzos por estabilizar una pendiente se realizan durante la construcción o cuando surgen problemas de estabilidad de forma inesperada después de la construcción. La mayoría de las técnicas de ingeniería de pendientes requieren un análisis detallado de las propiedades del suelo y un conocimiento adecuado de la mecánica del suelo y las rocas subyacentes. En toda situación de alto riesgo, donde un deslizamiento de tierras puede poner en peligro vidas o afectar negativamente la propiedad, siempre es necesario consultar a un profesional experto en derrumbes, por ejemplo, un ingeniero geotécnico o civil antes de emprender cualquier trabajo de estabilización. En las secciones siguientes se ofrece una introducción general a las técnicas que se pueden utilizar para aumentar la estabilidad del talud (Highland & Bobrowsky, 2008).

A continuación, se señalan una serie de recomendaciones que pueden servir como base para mitigar los peligros geológicos en las zonas críticas determinadas. Se recomienda evaluar al detalle estos sectores para el correcto diseño de las obras de mitigación sugeridas por los especialistas.

8.2.1 Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes

La caída de rocas y derrumbes son comunes en esta región, con pendientes escarpadas de rocas y acantilados. Estos peligros son la causa de cuantiosas pérdidas humanas y económicas;

estas últimas principalmente porque obstaculizan el transporte y el comercio debido al bloqueo de las carreteras. A veces se desvían los caminos y carreteras alrededor de las zonas de caída de rocas, pero esto no siempre resulta práctico. Muchas comunidades colocan avisos de peligro alrededor de zonas donde hay un elevado peligro de caída de rocas.

La aplicación de medidas correctivas en zonas con caídas se puede realizar sobre taludes que tienen pendientes fuertes y es necesaria su estabilización. Para tener un factor de seguridad predeterminado y estabilizar fenómenos de rotura, los métodos más frecuentes se muestran en la figura 8.1.

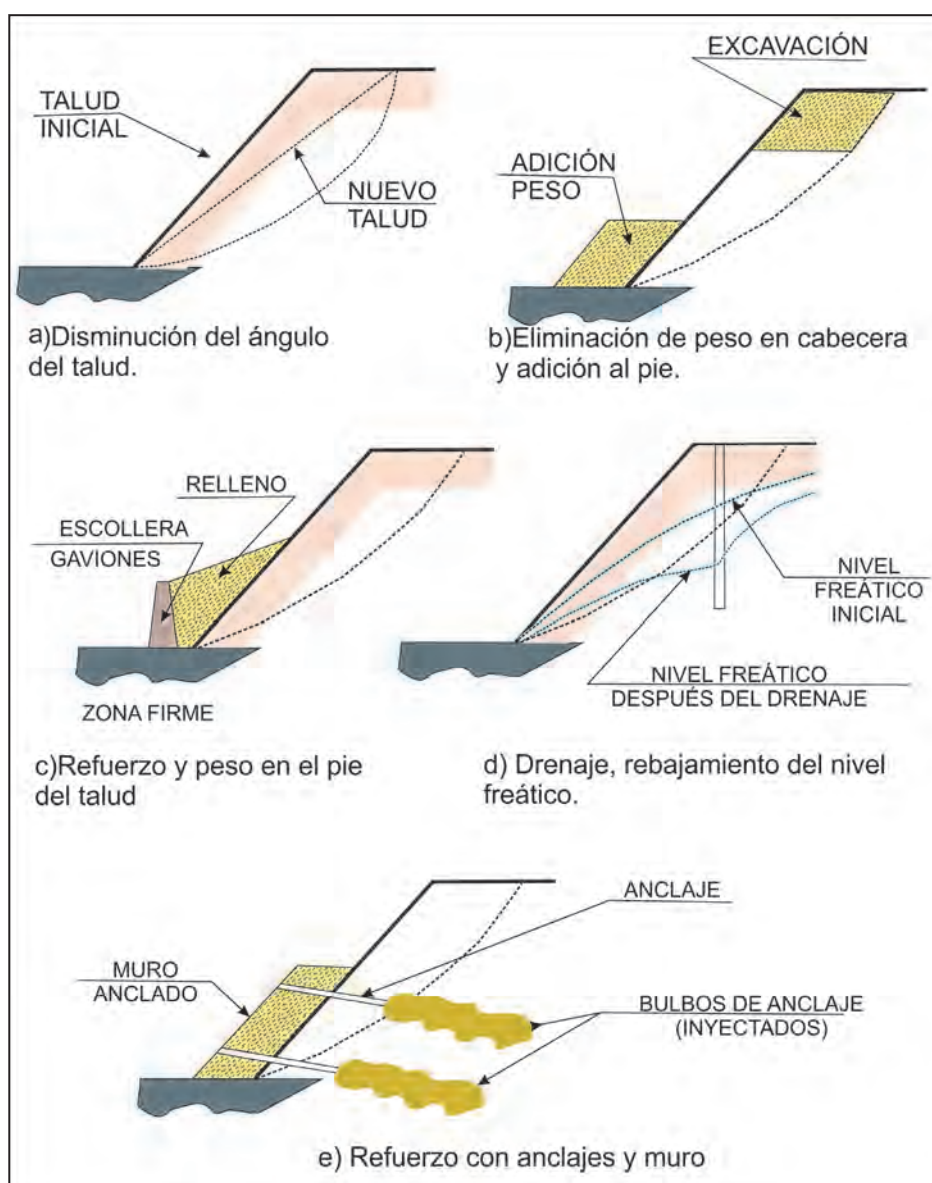


Figura 8.1 Métodos más frecuentes para aumentar el coeficiente de seguridad en taludes de suelos.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Para definir la solución ideal es necesario valorar diferentes parámetros tanto de tipo constructivo y económico. A continuación, se muestran algunos de los diferentes tipos de solución empleado en la corrección y tratamiento de estas zonas:

- **Corrección por modificación de la geometría del talud.**
Consiste en estabilizar el ángulo del talud ya sea por corte

del talud, escalonamiento de taludes en bancos (figura 8.2), etc. Mediante este tipo de corrección se distribuyen las fuerzas debidas al peso de materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable.

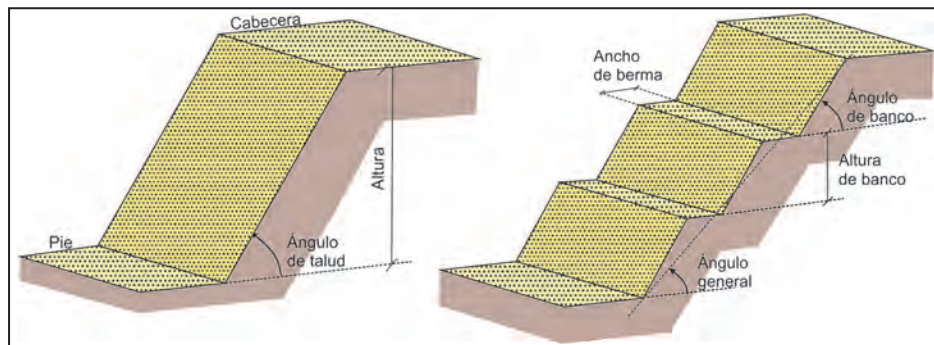


Figura 8.2 Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos
Fuente: Gonzales & et al., 2002.

- **Corrección por drenaje.** Las medidas de corrección por drenaje son de dos tipos: 1) drenaje superficial mediante zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud con el fin de recoger las aguas superficiales o aquella recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud evitándose su

infiltración; y 2) drenaje profundo que tiene como finalidad deprimir el nivel freático del afloramiento, ya sea por medio de drenes horizontales, galería de drenaje, zanjas, pozos o drenes verticales, entre otros, como se muestran en la figura 8.3. En ambos casos es necesario la participación de un hidrogeólogo para el diseño de los drenes.

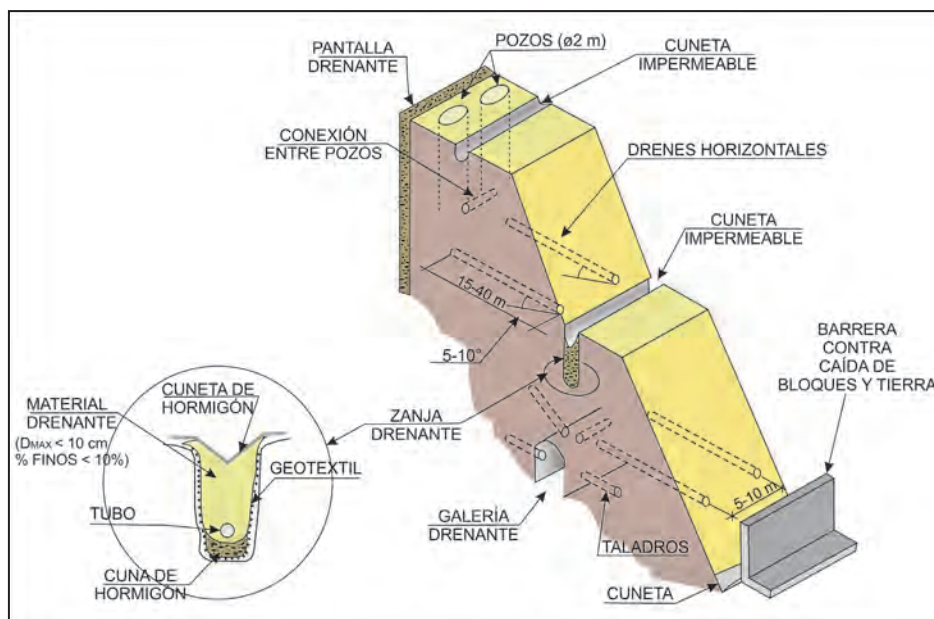


Figura 8.3 Medidas de drenaje y protección de taludes
Fuente: Ayala & Olcina, 2002.

- **Corrección por elementos resistentes.** Tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante sistemas más frecuente como: *anclajes* formados por cables o barras de acero que se anclan en zonas estables del macizo rocoso, trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura (figura 8.4); *muros* que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 8.5),

y pueden ser de: 1) gravedad, contruidos de hormigón en masa, concreto ciclópeo, mampostería, piedra seca o piedra argamasada para taludes pequeños (figura 8.6), y 2) aligerados, ejecutados con hormigón armado en forma de "L", aquí la pantalla vertical actúa como viga en voladizo y contrarrestan el momento volcador del empuje del terreno principalmente con el momento estabilizador de las tierras situadas sobre el talón, y 3) muros contrafuertes (figura 8.7).

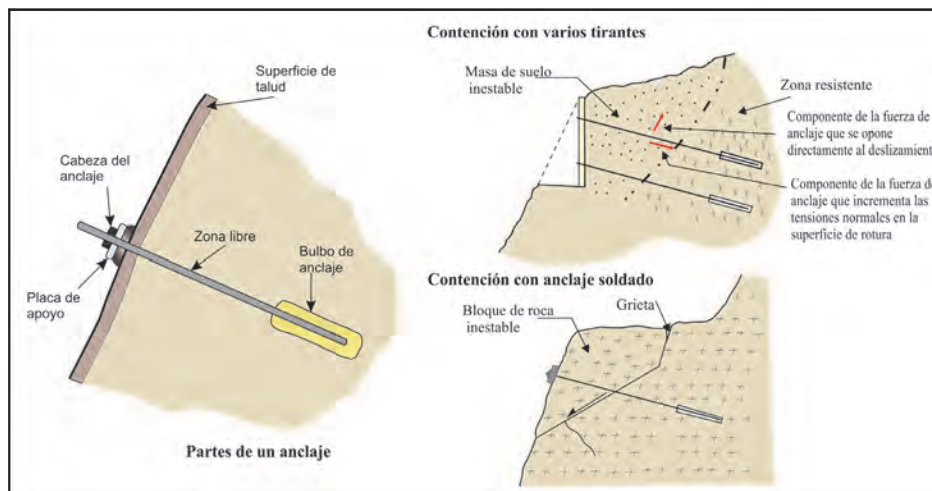


Figura 8.4 Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación

Fuente: Ayala & Olcina, 2002.

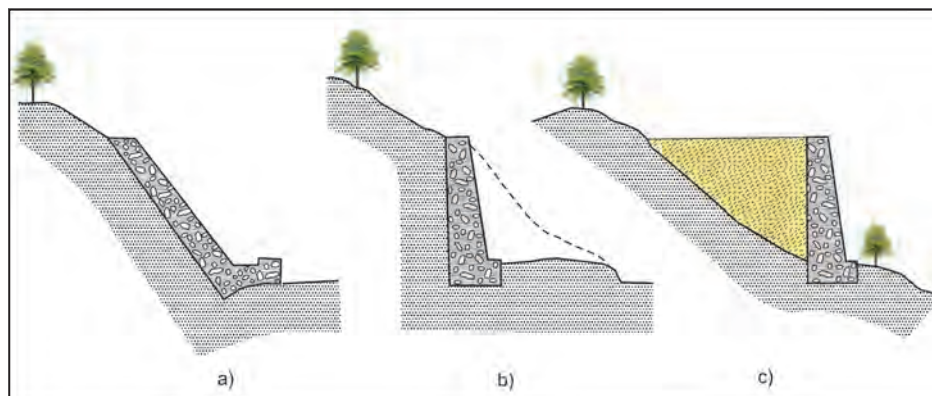


Figura 8.5 Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento

Fuente: Jiménez & et al., 1976.

Gaviones con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable como caliza, andesita, granitos, etc., retenido por una malla de alambre metálico galvanizado, la altura puede ser de 5 m a 10 m (figura 8.8); *pantallas de pilotes*, de hormigón armado, constituyen alineaciones de pilotes cuyo diámetro varía

entre 40 cm a 120 cm, siendo el espacio entre dos adyacentes lo suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo, son muy costosos; también se usan los *muros de pantalla*, enterrados de hormigón armado, su acción estabilizadora ante los deslizamientos existentes o potenciales es muy similar a la de las pantallas de pilotes (figura 8.9).

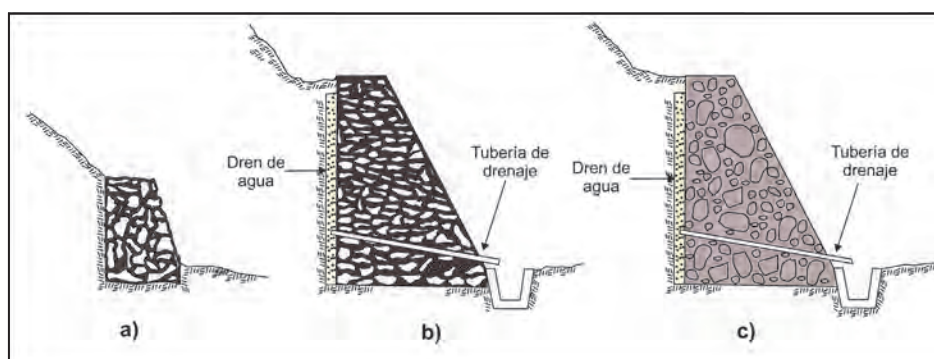


Figura 8.6 Muros de gravedad

Fuente: Jiménez & *et al.*, 1976.

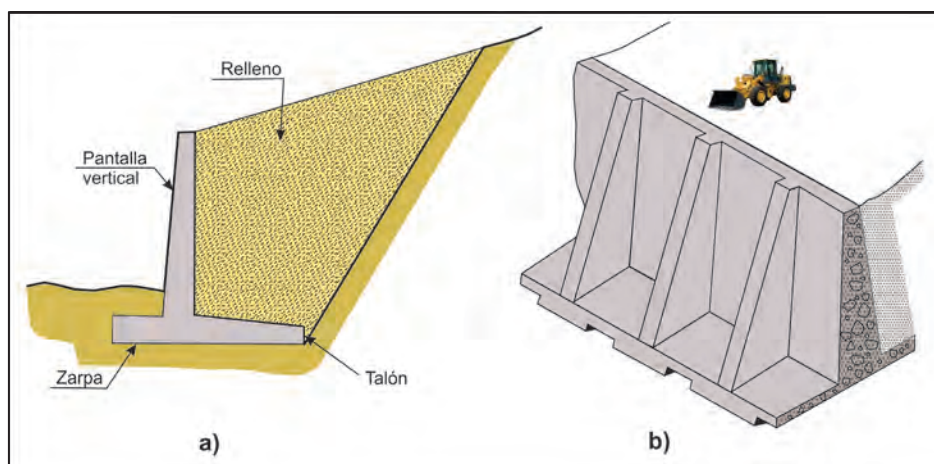


Figura 8.7 Muros aligerados: a) muro en "L"; b) muro con contrafuertes en el intradós

Fuente: Jiménez & *et al.*, 1976.

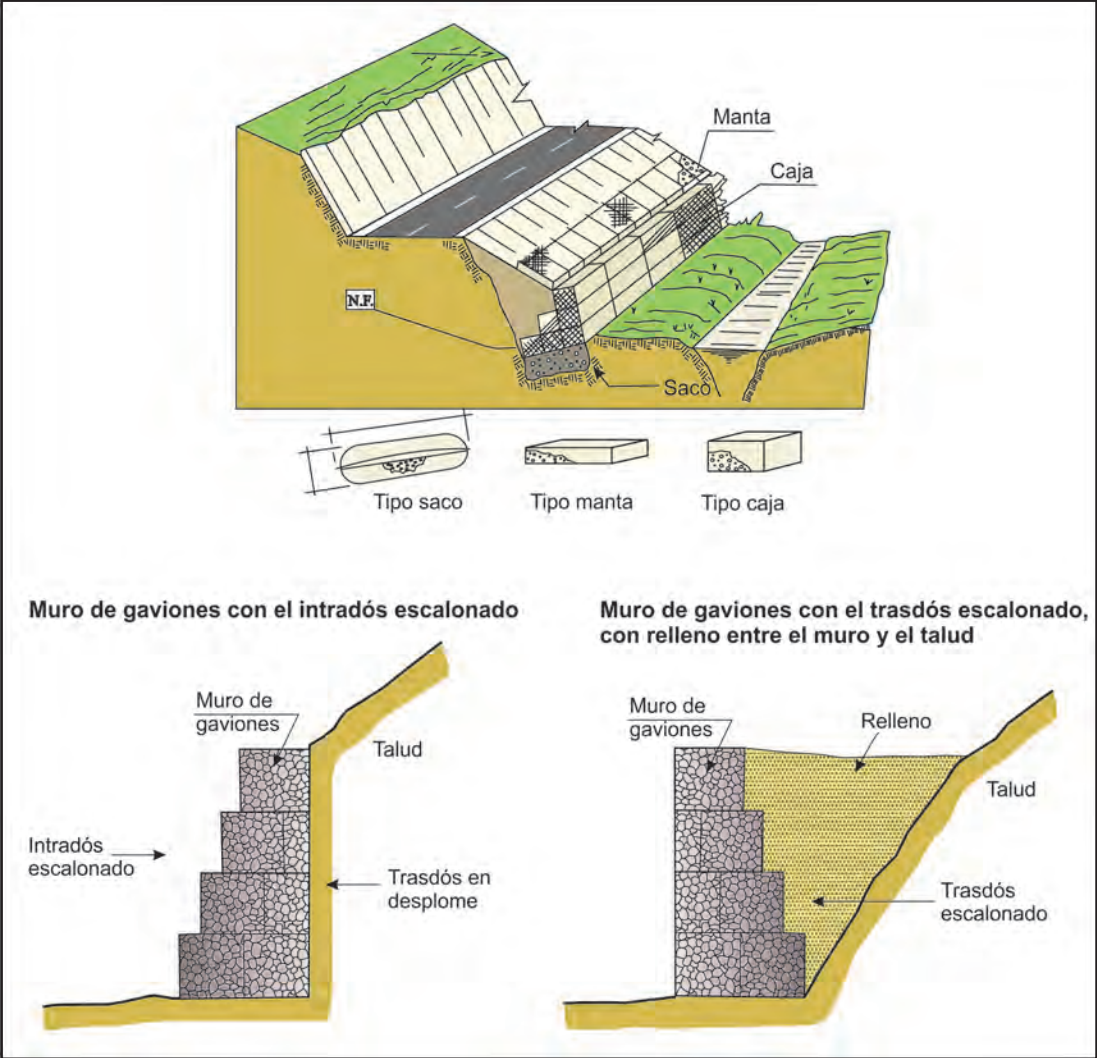


Figura 8.8 Muro de gaviones y ejemplos de aplicación

Fuente: Ayala & Olcina, 2002.

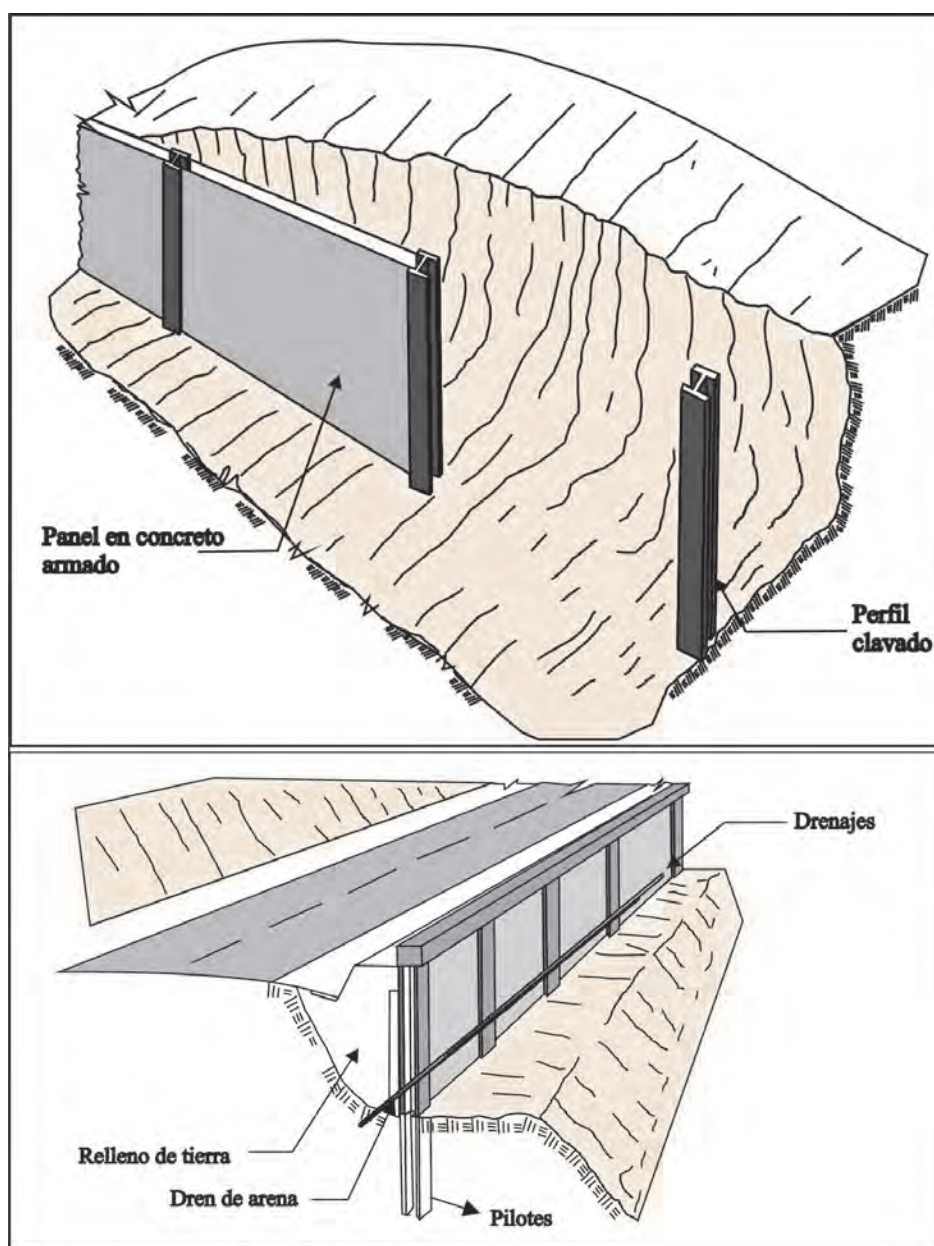


Figura 8.9 Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes

Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000.

Otros tipos de muros son los de *tierra armada*, formados por un paramento exterior prefabricado de hormigón o chapas metálicas y un relleno de suelo, reforzado mediante bandas o tirantes de

metal o de material sintético que se anclan al paramento y al talud (figura 8.10).

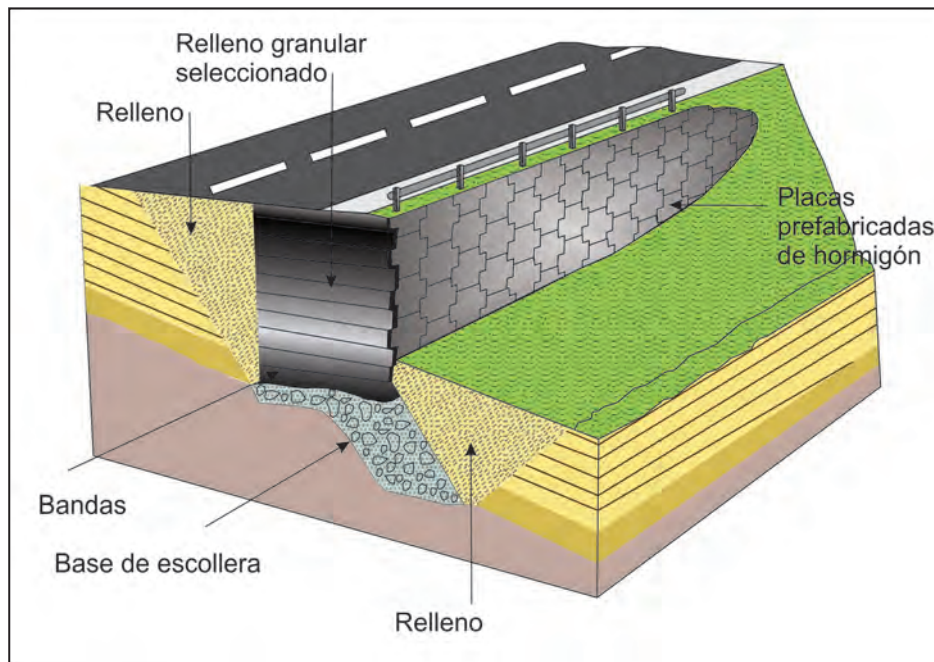


Figura 8.10 Muro de tierra armada (modificado de Canmet, 1977)

Túneles artificiales en carreteras o ferrocarriles protegen igualmente de los desprendimientos rocosos; se construyen de hormigón, y sobre su techo se coloca una capa de material granular para amortiguar el impacto de bloques y evitar que reboten (figura 8.11). Si los desprendimientos no son de gran volumen, el túnel puede sustituirse por estructuras más ligeras o por galerías dinámicas. También, puede ser usado para el

caso de huaicos como es el caso de algunos sectores de la Carretera Central. El diseño de estas medidas se realiza en función de la cantidad, volumen y peso de los bloques, pendiente de la ladera, trayectoria de los bloques, energía de impacto, distancias de alcance, grado de riesgo potencial de las caídas y/o flujos, accesibilidad a la ladera y disponibilidad de espacio para su instalación.



Figura 8.11 Túnel falso en la carretera Rafael Caldera Mérida (izquierda), Venezuela; carretera central Lima - La Oroya, Perú (derecha).

- **Correcciones superficiales.** Estas medidas se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno con la finalidad de evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud, eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en los taludes donde estos predominan y aumentar la seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales. En esta categoría se tiene, por ejemplo, el uso de: 1) *mallas metálicas* que cubre la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, lo cual es siempre peligroso; especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud; en la parte final de la

mallas se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de fragmentos sueltos de rocas, apropiados cuando el tamaño de roca a caer se encuentra entre 0.6 a 1 m (fotografía 8.1); en muchos taludes de las carreteras principales de la región Tacna, es necesario utilizar esta medida y no solo realizar limpieza del material caído; 2) *sembrado de cobertura vegetal en un talud o también denominado método biotecnológico*, para evitar la erosión superficial tanto hídrica como eólica (figura 8.12); 3) capa de hormigón que cubra el talud inestable; y 4) dejar un *margin de seguridad al pie de talud* frente a caídas y vuelcos de rocas con el fin de no destruir infraestructuras cercanas a ella.



Fotografía 8.1 Mallas de protección con anclajes para caída de rocas o derrumbes tanto en detritos como roca alterada



Figura 8.12 Ejemplo de laderas forestadas para controlar la erosión superficial.

8.2.2 Mitigación de peligros por deslizamientos

En el caso de los deslizamientos, no muy rápidos y poco profundos, son recomendables las obras de drenaje superficial sobre la masa deslizada que debe realizarse una vez que estas se han estabilizado (zanjas de sistema de drenaje perimetrales, en espina de pez) y la modificación de la geometría al actuar sobre dos de los factores principales que condicionan las inestabilidades. Otras medidas como la instalación de anclajes y bulones (acápite 8.2.1) son recomendables en caso de inestabilidades en macizos rocosos para evitar los deslizamientos y desprendimientos de bloques, no siendo

efectivas en deslizamientos en suelos (a no ser que se instalen sobre muros o vigas que reparan las fuerzas de forma uniforme); en este último caso, son más efectivos los elementos resistentes como pilotes, muros o pantallas.

En la figura 8.13 se presenta un esquema de la estabilización de un extenso deslizamiento superficial en suelos residuales limo-arcillosos. Las medidas de corrección o estabilización de laderas están encaminadas a prevenir los procesos y mitigar los daños. Cabe mencionar que los deslizamientos o flujos de dimensiones importantes, incluso con velocidades muy bajas, son muy difíciles o imposibles de detener.

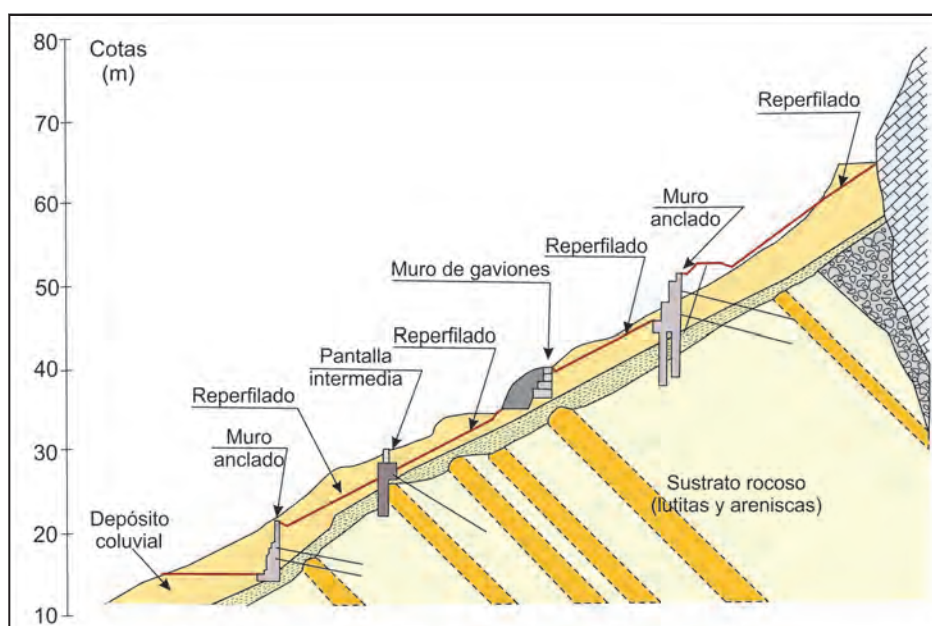


Figura 8.13 Esquema de las medidas de contención de un deslizamiento en suelo coluvial arcillo-limoso con sustrato formado por lutitas y areniscas.

Fuente: Rodríguez, 1997.

Otra medida es la construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente (figura 8.14). El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud, pudiéndose estabilizar

grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta además como un elemento resistente propiamente dicho. Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante.

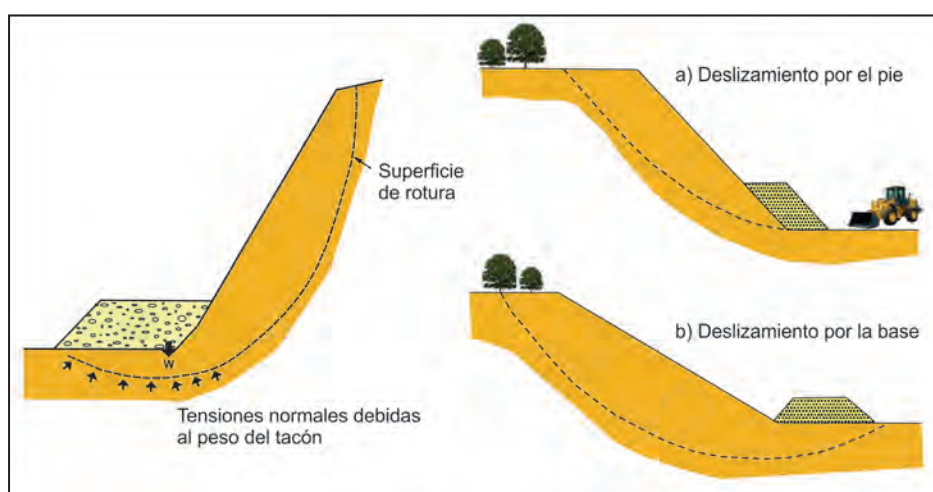


Figura 8.14 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno, en el pie de un talud (izquierda), colocación de escollera según el ángulo de rozamiento interno del terreno (derecha).

Fuente: Ayala & Olcina, 2002.

En ocasiones se emplean muros (8.2.1) para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención en el pie, como se muestra en la figura 8.15; sin embargo, esta medida puede tener varios inconvenientes a la hora de la construcción, ya que al excavar en el pie del

talud puede favorecer la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Además, el muro puede no ser capaz de evitar posibles deslizamientos, por encima o por debajo del mismo como se aprecia en la figura.

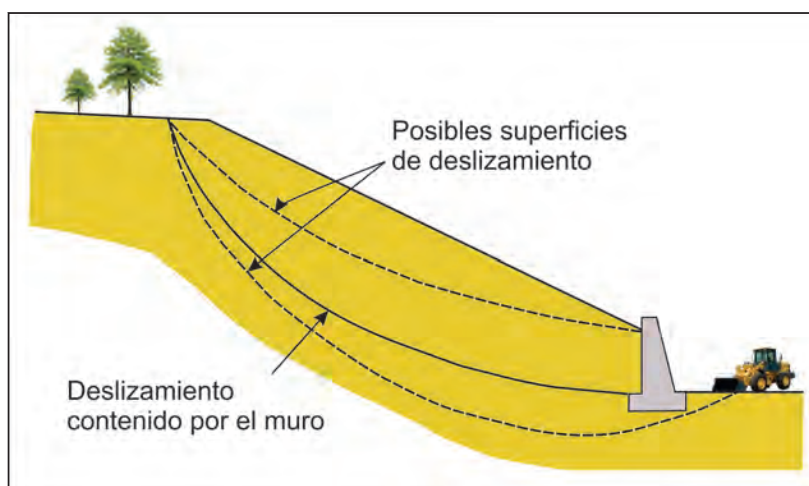


Figura 8.15 Control de un deslizamiento mediante un muro.

Fuente: Ayala & Olcina, 2002.

8.2.3 Mitigación de peligros por huaicos

En quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación:

- Encauzar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos (fotografía 8.2), retirando los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional caso del Fenómeno El Niño; es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 8.17).
- Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrear

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 8.18).

- 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 8.19), en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Cabe mencionar que estas obras de infraestructuras que atraviesen estos cauces deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máxima crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas provenientes de la cuenca media y alta, evitándose obstrucciones y represamientos violentos.

Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de encauzamiento y limpieza del cauce de la quebrada aguas arriba (fotografía 8.3), y obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.



Fotografía 8.2 Encauzamiento de una quebrada.



Figura 8.16 Construcción de disipadores de energía de las corrientes concentradas en el cauce de la quebrada, mediante diques transversales (enrocado y armazón de troncos) y canalización del cauce con muros laterales escalonados utilizando bloques de rocas para mitigar los efectos

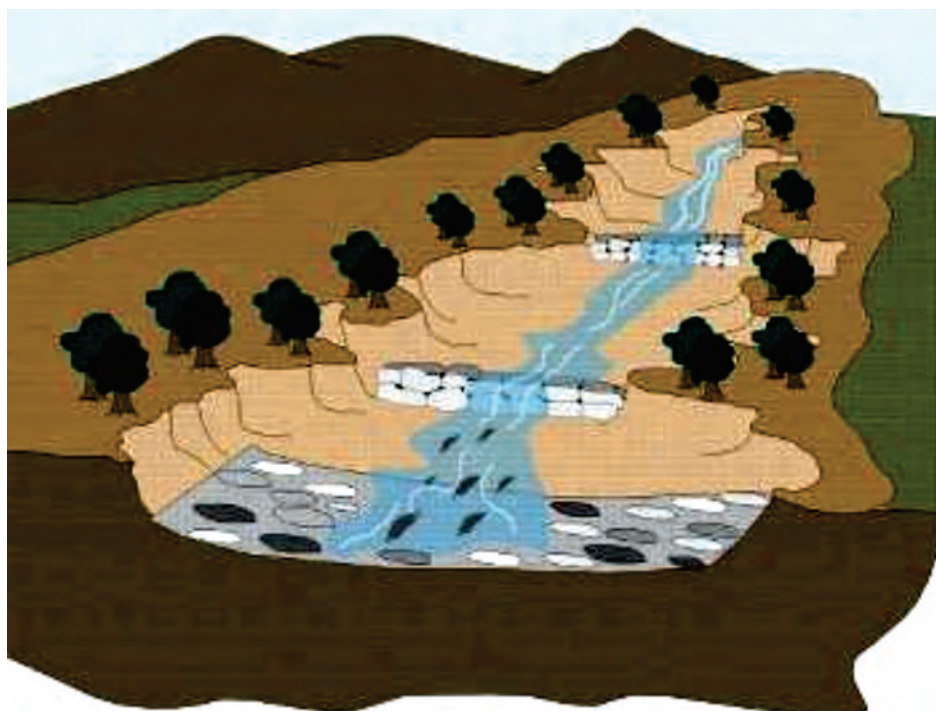


Figura 8.17 Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques ribereños.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 8.18 Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaicos: A) de control; B) tipo rejilla; C) barras flexibles.



Figura 8.19 Obras de drenaje para redes viales: A) badenes; B) alcantarillas y pontones; y C) puentes, puentes-badén



Fotografía 8.3 Limpieza de cauce del río.

8.2.4 Mitigación de peligros por erosión de laderas

En zonas donde la erosión de laderas es aguda 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, muchos de estos cauces con suficiente material pueden generar flujos. Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que cabe destacar:

- 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 constituidos con materiales propios de la región como: troncos, ramas, etc. (figuras 8.20 al 8.22 y fotografía 8.4).
- Empleo de zanjas de infiltración articuladas (canales de desvío) de acuerdo con las condiciones climáticas de la región (figura 8.23).
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal conformada por pastos, malezas y arbustos con fines de estabilizar el terreno y controlar la erosión. En la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzaran versus la pendiente y profundidad de los suelos. Se recomienda además que las plantaciones forestales se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración construidas paralelas a las curvas de nivel.
- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal; finalmente, evitar la quema de pajonales.

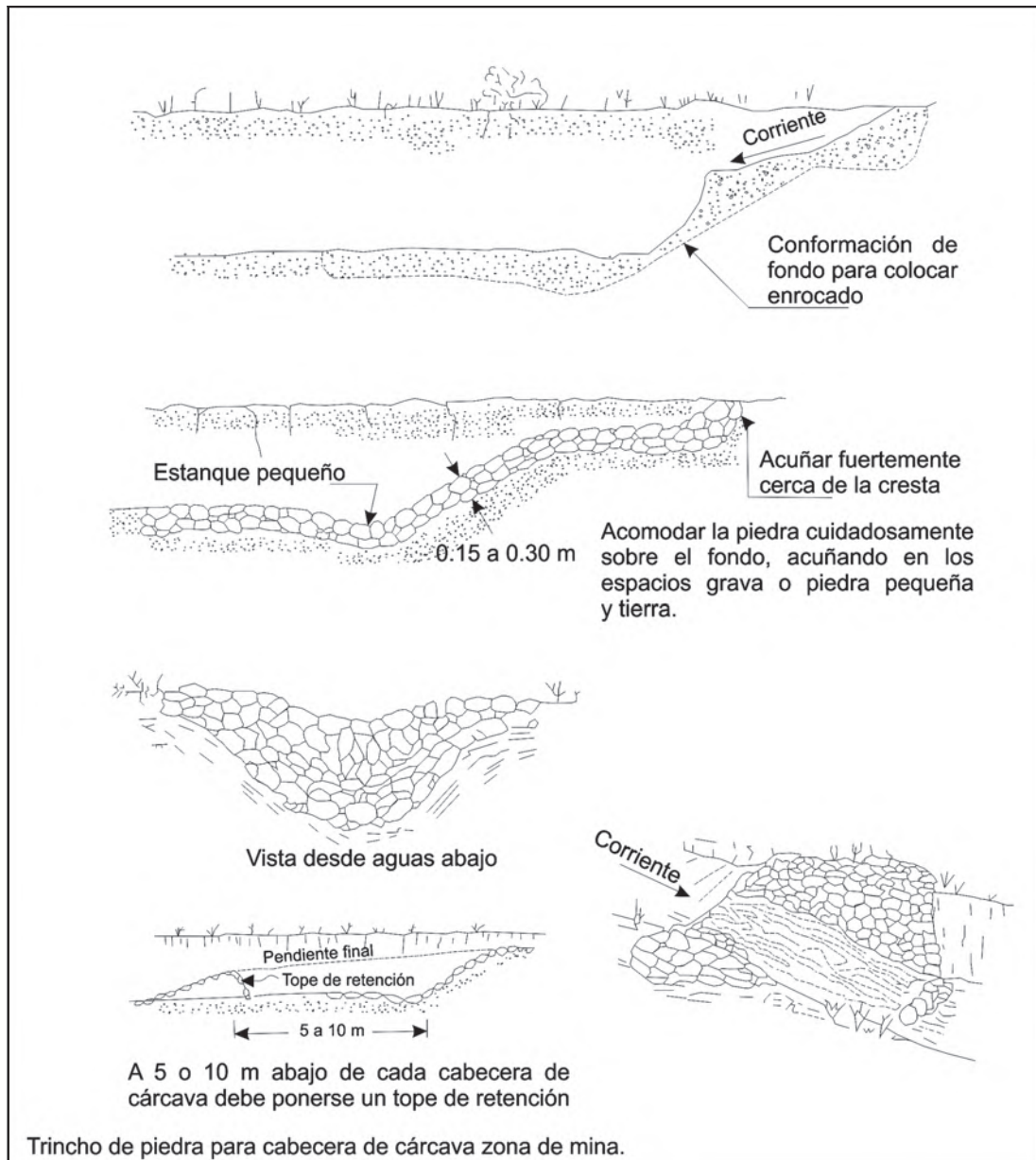


Figura 8.20 Trincho de piedra para cabecera de cárcava (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).

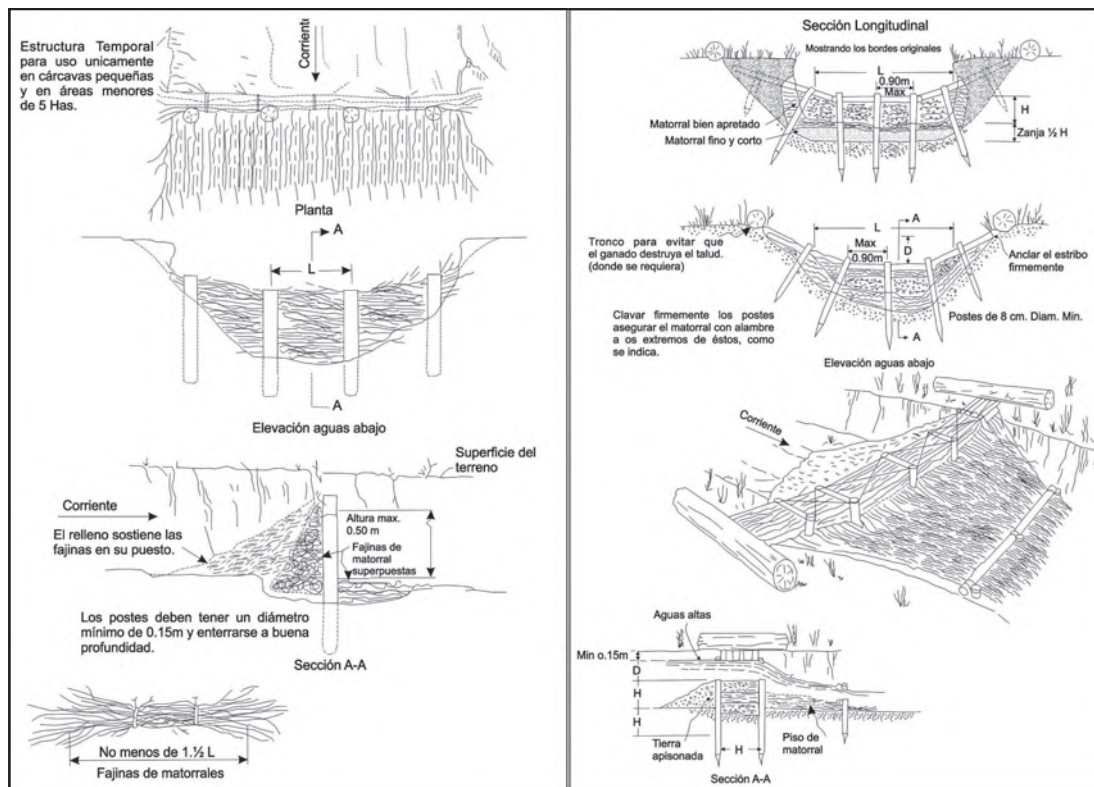


Figura 8.21 Trincho de matorral tipo una hilera de postes y trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964)

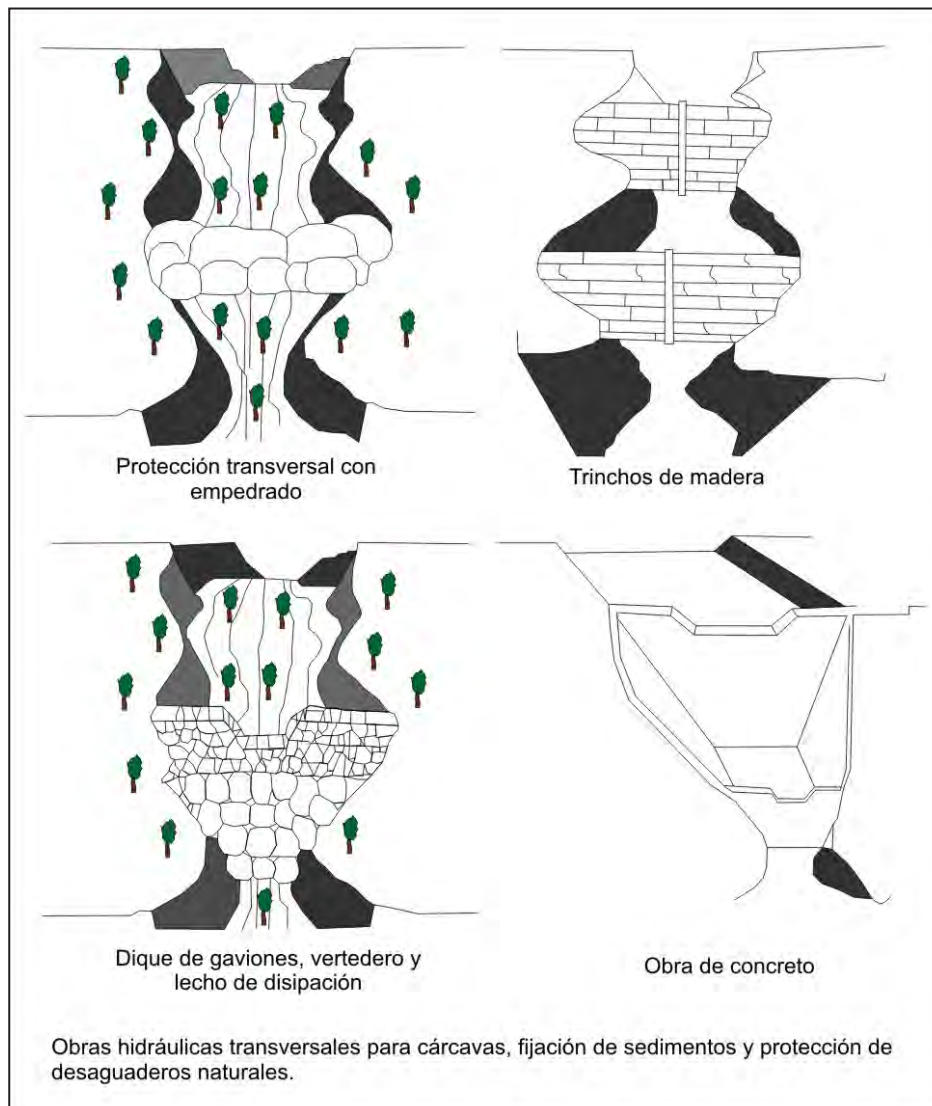


Figura 8.22 Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales (tomado de Instituto Nacional de Vías, 1998)



Fotografía 8.4 Ejemplo de evacuación de aguas superficiales y control de erosión en cárcavas, mediante trinchos escalonados.

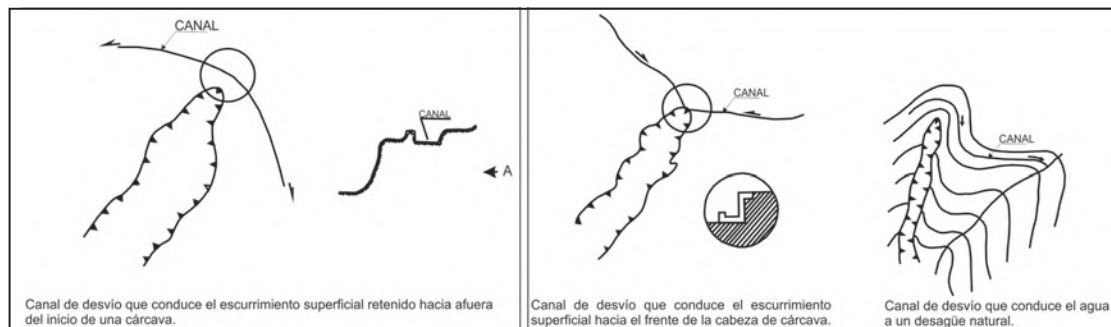


Figura 8.23 Canales de desvío.

Fuente: Hylsky, 1970.

8.2.5 Mitigación de peligros por inundación y erosión fluvial

Para disminuir los daños por inundaciones en la región, se hace necesario aplicar las siguientes medidas:

- Encauzamiento del lecho principal, ríos y quebradas afluentes, en zonas donde se produzcan socavamientos

laterales de las terrazas aledañas. Para ello se debe construir espigones laterales, enrocado o gaviones (figuras 8.24 y 8.25) para aumentar la capacidad de tránsito en el cauce de la carga sólida y líquida durante las crecidas y limpiar el cauce.

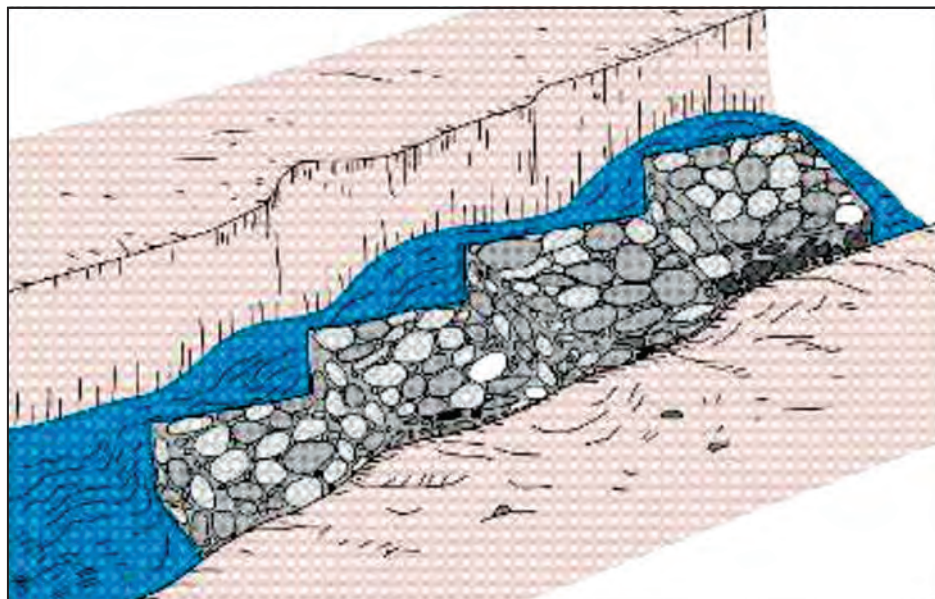


Figura 8.24 Gaviones para encauzar el lecho del río.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 8.25 Ejemplos de uso de enrocados y muros de gaviones para protección de carretera. En muchos casos esto debe estar acompañado de un levantamiento de la rasante de la carretera.

- Protección de las terrazas fluviales de los procesos de erosión fluvial por medio diques de defensa o espigones

(figura 8.26), que ayudan a disminuir el proceso de arranque y desestabilización.

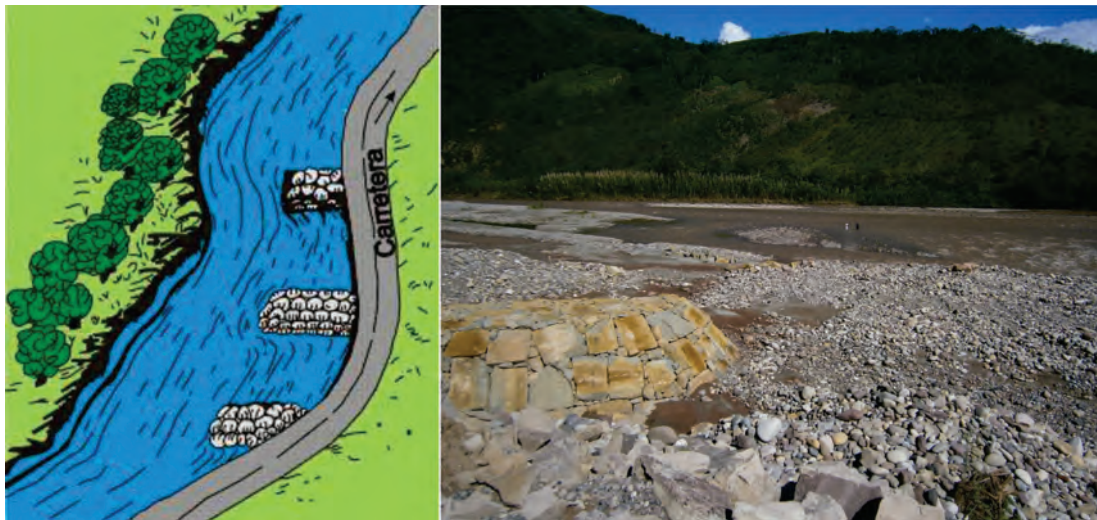


Figura 8.26 Espigones para proteger las terrazas fluviales

Fuente: Elaboración propia.

- Realizar trabajos que propicien el crecimiento de bosques ribereños con especies nativas (molle, sauce, carrizos, caña brava); pero evitar la implantación de cultivos en el

lecho fluvial para que no interrumpa el libre discurrir de los flujos hídricos.

8.2.6 Mitigación de peligros por hundimientos y subsidencias

Ante la imposibilidad de evitar los procesos de hundimiento y subsidencia de cierta magnitud, las medidas para paliar sus efectos deben basarse en la prevención de estos fenómenos.

En el caso de cavidades, la solución es el relleno de estas, previo conocimiento de su volumen y profundidad, y asegurarse de que el proceso es activo, los rellenos deben ser realizados periódicamente.

La subsidencia puede prevenirse y controlarse actuando sobre los procesos que la provocan. Si los materiales afectados no han sobrepasado las deformaciones elásticas, estas pueden recuperarse si se vuelve a las condiciones iniciales de equilibrio; por ejemplo, en el caso de descenso del nivel freático. En las excavaciones subterráneas, la subsidencia puede prevenirse mediante inyecciones y tratamientos previos de consolidación del terreno.

8.3 SISTEMAS DE MONITOREO O VIGILANCIA DE HUAICOS CON FINES DE ALERTA TEMPRANA

Consisten en la instalación de diversos sistemas o instrumentos, en superficie o en profundidad, con la finalidad de detectar movimiento o medir determinados parámetros relacionados con los movimientos. Los siguientes son los más frecuentes:

- Instalación de inclinómetros y piezómetros en deslizamientos o en laderas cuya inestabilidad supone riesgos importantes (por ejemplo, en las laderas de embalses o de zonas urbanizadas). Se requiere establecer los valores tolerables (de desplazamiento) a partir de los cuales se considera que los movimientos son peligrosos o que puede producir la aceleración de estos. Es muy importante tomar los

datos con precisión, de preferencia de forma automática y la interpretación de las medidas obtenidas, así como las decisiones deben basarse en juicios expertos. La frecuencia de medida está en función de las características del proceso y de la fase o estado de inestabilidad. Debe prestarse atención también al correcto funcionamiento y mantenimiento de los sistemas. En base a las medidas pueden establecerse correlaciones con las precipitaciones, lo que ayuda a definir los niveles o umbrales de alarma.

- Instalación de redes de cables en laderas rocosas con peligro de desprendimientos, mediante señales eléctricas o de otro tipo (al golpear los bloques desprendidos) generalmente se instalan en laderas rocosas con vías de ferrocarril y carreteras a su pie. El sistema puede estar conectado con señales que avisen del peligro inminente.
- Instalación de sistemas de vigilancia y alerta en las quebradas potenciales de generar flujos de detritos o huaicos, con el propósito de recopilar información sobre flujos en el campo tanto como sea posible, para la estación de monitoreo de flujos de detritos eficaz. Se tiene como ejemplo el instalado en Taiwan, mediante un seguimiento de sensores como pluviómetro, cámara, medidor de nivel de agua por ultrasonidos, sensor de humedad de suelo, cable sensor y geófonos. Los datos son captados por los sensores de observación, actualizados y transferidos a través de sistemas de transmisión por satélite y en tiempo real, hacia una página web y móviles desde una cabina instrumental que es la fuente de alimentación de procesamiento de datos (figuras 8.27 y 8.28). Esta información se utiliza no solo para ayudarnos a comprender el mecanismo físico de los flujos sino también para mejorar la exactitud del sistema actual de alerta sobre la base de umbrales de precipitación.



Figura 8.27 Sensores utilizados para el monitoreo de flujos de detritos (fotografía tomada en el Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan; Vilchez, 2010).



Figura 8.28 Estación de monitoreo de flujo de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan por Vilchez, 2010).

CONCLUSIONES

1. En la región Tacna, el 64.71 % de su superficie está cubierta por sustrato rocoso (rocas intrusivas, volcánicas, volcánico-sedimentarias, sedimentarias, y metamórficas), el 23.29 % restante corresponde a una cobertura de depósitos inconsolidados de origen fluvial, aluvial, proluvial, coluvial-deluvial, coluvial, volcánico y volcanoclástico, químico, lacustre, eólico, marino, glacial y fluvio-glacial, que rellenan valles fluviales y glaciares así como laderas y vertientes.
2. El relieve o morfología en función a su pendiente, aspecto importante en la clasificación de las unidades geomorfológicas, denota un mayor porcentaje de terrenos con pendientes bajas (1° - 5°) y medias (5° - 15°) (28.05 % y 24.61%, respectivamente; siguen terrenos con muy fuerte (25° - 45°) y fuerte pendiente (15° - 25°), ocupando un 15.98 % y 15.27 % de área; finalmente, terrenos con muy baja ($<1^{\circ}$) y abrupta ($>45^{\circ}$) de pendiente correspondiente a un 15.73 % y 0.36 %.
3. Las unidades geomorfológicas que dominan en el territorio de la región Tacna están agrupadas en: a) Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional (36.85 %) y b) Geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional (31.28 %). Un tercer grupo corresponde a c) Geoformas de carácter depositacional y agradacional (31.87 %).
4. Las primeras se agrupan en subunidades de montañas, montañas y colinas, colinas, colinas y lomadas y altiplanicies, cuyo origen está ligado a procesos sismo-tectónicos. Las unidades volcánicas están conformadas por subunidades decoladas y campos de lavas basalto-andesíticas, volcánicas o manto de piroclastos, colinas y lomadas ignimbríticas, complejo volcánico, domo volcánico, estratovolcán, mesetas (volcánica lávica e ignimbrítica), superficies con flujos piroclásticos y disectados, vertiente volcanoclástica. En cuanto a las unidades depositacionales, estas se dividen en función a su origen en: abanicos, piedemontes, morrenas, vertientes coluviales de detritos, glacio-fluvial, con depósito de deslizamientos, valles de represamiento, altiplanicies, terrazas aluviales, terrazas indiferenciadas, planicie aluvial, llanura o planicie inundable, laguna y cuerpos de agua, bofedales, mantos de arena, faja litoral, terrazas marinas, humedales; ligados a procesos gravitacionales y depositacionales. Y depósitos de origen antrópico como rellenos, botaderos, canteras y el caso particular del humedal de Ite como producto del proceso de remediación de la compañía minera Southern Peru Copper Corporation.
5. En función a su permeabilidad las unidades rocosas y depósitos inconsolidados conforman acuíferos porosos no consolidados, acuíferos fisurados (sedimentarios y volcánicos), acuíferos sedimentarios, acuitardos (en zonas de alteración, sedimentario, subvolcánico, volcánico, intrusivo y volcánico-sedimentario) y acuícludos metamórficos.
6. Producto de los trabajos geológicos de campo y gabinete en la región, se han identificado un total de 628 eventos, según su origen: por movimientos en masa (78.66 %); peligros geohidrológicos (10.67 %) y otros peligros geológicos (10.67 %). En función a la tipología similar, se encuentra una mayor frecuencia de flujos de detritos, lodo y avalanchas (50.32 %), caídas y derrumbes (22.29 %), deslizamientos (3.66 %), movimientos complejos (1.91 %), erosión fluvial (7.48 %), inundaciones fluviales (3.19 %), vuelco (0.48 %) y otros peligros geológicos como erosión de laderas (7.80 %) y arenamientos (2.87 %).
7. El estudio de la sismicidad en la región de Tacna indica que se han producido sismos con intensidades máximas de entre VIII hasta IX en la escala modificada de Mercalli. En los últimos 400 años, la región sur del Perú ha sido afectada con variable severidad por más de 30 terremotos; es importante mencionar que la ciudad de Tacna en los últimos 55 años ha soportado la violencia de terremotos en 1604, 1833, 1868, 1958, 1960 y 2001. De acuerdo con el mapa de zonificación sísmica del Perú, la región se encuentra entre las zonas 3 y 4 (0.35 g y 0.45 g) correspondiente a zonas de sismicidad alta a muy alta. Según el factor detonante de sismicidad en la región, para un 10 % de excedencia en 20 años, las aceleraciones oscilan entre 254 a 355 gals (moderadamente alta a muy alta), mientras que para 50 años varían de 308 a 408 gals (alta a muy alta) y para

100 años varían de 358 a 468 gals (muy alta). Estudios anteriores sobre neotectónica de Perú y la región Tacna han permitido identificar la presencia o influencia de fallas activas en la región (cerro Chascoso, Alto Los Chilenos, Toquepala, Vilacollo, Purgatorio, Micalaco, Cerro Morrito, Sama-Calientes, Mescalane, San Francisco, Fosa Perú-Chile, entre otras), muchas de las cuales producen sismos continuamente.

8. En el análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa, se consideró cinco categorías, las cuales se mencionan su distribución espacial:
 - Las zonas de muy alta susceptibilidad (12.07 %). En estas zonas se presentan procesos de erosión de laderas y movimientos en masa (derrumbes y caídas principalmente) que aportan material suelto a las quebradas, **que son posteriormente acarreados y que forman flujos de detritos** cuando se presentan lluvias en estas zonas, que permanecen secas por largos periodos como el caso de Mirave, Caramolle, entre otras. Los taludes de corte de carretera presentan problemas de derrumbes y caídas de rocas por el alto grado de fracturamiento de la roca y la elevada pendiente de las laderas, a las que se les puede considerar inestables como es el caso de varios tramos de carretera: Costanera (Morro Sama, cerro Chero, entre otros), carretera de acceso al campamento Toquepala, carretera Camiara-Locumba-Illabaya-Cambaya-Camilaca, Ticampa-Curibaya, Chero-Guacano-Tarata-Candarave, Huanune Chico-Palca Ataspaca. En esta zona se debe prohibir el desarrollo de toda infraestructura sin el conocimiento geológico detallado previo. Son necesarios los estudios geológicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción de infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puente, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana.
 - Las zonas de alta susceptibilidad (25.13 %). Dentro de esta zona se localizan los poblados de Santa Cruz, Cinto, Ticapampa, Illabaya y un sinnúmero de poblados que se **encuentran asentados sobre abanicos de flujos de detritos** (huaicos) emplazados en todos los valles que atraviesan la región Tacna, así como las quebradas que pasan por la ciudad de Tacna como las quebradas del Diablo y Caramolle. También, se tienen varios tramos de la carretera Costanera y varias carreteras de penetración hacia la sierra de Moquegua y Puno. Son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa; la susceptibilidad de esta zona aumenta por la escasa cobertura vegetal, dado que principalmente se tiene desierto costero en toda esta unidad; además, se encuentra una gran cantidad de derrumbes a lo largo de los taludes de corte de la carretera que desestabilizan las

laderas. En estas zonas se deben restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones o esta debe de ser muy bien planificada y contar con sus respectivos estudios de zonificación por peligros geológicos a escala local. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deben de realizar estudios geotécnicos de detalle.

- Las zonas de media susceptibilidad (33.04 %). Dentro de esta zona se ubican las localidades de Ite, La Banda, Nuevo Copare, Intiorko, Pachia, Domingo Nieto, Pampamolina, Santa Lucía, Chuñave, Calaparque, Tulupampa, Taruja y principalmente las laderas de los cerros y nevados que conforman la Cordillera del Barroso; también, se encuentra trazada la carretera Panamericana Sur (cerro Chapolla, pampas de Sama, del Pedregal, de Layagache, entre otros) y algunos tramos de la vía férrea Tacna-Arica, Costanera y carreteras de penetración a las regiones Moquegua y Puno.

Es probable que cuando se construyan obras de infraestructura en estas áreas, se generen movimientos en masa, por lo que se recomienda conocer en detalle las propiedades de los terrenos para tomar decisiones respecto a la viabilidad del desarrollo de infraestructura urbana e industrial.

- Las zonas de baja susceptibilidad (25.43 %). En esta zona se localizan obras de infraestructura vial muy importantes (algunos tramos de la carretera Panamericana Sur), las **cuales resultan dañadas por flujos de lodo. Asociado a estas lluvias extraordinarias se dan procesos de erosión en márgenes de quebradas y ríos que afectan directamente a puentes, pontones y alcantarillas.** También, se pueden producir derrumbes y deslizamientos en taludes locales, los cuales no son diferenciados en el análisis por el factor de **escala, consecuencia directa de la base topográfica utilizada** como en el sector Pampa Ite Sur.

Dentro de esta zona se tienen los poblados Pampa de Julia, Pampa Platanillo en el distrito de Inclán; Vila Vila, Boca del Río, Llostay, entre otros, en el distrito de Sama; La Yarada, Los Olivos, San Antonio, Los Palos, entre otros, en el distrito La Yarada-Los Palos; Viñani, 24 de Junio, entre otros, en el distrito Gregorio Albarracín; Camiara en el distrito Locumba; sectores lomadas Escritos, La Aguada, Gallinazos, Espíritus y El Camaleón, entre otros, en el distrito de Tacna. En la zona altoandina, estas áreas comprenden las pampas Huaytire, Patjata y Huarincalani alrededor de la laguna Suches y Jucure, entre otros, en el distrito de Tarata. En esta zona se puede permitir el desarrollo de infraestructura siempre y cuando se incorporen las recomendaciones del estudio de

diseño para hacer viable cualquier proyecto o adaptarse a las condiciones del terreno.

- Las zonas de muy baja susceptibilidad (4.33 %). También pueden ser alcanzadas por el impacto de los flujos ubicados a mayor altitud, los materiales acarreados por estos flujos se depositan en estas zonas planas. Es imprescindible realizar en esta zona una evaluación por 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, así como realizar estudio por licuación de suelos.

Dentro de estas áreas se encuentran las planicies costeras de la región Tacna, cubiertas por mantos de arena eólica; en esta zona se encuentra trazada varios tramos de la carretera Panamericana Sur y Costanera; la línea férrea del ferrocarril del Sur y lomas Escritos, La Aguada y Gallinazos del distrito de Tacna, entre otros. En las zonas altoandinas en el sector Pampa Huarincalani al noreste de la laguna Suches.

9. En la región Tacna, las inundaciones combinadas con la erosión fluvial son las que afectan principalmente a las poblaciones que se encuentran en los valles de los ríos Locumba, Sama, Salado, entre otros, y quebradas Mirave, Ticapampa, Caramolle, entre otras. Estas ocurrencias se producen por desborde y cambio de nivel de agua de estos ríos y sus tributarios principales, y son las zonas de media y alta susceptibilidad a las inundaciones y erosiones fluviales que corresponde el 11.19 % de la superficie total de la región.

10. En la región Tacna, se han identificado un total de 45 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos. La mayor cantidad de zonas críticas a la ocurrencia de peligros geológicos se ubica en la provincia de Tarata (15), seguido por las provincias de Candarave (14), Tacna (9) y Jorge Basadre (7). Cabe mencionar que las recomendaciones que se indican en este informe deben implementarse con la asesoría de especialistas.

11. Es importante resaltar que, a lo largo de su historia, la región Tacna ha sido afectada muchas veces por fuertes sismos y en algunas ocasiones precipitaciones pluviales excepcionales, las que causaron serias destrucciones materiales y, en muchas ocasiones, han cobrado vidas humanas. Estos eventos pueden generar a futuro los escenarios de riesgo más críticos en la región. Si a esto le sumamos el tipo de material precario empleado para construir viviendas en la mayoría de los asentamientos humanos, debido al crecimiento urbano acelerado de manera informal, en zonas de alto y muy alto peligro por sismos, flujos, caídas de rocas, entre otros procesos, como laderas de fuerte pendiente, rellenos sanitarios, depósitos eólicos, cauce o cercanía a ríos y quebradas, etc., y la falta de cultura de prevención, política e instrumentos de ordenamiento municipal, resulta ser el mayor problema a solucionar por las autoridades competentes para disminuir las condiciones de riesgo existentes.

RECOMENDACIONES

1. Para realizar una buena planificación urbana, se debe tener en cuenta los mapas de susceptibilidad de diferentes procesos. Antes de elegir la ubicación, diseño, método constructivo, tecnología, materiales, y planes de contingencia de nuevas urbanizaciones e infraestructura proyectadas, es necesario considerar las condiciones geológicas y el comportamiento local del suelo frente a un sismo severo, **así como las precipitaciones probables con el fin de prevenir futuros desastres.**
2. En las zonas que indicaron valores de susceptibilidad alta y muy alta, es necesario investigar a mayor detalle las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos para poder elegir la mejor solución posible, ya sea obras de mitigación, sistemas de alerta temprana o reubicación de viviendas. Cabe mencionar que las recomendaciones que se indican en este informe deben realizarse con especialistas.
3. Para fortalecer la capacidad local es muy importante educar **a la población involucrada, a fin de que sepan cómo actuar ante eventos catastróficos, así como el conocimiento de peligros geológicos que existen dentro de su jurisdicción** para así minimizar las pérdidas de vidas humanas y económicas a causa de estos desastres.
4. La mejora de la calidad de vida de la población debe ser incorporada como meta en los planes de desarrollo e inversión que formulen e impulsen los municipios, las regiones y el gobierno central.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, H.; Mamani, M.; Alván, A.; Rodríguez, J. & Cutipa, M. (2012) - Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huayllillas, hojas 37-u, 37-v y 37-x, escala 1: 50,000. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 145, 108 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/107>
- Acosta, H.; Alván, A.; Mamani, M.; Oviedo, M. & Rodríguez, J. (2011) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca, hojas 36-v y 36-x, escala 1: 50,000. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 139, 96 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/101>
- Acosta, J.; Rodríguez, I.; Huanacuni, D.; Valencia, M. & Flores, A. (2011) - *Memoria sobre la geología económica de la región Tacna*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 32 p.
- Alva, J. (1983) - *Breve historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú* (en línea). Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 4, Lima, 1983. 12 p. (consulta: 8 noviembre 2017). Disponible en: <http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis16_a.pdf>
- Alva, J.; Meneses, J. & Guzmán, V. (1984) - *Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú* (en línea). Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5, Tacna, 11 p. (consulta: 8 noviembre 2017). Disponible en: <http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua (2012) - *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*: Memoria descriptiva. Lima: ANA, 104 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/597>
- Autoridad Nacional del Agua (2015) - *Inventario de presas en el Perú, Primera parte 2015*. Lima: ANA, 189 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/200>
- 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. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/132>
- Cahill, T.A. & Isacks, B.L. (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 97(B12): 17503-17529. <https://doi.org/10.1029/92JB00493>
- Casaverde, L. & Vargas, J. (1980) - *Zonificación sísmica del Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 32 p., PUCP Serie Difusión. Trabajo presentado en el II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente, Lima, 1980.
- Chang, L. & Alva, J. (1991) - *Deslizamientos y aluviones en el Perú* (en línea). Lima: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 175 p. (consulta: febrero 2015) Disponible en: <<http://www.jorgealvahurtado.com/files/Deslizamientos%20y%20Aluviones%20Peru.pdf>>
- Cotrina, G.; Vargas, V.; Olarte, Y.; Sánchez, M.; Peña, F. & Pari, W. (2009) - Hidrogeología de la cuenca del río Locumba. *INGEMMET, Boletín, Serie H: Hidrogeología*, 2, 117 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/369>
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslide types and processes. En: Turner, A.K. & Schuster, R.L., eds. *Landslides: investigation and mitigation*. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, p. 36-75.
- Cruz, V.; Vargas, V. & Cacya, L. (2013) - Caracterización y evaluación del potencial geotérmico de la región Tacna. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 56, 177 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/305>
- Dávila, J. (2006) - *Diccionario geológico bilingüe español-inglés*. Lima: [s.e.], 696 p.
- De la Cruz, N. & De La Cruz, O. (2001) - *Memoria explicativa de la revisión geológica del cuadrángulo de Tarata (35-v)*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 20 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2049>

- Delgado, F.; Zerathe, S.; Benavente, C.; Audin, L.; Robert, X. & Team Aster (2016) - Datación de depósitos coluviales utilizando nucleidos cosmogénicos (10Be) – Cronología del deslizamiento Aricota. En: Congreso Peruano de Geología, 18, Lima, 2016. *Resúmenes*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p.
- Díaz, A.; Carpio, M. & Ramírez, J. (2011) - Estudio geológico económico de las rocas y minerales industriales en las regiones de Moquegua y Tacna. *INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 26, 166 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/218>
- Empresa Editora El Comercio (2009) - *Atlas geográfico, económico y cultural del Perú: Volumen 10, Puno-Tacna*. Lima: Producciones Cantabria, 95 p.
- García, W. (1978) - Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate, Huaitiri, Mazo Cruz y Pizacoma. Hojas: 34-t, 34-u, 34-v, 34-x, 34-y. *Instituto de Geología y Minería, Boletín*, 29, 64 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/148>
- González, L.I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. (2002) - *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación, 715 p.
- Highland, L.M. & Bobrowsky, P. (2008) - *Manual de derrumbes: una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 174 p. Traducción de U.S. Geological Survey Circular 1325.
- Hungr, O.; Evans, S.G.; Bovis, M.J. & Hutchinson, J.N. (2001) - A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7(3): 221-238. <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.7.3.221>
- Hoek, E. & Bray, J.L. (1981) - *Rocks slope engineering*. 3. ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 358 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 1. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 23, 330 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/312>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (s.f.) - Compendios estadísticos. (consulta: setiembre 2015). Disponible en: <https://www.indeci.gob.pe/direccion-politicas-y-planes/compendios-estadisticos/compendios/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017) - Capítulo 6: Salud. En: *Compendio Estadístico Perú 2017*. Lima: INEI, vol. I, p 369-502.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018a) - Evolución de la pobreza monetaria 2007-2017, *Informe técnico*. Lima: INEI, 163 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018b) - Indicador de la actividad productiva departamental, cuarto trimestre 2017. *INEI, Informe Técnico*, 1, 46 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018c) - *Perfil Sociodemográfico, informe Nacional. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de comunidades indígenas*. Lima: INEI, 641 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018d) - *Perú: Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017* (en línea). Lima: INEI, 5 tomos, 4212 p. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1544/
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018e) - *Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017: Tacna* (en línea). Lima: INEI, 5 tomos. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1564/
- Instituto Nacional de Vías (1998) – *Manual de estabilidad de taludes – Geotecnia Vial*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 340 p.
- Jaén, H. (1965) - Geología del cuadrángulo de Tarata (Hoja 35-v). *Comisión Carta Geológica Nacional*, 11, 91 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/191>
- Jaén, H.; Ortiz, G. & Wilson, J.J. (1963) - Geología de los cuadrángulos de La Yarada y Tacna (Hojas 37-u y 37-v). Geología del cuadrángulo de Huaylillas (Hoja 37-x). *Comisión Carta Geológica Nacional*, 6, 69 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/136>, <https://hdl.handle.net/20.500.12544/561>
- Luque, G. (2016) - *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Tacna*, Informe técnico. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 50 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2028>
- Luque, G. (2016) - Evaluación geológica - geodinámica en la Quebrada del Diablo. Región Tacna, provincia Tacna, distrito Alto de la Alianza, paraje Quebrada del Diablo. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Informe Técnico A6712, 18 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1193>
- Macharé, J.; Benavente, C. & Audin, L. (2009) - Síntesis descriptiva del Mapa Neotectónico 2008. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 40, 103 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/245>
- Mariño, J.; Samaniego, P.; Manrique, N.; Valderrama, P. & Macedo, L. (2009) - Geología y mapa de peligros del complejo

- volcánico Tutupaca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 66, 165 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1984>
- Martínez, W. & Zuloaga, A. (2000) – Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de Moquegua (35-u), informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú, 12 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2044>
- McGuire, R.K. (1976) - Fortran computer program for seismic risk analysis. U.S. Geological Survey, Open-File Report 76-67, 90 p. <https://doi.org/10.3133/ofr7667>
- Medina, L. & Luque, G. (2016) - Evaluación de peligros geológicos en el centro poblado Mirave y sector Alto Mirave. Región Tacna, provincia Jorge Basadre, distrito Ilabaya, paraje Ilabaya. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Informe Técnico A6705, 29 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1186>
- Mendivil, S. (1965) - Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave (hojas 35-x, 35-y). Comisión Carta Geológica Nacional, 10, 99 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/180>
- Monge, R. & Cervantes, J. (2000) – Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de Pachia (36-v) y Palca (36-x), escala: 1:50,000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 11 p., 8 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2046>
- 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>
- Narváez, S. (1964) - Geología de los cuadrángulos de Ilo y Locumba (Hojas 36-t y 36-u). Comisión Carta Geológica Nacional, 7, 75 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/147>
- Núñez, S. (2004) - Inspección geológica-geodinámica del centro poblado menor de Yarama y alrededores. Dist. Camilaca; Prov. Candarave; Dpto. de Tacna, Informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 27 p. Informe Técnico A5933.
- Ojeda, J.; Castro, E.; Valencia, A. & Fonseca, S. (2001) - Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica. Bogotá: INGEOMINAS, CVC, Escuela Colombiana de Ingeniería, 166 p.
- Perú. Marina de Guerra. Dirección de Hidrografía y Navegación (2018) - Carta de inundación (en línea). Lima: Dirección de Hidrografía y Navegación. (consulta: febrero 2018). Disponible en: <https://www.dhn.mil.pe/secciones/departamentos/oceanografia/apps/cartastsunamis/tsunamis_prevenccion/tsunamis_inundacion.htm>
- Perú. Ministerio de Energía y Minas (2016) – Anuario ejecutivo de electricidad 2016. Lima: MINEM, Dirección General de Electricidad; Dirección de Estudios y Promoción Eléctrica, 116 p.
- Perú. Ministerio de Energía y Minas (2018) - Anuario minero 2017. Lima: MINEM, Dirección de Promoción Minera, 138 p.
- Perú. Ministerio de Salud (2016) – Registro nacional del personal de la salud 2016: Información de recursos humanos en el sector Salud. Lima: MINSA, Dirección General de Personal de la Salud, Observatorio de Recursos Humanos en Salud, 57 p.
- Perú. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018a) - Anuario estadístico 2017. Lima: MTC, Oficina de Estadística, 276 p.
- Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018b) - Informes y publicaciones / Transportes (en línea). (consulta: 26 junio 2018). Disponible en: <<http://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>>
- Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: **Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “Diseño Sismoresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA.** El Peruano, Separata especial, 24 enero 2016, 32 p.
- Perú. Presidencia del Consejo de Ministros (2011) - Decreto Supremo N°048-2011-PCM: Decreto supremo que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). El Peruano, Separata especial, 26 mayo 2011, 13 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.

- Rivera, M.; Samaniego, P.; Vela, J. & Le Pennec, J.L. (2018) - Geología y evaluación de peligros del complejo volcánico Yucamane-Calientes (Candarave-Tacna). INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 65, 128 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1879>
- Sánchez, A.; Rosell, W. & Raymundo, T. (2000) - Memoria explicativa de la revisión geológica en los cuadrángulos de Punta de Bombon (35-s), Clemesí (35-t), Ilo (36-t), Locumba (36-u), La Yarada (37-u), Tacna (37-v), Huayllillas (37-x), Juli (33-y), Pizacoma (34-y) e Isla Anapia (33-z), Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 39 p. 10 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2047>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (2020) - Áreas naturales protegidas de administración nacional con categoría definitiva (en línea). Lima: SERNANP. (consulta: enero 2020). Disponible en: <<https://www.sernanp.gob.pe/documents/10181/165150/lista+ANP+27-07-2020.pdf/c8ced518-ef64-4025-a6bc-d7be57c9324b>>
- Sébrier, M.; Huamán, D.; Blanc, J.L.; Macharé, J. Bonnot, D. & Cabrera, J. (1982) - Observaciones acerca de la neotectónica del Perú. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 107 p. (Proyecto SISRA – Grupo Peruano de Neotectónica).
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010a) - Guía climática turística (en línea). Lima: SENAMHI, 216 p. (consulta: 03 de junio 2015). Disponible en: <<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-20.pdf>>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010b) - Mapa de precipitación anual periodo lluvioso Set-May (en línea). (consulta: 26 mayo 2014). Disponible en: <http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Images/Atlas/SENAMHI/02_precipitacion.jpg>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010c) - Mapa de precipitación acumulada El Niño 1997-1998 (en línea). (consulta: 26 mayo 2014). Disponible en: <http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Images/Atlas/SENAMHI/05_pp_nino.jpg>
- Silgado, E. (1978) - Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 3, 130 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/251>
- Soncco, Y. & Manrique, N. (2018) - Peligro por deslizamientos en el sector Matarani. Región Tacna, provincia Candarave, distrito Quilahuani. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 27 p. Informe Técnico N° 6833. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1929>
- Tacna. Gobierno Regional (2015) - Plan de desarrollo regional concertado Tacna hacia el 2021. Tacna: Gobierno Regional, 97 p.
- Tavera, H. & Buforn, E. (2001) - Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology*, 5(4): 519-539. <https://doi.org/10.1023/A:1012027430555>
- Tavera, H.; Agüero, C. & Fernández, E. (2016) - Catálogo general de isosistas para sismos peruanos. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 193 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/791>
- Tavera, H. & Buforn, E. (2001) - Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology*, 5(4): 519-539. <https://doi.org/10.1023/A:1012027430555>
- Valderrama, L.; Montenegro, E. & Galindo, J. (1964) - Reconocimiento forestal del departamento de Cundinamarca. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 86 p.
- 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, Special Report 176, p. 11-33.
- Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.
- Wilson, J.J. & García, W. (1962) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca (Hojas 36-V y 36-x). Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín 4, 81 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/114>
- Zamudio, Y. & Tavera, H. (2004) - Análisis temporal de la actividad sísmica en el sur del Perú y sus implicancias tectónicas. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, Resúmenes extendidos, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 328-331.
- Zora, F. (1969) - Tacna historia y folklore, 2a ed. Tacna: Santa María, 468 p.

ANEXOS

- Anexo I.** Cartas de inundación en caso de tsunami realizados por la dirección de hidrografía y vegación de la marina de guerra del Perú en los sectores:
- Anexo I.I** Cartas de inundación en caso de tsunami en la Caleta Grau tsunami en la Caleta Grau
- Anexo I.II** Cartas de inundación en caso de tsunami en el Balneario Tomoyo y Boca del Río
- Anexo I.III** Cartas de inundación en caso de tsunami en Playa Llostay
- Anexo I.IV** Cartas de inundación en caso de tsunami en Playa Los Palos
- Anexo I.V** Cartas de inundación en caso de tsunami en Playa Santa Rosa
- Anexo I.VI** Cartas de inundación en caso de tsunami en la Caleta Vila Vila
- Anexo I.VII** Cartas de inundación en caso de tsunami en la Playa La Yarada

Los anexos están disponibles en formato digital desde el Repositorio Institucional del Ingemmet en la siguiente dirección:
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/3161>

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

Mapa 1.	Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.
Mapa 2.	Mapa litológico.
Mapa 3.	Mapa de pendientes.
Mapa 4.	Mapa geomorfológico.
Mapa 5.	Mapa hidrogeológico.
Mapa 6.	Mapa de inventario de peligros geológicos.
Mapa 7.	Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa.
Mapa 8.	Mapa de susceptibilidad a erosión fluvial e inundaciones.
Mapa 9.	Mapa de zonas críticas por peligros geológicos.

Figuras

Figura 2.1	Ubicación y características demográficas del departamento de Tacna.
Figura 2.2	Perfil físico y servicios básicos de las viviendas del departamento de Tacna.
Figura 2.3	Principales yacimientos mineros en el departamento de Tacna.
Figura 2.4	Zonas geotérmicas de la región Tacna.
Figura 2.5	Infraestructura vial, agrícola, minera y energética del departamento Tacna.
Figura 2.6	Mapa climático del departamento de Tacna.
Figura 2.7	Mapa de isoyetas de Tacna para el periodo lluvioso, setiembre-mayo (izquierda) y con presencia del Fenómeno El Niño 1997-1998 (derecha).
Figura 2.8	Mapa de cuencas hidrográficas de la región Tacna.
Figura 2.9	Áreas Naturales Protegidas en el departamento de Tacna.
Figura 3.1	Quebrada Puquio, coordenadas UTM 353223 E – 8034677 N, se observa depósito aluvial formado por intercalación de capas delgadas limos y arcillas con lentes de arena; también, conglomerados con clastos redondeados en matriz limo arcilloso, con vista hacia el noroeste.
Figura 3.2	Depósito evaporítico de yeso, en la cantera Viernes Santo, al suroeste de la ciudad de Tacna. Vista Google Earth.
Figura 4.1	Cumbres montañosas subredondeadas a convexas en el sector del Cerro Rosarine, con drenaje dendrítico, típico de rocas intrusivas. Vista hacia el noroeste.
Figura 4.2	Relieve de montaña en roca volcánica con cobertura glaciaria, en el cerro Chupiquiña y volcán Tacora ubicado entre los límites fronterizos entre Perú y Chile, con vista hacia el este. La vertiente sur muestra depósitos de morrenas (M).

- Figura 4.3 Imagen Google Earth, relieve de colinas y lomadas en rocas intrusivas, en cerros del Medio y Alto Los Chilenos, sector Ite.
- Figura 4.4 Colinas modeladas en roca volcánica, sector San José y Buena vista, donde se evidencia los procesos de erosión de laderas en surcos a los que están expuestas.
- Figura 4.5 Imagen Google Earth, se muestran la morfología de colinas intrusivas disectadas cercanos a la localidad de Tacahuay; destaca un drenaje dendrítico.
- Figura 4.6 Imagen Google Earth, se observa un complejo volcánico en el que resalta el Yucamane un volcán conocido por los investigadores. Está localizado al noreste de la ciudad de Candarave en la provincia del mismo nombre.
- Figura 4.7 Imagen Google Earth, conjunto de domos de lavas viscosas de constitución dacítica cubierto parcialmente por glaciares, localizado al norte del poblado Pallapallane en el distrito de Palca de la provincia Tacna
- Figura 4.8 Imagen del Google Earth, se observa afloramientos extensos de flujos piroclásticos afectados por erosión en cárcava, en los sectores de los cerros Soledad, Condorire, entre otros en el distrito y provincia de Tacna.
- Figura 4.9 Depósito de deslizamiento de magnitud considerable en la vertiente del cerro Condorire que llega hasta la Quebrada Palca quedando embalsado este río, actualmente no existe el embalse más que evidencias de material lagunar. Se localiza en el poblado y distrito de Palca.
- Figura 4.10 Se observa el depósito de material en la desembocadura de río de la quebrada Ahorcado al río Salado, ubicado al oeste del centro poblado de Mirave, distrito Ilabaya. Imagen Google Earth.
- Figura 4.11 Planicie costera limitada por una vertiente aluvial y un humedal. Está localizado al Sur del poblado y distrito de Ite en la provincia Jorge Basadre. Imagen Google Earth.
- Figura 4.12 Imagen satelital (Google Earth), comprendida entre Boca del Río y Punta Morena, donde se distinguen una costa emergente (C-e) y una terraza marina (T-m) al oeste de la ciudad Tacna, sector playa Llostay.
- Figura 4.13 Vista de la laguna Aricota en la provincia de Candarave, con vista al suroeste aguas abajo.
- Figura 4.14 Laguna Aricota producto del cierre natural originado por un deslizamiento de ladera de gran magnitud que funciona como dique, ubicado en el distrito de Quilahuani y Curibaya de la provincia de Candarave. Imagen Google Earth.
- Figura 6.1 Esquema de caída de rocas (Varnes, 1978).
- Figura 6.2 Esquemas de derrumbes.
- Figura 6.3 Esquema de un flujo de detritos.
- Figura 6.4 Esquema de un deslizamiento rotacional.
- Figura 6.5 Esquema de un deslizamiento traslacional.
- Figura 6.6 Esquema de un movimiento complejo.
- Figura 6.7 Esquema del vuelco en bloques.
- Figura 6.8 Huaicos en el sector de Paso El Viento, carretera Palca-Alto Perú cruza los depósitos de los huaicos que descienden del Nevado El Fraile, distrito de Palca, con vista hacia el sureste.
- Figura 6.9 Huaico del 08 de febrero de 2019 en la quebrada Mirave, destruyó el poblado del mismo nombre en el distrito de Ilabaya, con vista hacia el sureste.
- Figura 6.10 Flujo de lodo en el km 1274+140 de la carretera Panamericana Sur, límite entre los distritos Alto de la Alianza y Tacna, con vista al noroeste. Generalmente los pontones tienen una luz insuficiente cuando se producen flujos excepcionales, obstruyéndose y desbordándose hacia la carretera (a), requiriendo ser descolmatadas periódicamente.

Figura 6.11	Flujos de lodo del 26 de marzo del 2015 que descienden del cerro Chero cubriendo un tramo de la carretera Tacna-Ilo, km 59+000 - km 63+000, distrito de Sama, con vista al sureste. A un lado de la carretera se aprecia el material removido, luego de la limpieza efectuada en la carpeta asfáltica (a).
Figura 6.12	Flujo de lodo en la quebrada Hospicio aguas abajo se desbordó afectando terrenos de cultivo, distrito de Inclán.
Figura 6.13	Avalancha de rocas en el sector Tomasiri, distrito de Inclán.
Figura 6.14	Caída de rocas en la Asociación Villa Intiorko, en el talud superior (A) e inferior (B) de la carretera Tacna-Tarata.
Figura 6.15	Deslizamiento de Quilahuani con reactivaciones en la margen derecha del río Callazas, distrito de Quilahuani. Vista del Google Earth.
Figura 6.16	Movimiento complejo (deslizamiento-flujo de detritos) en el sector Curibaya (línea de color naranja) como reactivación de los mega deslizamientos antiguos que represaron el río Curibaya dando origen a la laguna Aricota, distrito de Curibaya.
Figura 6.17	Vuelcos originados en ignimbritas del Barroso con disyunción columnar, margen izquierda del río Tarucachi, sector Estique Pampa, con vista al suroeste.
Figura 6.18	Esquema de erosión fluvial.
Figura 6.19	Inundación fluvial en ambas márgenes del río Salado, en el sector Sagollo, distrito de Locumba
Figura 6.20	Área sujeta a inundación fluvial en ambas márgenes del río Sama entre los sectores Tomasiri y Los Pinos, distrito de Inclán.
Figura 6.21	Erosión en cárcavas que afectan al talud superior e inferior de carretera.
Figura 6.22	Erosión en cárcavas en terrazas aluviales con altura menor a 50 m, en el sector Pampa Ite Norte (A); debido a las lluvias se generan huaicos que discurren a través de las cárcavas afectando terrenos de cultivo y viviendas que se encuentran abajo, distrito de Ite (B).
Figura 6.23	Mantos de arena invaden en el km 54+700 de la carretera Costanera afecta aproximadamente 1 km de esta carretera (km 54+000-km 55+000), sector Playa Jardín, distrito de Sama, con vista al sureste.
Figura 6.24	Dunas trepadoras en las laderas del cerro Botadero, distrito de Ite, con vista al sureste.
Figura 6.25	Mapa de isosistas del sismo del 24 de noviembre de 1604, Arequipa y del sismo del 13 de mayo de 1784, Tacna-Arequipa.
Figura 6.26	Mapa de isosistas del sismo del 13 de agosto de 1868, Arica-Arequipa y del sismo del 23 de junio del 2001, Arequipa.
Figura 6.27	Distribución de máximas intensidades sísmicas en la región Tacna.
Figura 6.28	Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la región Tacna con una sección sísmica transversal A-A' (SO-NE).
Figura 6.29	Aceleraciones sísmicas máximas para 20 años de la región Tacna (para un 10% de excedencia).
Figura 6.30	Aceleraciones sísmicas máximas para 50 años de la región Tacna (para un 10% de excedencia).
Figura 6.31	Aceleraciones sísmicas máximas para 100 años de la región Tacna (para un 10% de excedencia).
Figura 6.32	Zonificación Sísmica de la región Tacna.
Figura 6.33	Curva de peligro anual para la ciudad de Tacna (-18.01 S – 70.25 O).
Figura 6.34	Curva de peligro anual para la localidad de Candarave (-17.27 S – 70.25 O).
Figura 6.35	Curva de peligro anual para la localidad de Mirave (-17.47 S – 70.55 O).
Figura 6.36	Mapa neotectónico de la región Tacna.

- Figura 7.1 Erosión de laderas (cárcavas) en el poblado Borogueña, en época de lluvias se generan huaicos, distrito de Camilaca.
- Figura 7.2 Avalancha de rocas, donde el poblado de Coraguaya se encuentra al pie del depósito, distrito de Camilaca.
- Figura 7.3 Deslizamiento y derrumbes en margen derecha del río Camilaca, sector Camilaca Antigua.
- Figura 7.4 Deslizamiento (línea de color amarillo) y derrumbes reactivados (líneas de color rojo) al pie de un depósito antiguo, en la margen izquierda del río Camilaca, sector Cairani.
- Figura 7.5 Escarpa del deslizamiento de Pallata, reactivado como derrumbes o caída de rocas que originan depósitos de canchales (c). Vista al suroeste.
- Figura 7.6 A) Vista panorámica del deslizamiento de Quilahuani; B) derrumbes al pie del depósito antiguo en la margen derecha del río Callazas; C) cartografía de la reactivación del deslizamiento de Quilahuani, en el sector Matarani (Soncco & Manrique, 2018).
- Figura 7.7 A) vista del cauce colmatado del río Candarave, aguas arriba del puente 2 de Mayo; B) vista del cauce estrangulado y colmatado aguas arriba del puente El Triunfo; C y D) cauce colmatado encauzado por partes, aguas abajo del puente Dos de Mayo; E y F) canalización de una parte del río Candarave hasta el puente Candarave de 14 m de longitud, como se observa en las vistas anteriores, en la parte alta el cauce se encuentra estrangulado (5-6 m) y colmatado; G y H) depósito del último huaico acarreado por la quebrada Jucuturi.
- Figura 7.8 Deslizamiento antiguo en la margen derecha del río Callazas, el poblado Candarave se encuentra dentro del cuerpo del fenómeno, con vista al suroeste.
- Figura 7.9 a) vista panorámica de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Callazas, sector Aricota; b) erosión fluvial en la margen izquierda del río Callazas en el sector Inchupalla; c) erosión fluvial en ambos márgenes del río Callazas, la carretera Ticaco-Candarave corta este río.
- Figura 7.10 Vista panorámica de la Central Hidroeléctrica Aricota I, afectada por huaicos que descienden de las laderas del cerro donde se exponen depósitos coluvio-deluviales.
- Figura 7.11 Poblado de Curibaya ubicado en el cuerpo de un deslizamiento antiguo, el cual muestra un relieve ondulado (cóncavo-convexo) y escalonado.
- Figura 7.12 Sector Aricota II, sector Chintari afectado por huaicos que descienden de las quebradas Chintari y Paquiña.
- Figura 7.13 Derrumbes en talud superior de la carretera Ilabaya-Candarave km 18+000 – km 24+000, sector Cambaya.
- Figura 7.14 A) vista panorámica del poblado Huanuara; B) deslizamiento en la margen derecha de la quebrada Huanuara; C) erosión fluvial en la margen derecha de la quebrada Huanuara.
- Figura 7.15 Poblado Higuerani en la margen derecha de la quebrada Micalaco afectado por erosión fluvial e inundación en ambos márgenes, también es afectado por huaicos que discurren por las cárcavas.
- Figura 7.16 Flujo de lodo y erosión fluvial en la quebrada cabecera, sector Pachana, distrito de Ilabaya (Fuente: Defensa Civil de Ilabaya, 2015).
- Figura 7.17 Área sujeta a erosión fluvial e inundación en ambos márgenes del río Calumbraya, sector de Ilabaya
- Figura 7.18 A) vista panorámica de la quebrada Mirave; B y C) diques colmatados de material del huaico del 26/03/2015; D) erosión en cárcavas en la parte alta de la quebrada Mirave que aportan material al cauce de la quebrada.
- Figura 7.19 El huaico del 26/03/2015 afectó viviendas del poblado Mirave pendiente abajo principalmente la calle Toquepala y coliseo del poblado; socavó diques transversales, plataforma de carretera Mirave-Toquepala.
- Figura 7.20 Vista panorámica del poblado Mirave después del huaico del 08/02/2019, nótese el estadio (e) destruido y rellenado por el depósito del huaico, así como gran parte del poblado. En la margen derecha de la quebrada Mirave, en los sectores Alto Mirave y Ahorcados, se encuentra una parte de la población reubicada.

- Figura 7.21 A) muro de contención en la margen derecha del río Cinto cerca de la confluencia con el río Locumba; B) área sujeta a inundación en la margen derecha del río Locumba; C) erosión fluvial en la margen izquierda del río Cinto; D) derrumbes en talud superior de carretera de acceso a Locumba.
- Figura 7.22 El huaico del 26/03/2015 arrasó con los terrenos de cultivo en ambas márgenes del río Cinto, puede afectar en la margen izquierda al poblado Matagroso
- Figura 7.23 Vistas del sector Ticapampa, y canalización de la parte baja de la quebrada Gallinazos con mampostería de piedra (A, B y C) y con canales de concreto (D y E), poblado se encuentra en la margen derecha de esta quebrada.
- Figura 7.24 A) derrumbes que generan acumulación de canchales en el sector Poquera km 12+400 carretera Ticapampa-Curibaya; B) derrumbes en el sector San José de Poquera; C y D) derrumbe-Flujo en forma de abanico, puede afectar terrenos de cultivo; E) derrumbes en talud superior de carretera Ticapampa-Curibaya km 17+000, debido al huaico que acarreo el río Curibaya socavó parte de la plataforma de la carretera.
- Figura 7.25 Huaicos en la quebrada Ataspaca, el poblado del mismo nombre se encuentra en la margen derecha de la quebrada.
- Figura 7.26 Área sujeta a inundación y erosión fluvial en ambas márgenes del río caplina, en el sector puente Calana.
- Figura 7.27 Erosión fluvial en la margen derecha del desvío del río Caplina, aguas abajo se han colocado gaviones en ambas márgenes, sector Piedra Blanca.
- Figura 7.28 Área sujeta a inundación y erosión fluvial en la margen izquierda del río Calientes, donde se encuentra las instalaciones de los Baños Termales Calientes.
- Figura 7.29 A y B) huaico del 26/03/2015 en la quebrada Puquio, arrasó con terrenos de cultivo de Puquio en la margen izquierda de la quebrada; C y D) los flujos también afectaron tramos de la Panamericana Sur, km 1274+140.
- Figura 7.30 Vistas de la erosión fluvial en ambas márgenes del río Arunta, debido a la socavación de las bases colapsaron los muros, aguas abajo se colocó gaviones para proteger estribo de puente, lo cual fue insuficiente. Pasando el puente se extrae material para canteras en donde se pierde el cauce normal del río.
- Figura 7.31 Flujos de lodo del 26 de marzo del 2015 obstruyeron tramo de la carretera Tacna-Ilo, km 59+000 - km 63+000.
- Figura 7.32 Baden en la quebrada Huintilla en la margen izquierda de la quebrada Chero, corta la carretera Tacna-Tarata (izquierda). Erosión de la plataforma de la carretera Tacna-Tarata (km 28+000- km 29+000) en la margen izquierda de la quebrada Molles, erosiona aproximadamente 1000 m.
- Figura 7.33 A) Viviendas del sector La Florida ubicadas dentro del cauce de la quebrada del Diablo, en la margen izquierda de la quebrada presenta derrumbes y caída de rocas en el cerro Intiorko; B) Vista aérea realizada con dron, donde se observa la zona afectada por el flujo de lodo en la quebrada del Diablo del 21/02/2020 (Instituto geológico Minero y Metalúrgico, 2020).
- Figura 7.34 Erosión fluvial en ambas márgenes del desvío del río Uchusuma, sector 06 de Julio; se aprecian estructuras de encauzamiento con muros de concreto (A, C y D) y gaviones (B).
- Figura 7.35 Área sujeta a inundación en la margen derecha del río Sama, sector Miraflores.
- Figura 7.36 Vista panorámica de derrumbes y deslizamientos en el sector Challaviento.
- Figura 7.37 Flujo de lodo en el sector Caramolle, distrito de Pocollay. Fuente: Correo, 2019.
- Figura 7.38 Varias imágenes de la zona de huaicos (A y C) y derrumbes (B y D) en el sector Chucatamani, margen izquierda del río Tala.

Figura 7.39	Vista panorámica del poblado Yabroco, con presencia de erosión en cárcavas (arriba). Presencia de asentamientos y grietas en el colegio del poblado Yabroco (abajo).
Figura 7.40	Vistas del poblado Pistala afectado por intensa erosión en cárcavas que en época de lluvias se generan huaicos.
Figura 7.41	A y B) vista de quebrada Choja Chico, con lluvias intensas se desborda afectando directamente a la Av. 01 de Setiembre; C y D) quebrada Choja Grande Cruz en ladera del cerro Vizcachune; E) derrumbes en acantilados en la margen izquierda del río Tarata, viviendas del poblado de Tarata se encuentran muy cerca del borde.
Figura 7.42	Zona de huaicos periódicos en el río Salla Cotacuchu (km 98+750 de la carretera Tarata-Ticaco), por dinámica fluvial erosionó estribos de puente de 30 m, el cual se encuentra a punto del colapso.
Figura 7.43	A) zona de derrumbes en el talud superior de carretera Tarata-Ticaco; B) derrumbes en la margen izquierda de la quebrada Cachitala; C, D y E) deslizamiento en el km 88+000 aproximadamente de la carretera Tarata-Ticaco, con presencia de grietas y asentamientos en la plataforma.
Figura 8.1	Métodos más frecuentes para aumentar el coeficiente de seguridad en taludes de suelos.
Figura 8.2	Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos.
Figura 8.3	Medidas de drenaje y protección de taludes.
Figura 8.4	Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación.
Figura 8.5	Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento.
Figura 8.6	Muros de gravedad.
Figura 8.7	Muros aligerados: a) muro en "L"; b) muro con contrafuertes en el intradós.
Figura 8.8	Muro de gaviones y ejemplos de aplicación.
Figura 8.9	Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes.
Figura 8.10	Muro de tierra armada.
Figura 8.11	Túnel falso en la carretera Rafael Caldera Mérida (izquierda), Venezuela; carretera central Lima-La Oroya, Perú (derecha).
Figura 8.12	Ejemplo de laderas forestadas para controlar la erosión superficial.
Figura 8.13	Esquema de las medidas de contención de un deslizamiento en suelo coluvial arcillo-limoso con sustrato formado por lutitas y areniscas.
Figura 8.14	Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno, en el pie de un talud (izquierda), colocación de escollera según el ángulo de rozamiento interno del terreno (derecha).
Figura 8.15	Control de un deslizamiento mediante un muro.
Figura 8.16	Construcción de disipadores de energía de las corrientes concentradas en el cauce de la quebrada, mediante diques transversales (enrocado y armazón de troncos) y canalización del cauce con muros laterales escalonados utilizando bloques de rocas para mitigar los efectos ante la ocurrencia de un flujo de detritos.
Figura 8.17	Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques ribereños
Figura 8.18	Presas de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaicos, tipo SABO (A); tipo rejilla (B); barras flexibles (C).
Figura 8.19	Obras de drenaje para redes viales, A) badenes, B) alcantarillas y pontones y C) puentes, puentes-badén
Figura 8.20	Trincho de piedra para cabecera de cárcava.
Figura 8.21	Trincho de matorral tipo una hilera de postes y trincho de matorral tipo doble hilera de postes.

Figura 8.22	Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales.
Figura 8.23	Canales de desvío.
Figura 8.24	Gaviones para encauzar el lecho del río.
Figura 8.25	Ejemplos de uso de enrocados y muros de gaviones para protección de carretera. En muchos casos esto debe estar acompañado de un levantamiento de la rasante de la carretera.
Figura 8.26	Espigones para proteger las terrazas fluviales.
Figura 8.27	Sensores utilizados para el monitoreo de flujos de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan por Vilchez, 2010).
Figura 8.28	Estación de monitoreo de flujo de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan por Vilchez, 2010).

Gráficos

Gráfico 2.1	Tendencia urbana y rural del departamento de Tacna.
Gráfico 2.2	Edad en grupos quinquenales según sexo del departamento Tacna.
Gráfico 2.3	Población total y tasa de crecimiento promedio anual del departamento de Tacna.
Gráfico 2.4	Viviendas por provincia del departamento de Tacna.
Gráfico 2.5	Producción Sectorial del departamento de Tacna.
Gráfico 6.1	Inventario de peligros geológicos en la región Tacna.
Gráfico 6.2	Ocurrencia de peligros geológicos en la región Tacna.
Gráfico 6.3	Ocurrencias de movimientos en masa en la región Tacna.
Gráfico 6.4	Porcentaje de ocurrencias de movimientos en masa en la región Tacna.
Gráfico 6.5	Ocurrencias de peligros geohidrológicos en el departamento de Tacna.
Gráfico 6.6	Ocurrencias de otros peligros en la región Tacna.
Gráfico 6.7	Grado de peligro asignado a las ocurrencias de peligros geológicos inventariados en la región Tacna. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, V: vuelco, EL: erosión de laderas, EF: erosión fluvial, IF: inundación fluvial y A: arenamiento.
Gráfico 6.8	Grado de vulnerabilidad asignado a las ocurrencias de peligros geológicos inventariados en la región Tacna. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, V: vuelco, EL: erosión de laderas, EF: erosión fluvial, IF: inundación fluvial y A: arenamiento.
Gráfico 7.1	Zonas críticas por provincias en la región Tacna.

Fotografías

Fotografía 3.1	Depósitos fluviales en el fondo del valle del río Sama, puente Tomasiri al noroeste de la ciudad de Tacna; se observa material gravo-arenoso en la llanura inundable y terrazas bajas en ambas márgenes.
Fotografía 3.2	Vía asfaltada a 4.2 km del desvío de la carretera Costanera Sur a Los Palos, con vista hacia el noroeste. Se observa depósito aluvial formado por una secuencia de arenas y limos mal seleccionados en matriz limo arcilloso.
Fotografía 3.3	Depósito proluvial en la desembocadura de la quebrada Mirave, tributario del río Sama por la margen derecha, distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre Grohmann.

Fotografía 3.4	Depósito coluvio-deluvial, que conforma un cono de talus, depositado en la ladera media del llabaya al noreste de Mirave, en la margen derecha del río Curibaya.
Fotografía 3.5	Depósito de caídas piroclásticas, capas de cenizas y pomez en ambas en el flanco oeste del volcán Tutupaca.
Fotografía 3.6	Terrazas de travertinos en las márgenes del río Maure, sector de los baños termales de Calachaca. Vista aguas arriba.
Fotografía 3.7	Presencia de dunas trepadoras en laderas del cerro La Mina, invade carretera de acceso a Ite (km 82+000).
Fotografía 3.8	Vista de depósitos marinos en la playa Boca del Río, en la margen izquierda del río Sama.
Fotografía 3.9	Canteras de agregados del distrito Gregorio Albarracín, al sureste de Tacna
Fotografía 3.10	Vista al este, carretera Calientes-Pallagua, se observa afloramiento de rocas intrusivas de la Unidad Yarabamba.
Fotografía 3.11	Afloramiento de ignimbritas de la Formación Huaylillas, en el sector La Florida, al noroeste de la ciudad de Tacna.
Fotografía 3.12	Vista tomada en el flanco este del nevado Huancune, se observa afloramiento de roca volcánica conformado por traquiandesita porfídica del Grupo Barroso
Fotografía 3.13	Cerro Moreno, vista hacia el este. Afloramiento de areniscas de la Formación Guaneros miembro inferior fuertemente fracturado.
Fotografía 3.14	Afloramiento de lavas andesíticas de la Formación Chocolate en la desembocadura del río Sama al mar, playa Boca del Río, al suroeste de la ciudad de Tacna.
Fotografía 3.15	Sector Cuaylata, se observa afloramiento de la Formación Sotillo formada por limolitas, areniscas rojas, intercaladas con tobos lapilli pobremente seleccionadas, con vista hacia el oeste
Fotografía 3.16	Carretera Camilaca – Yucamane en la coordenada UTM/WGS84 355187 E – 8094666 N, se observa afloramiento de roca formada por lavas porfiríticas gris claro macizas, intercalan con flujos piroclásticos de la Formación Quellaveco, con vista hacia el oeste.
Fotografía 3.17	Vista tomada en el flanco este del cerro Cactus, donde se aprecia un afloramiento de roca sedimentaria conformada por intercalación de caliza de grano fino de color gris, areniscas cuarzosas y arcillitas bituminosas de la Formación Gramadal.
Fotografía 4.1	Montaña en rocas volcánicas de la Formación Moquegua superior, con laderas de fuerte pendiente, en la localidad de Huacano y Nache.
Fotografía 4.2	Se observa la montaña constituida por una secuencia de areniscas de la Formación Hualhuani con fuerte buzamiento al Este. Vista hacia el norte en el cerro Quillapampa, distrito Palca, provincia Tacna.
Fotografía 4.3	Relieve de montaña modelada en roca volcánico-sedimentario, ubicada en la margen izquierda del río Sama.
Fotografía 4.4	Colinas y montañas en calizas y lutitas de la Formación Socosani, presentan capas delgadas y laderas cubiertas por depósitos deluviales, ubicado en el sector Huanune en un tramo de la carretera entre Chuñave-Huanune.
Fotografía 4.5	Altiplanicie sedimentaria, de pendiente suave ocupados por viviendas de material rústico en el cerro Garita, con vista hacia el noreste.
Fotografía 4.6	Estratovolcán del Tutupaca, en la localidad de Queuñuta, muestra pendientes escarpadas y afectada por erosión glacial.
Fotografía 4.7	Estratovolcán Yucamane, con vista al noreste. Muestra un edificio volcánico con un cono casi completo, que demuestra su edad.

Fotografía 4.8	Vertiente aluvio torrencial en el distrito de Sama, donde se observa el relieve ondulado y la acumulación del material residual.
Fotografía 4.9	Perfil litológico de una vertiente aluvio torrencial. Se observa lo desordenado o caótico de sus componentes que revela el origen aluviónico del depósito
Fotografía 4.10	Material aluvial con superficie suavemente inclinada, localizado en el sector sur del poblado de San Isidro en el distrito y provincia de Tacna.
Fotografía 4.11	Terraza aluvial aprovechada para la agricultura en el sector norte de Miraflores, valle de Sama.
Fotografía 4.12	Se distingue la vegetación verde en el área del bofedal (Bo), el origen de las aguas proviene de las zonas altas (sur de este lugar) cubiertos parcialmente por glaciares. Este sector se localiza cerca del km 88+000 de la carretera Candarave-Toquepala, sector Quebrada Honda al noroeste de Candarave.
Fotografía 4.13	Depósitos generados por la actividad minera en la mina Toquepala, con vista al sureste
Fotografía 4.14	Material extraído en las Canteras del distrito de Gregorio Albarracín, provincia de Tacna, con vista hacia el norte.
Fotografía 6.1	Zona de huaicos en las quebradas que descienden del cerro Rocoso, en la margen derecha del río Sama. Entre los sectores Coruca y Sambalay Chico, distrito de Inclán.
Fotografía 6.2	Derrumbes en talud superior de carretera Locumba-Mirave, sector Huancarane, distrito de Ilabaya, con vista al noreste. Se distingue muros de contención en el talud inferior de la carretera.
Fotografía 6.3	Derrumbes en forma de canchales de detritos en laderas del cerro Borogueña, km 1+000 - km 2+250 de la carretera Cambaya-catarata Panina, margen derecha del río Camilaca, distrito de Camilaca.
Fotografía 6.4	Caída de rocas en la Asociación de Vivienda La Florida, margen izquierda de la quebrada del Diablo, distrito de Tacna, con vista al este. Se distingue varias familias de discontinuidades en las rocas que generan roturas planares y en cuña.
Fotografía 6.5	Vista Panorámica del deslizamiento de Camilaca, distrito de Camilaca, con vista al suroeste.
Fotografía 6.6	Deslizamiento de Talaca, distrito de Candarave, con vista al suroeste.
Fotografía 6.7	Erosión fluvial en la margen derecha del río Jaruma en el sector Jirata, distrito de Candarave, con vista al noroeste.
Fotografía 6.8	Erosión fluvial genera derrumbes en la margen izquierda del río Callazas, sector Villacollo, distrito de Quilahuani, con vista al suroeste.
Fotografía 6.9	Erosión fluvial en la margen derecha de la quebrada Arunta, sector Pampa Magollo, distrito de Tacna.
Fotografía 6.10	Área sujeta a inundación fluvial en ambos márgenes del río Sama sector La Angola, distrito de Sama.
Fotografía 6.11	Erosión en surcos en las laderas del cerro Chuquima, entre las quebradas Salada y Mollegallo, sobre afloramientos de granodioritas y dioritas muy alteradas y metorizadas de la Superunidad Ilo, en el sector de Ite, con vista hacia el norte.
Fotografía 6.12	Erosión en cárcavas en las laderas del cerro Tacapsirca, aportan material al cauce de la quebrada Charine, distrito de Pachía, con vista al suroeste.
Fotografía 6.13	Erosión en bad lands en las laderas del cerro Argandoñas, en la margen izquierda del río Sama, distrito de Inclán, afectando secuencias de conglomerados polimícticos de la Formación Moquegua.
Fotografía 6.14	Mantos de arena y dunas trepadoras en laderas del cerro Arunta, margen izquierda del río Caplina, distrito de Pocollay. Vista hacia el sureste.
Fotografía 7.1	Flujos de detritos que atraviesa cuatro desarrollos de la carretera Tacna-Tarata (km 24+000–km 49+000), sector Mal Paso-Quilla.
Fotografía 8.1	Mallas de protección con anclajes para caída de rocas o derrumbes tanto en detritos como roca alterada

Fotografía 8.2	Encauzamiento de una quebrada.
Fotografía 8.3	Limpieza de cauce del río.
Fotografía 8.4	Ejemplo de evacuación de aguas superficiales y control de erosión en cárcavas, mediante trinchos escalonados.

Cuadros

Cuadro 2.1	Población censada por provincias y sexo del departamento de Tacna, 2017.
Cuadro 2.2	Densidad poblacional por años censales del departamento Tacna, 1940-2017.
Cuadro 2.3	Población censada, urbana y rural, según provincia, 2017.
Cuadro 2.4	Población censada y tasa de crecimiento promedio anual, según provincia del departamento de Tacna, 2007-2017.
Cuadro 2.5	Grupos de departamentos con niveles de pobreza monetaria estadísticamente semejante, 2017.
Cuadro 2.6	Grupos de departamentos con niveles de pobreza extrema estadísticamente semejante, 2017.
Cuadro 2.7	Viviendas particulares, según área urbana y rural y tipo de vivienda del departamento de Tacna.
Cuadro 2.8	Población censada de 15 y más años, según nivel educativo alcanzado, 2017.
Cuadro 2.9	Instituciones educativas por UGEL en el departamento de Tacna, 2018.
Cuadro 2.10	Establecimientos de salud en el departamento Tacna, 2016.
Cuadro 2.11	Población censada del departamento de Tacna con seguro social, 2007-2017.
Cuadro 2.12	Población censada con cobertura de salud, según el tipo de seguro, 2017.
Cuadro 2.13	Cartera de proyecto de exploración minera, región Tacna.
Cuadro 2.14	Cartera de proyectos de construcción de mina, región Tacna.
Cuadro 2.15	Infraestructura vial del departamento Tacna, por tipo de superficie, 2017.
Cuadro 2.16	Infraestructura ferroviaria por empresa, tramo y longitud según régimen de propiedad, 2013-2017 en el departamento de Tacna.
Cuadro 2.17	Infraestructura aeroportuaria en el departamento de Tacna, 2017.
Cuadro 2.18	Presas inventariadas en la región Tacna.
Cuadro 2.19	Centrales Eléctricas por unidad de generación de la región Tacna.
Cuadro 3.1	Valores de resistencia a la compresión y tracción en algunas rocas sedimentarias.
Cuadro 5.1	Unidades hidrogeológicas presentes en la región Tacna.
Cuadro 6.1	Cronología de eventos desastrosos por peligros naturales ocurridos en el departamento de Tacna.
Cuadro 6.2	Ponderación de variables temáticas.
Cuadro 6.3	Unidades consideradas para determinar la susceptibilidad a los movimientos en masa en la región Tacna
Cuadro 6.4	Ponderación de variables.
Cuadro 6.5	Unidades consideradas y susceptibilidad a las inundaciones en la región Tacna.
Cuadro 6.6	Peligro asignado a los peligros geológicos en la región Tacna.
Cuadro 6.7	Vulnerabilidad asignada a los peligros geológicos en la región Tacna.
Cuadro 6.8	Descripción de los datos macro sísmicos ocurridos en la región Tacna y alrededores.
Cuadro 6.9	Factores de zona Z.
Cuadro 6.10	Clasificación del factor detonante (sismicidad).

Cuadro 6.11	Zonas costeras afectadas por tsunamis que incluye la costa de la región Tacna.
Cuadro 7.1	Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Candarave.
Cuadro 7.2	Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Jorge Basadre.
Cuadro 7.3	Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Tacna.
Cuadro 7.4	Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la provincia de Tarata.



Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú

Teléfono: 051 - 1- 618 9800

Fax: 051-1-225-3063 | 051-1-225-4540

www.gob.pe/ingemmet

comunicacion@ingemmet.gob.pe