

**INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica  
N° 81**



**Peligro Geológico en la región Arequipa**

**Lima, Perú  
2021**





**INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica**  
**N° 81**

# **Peligro Geológico en la región Arequipa**

**Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico**

**Equipo de Investigación:**

**Griselda Luque Poma**  
**Walter Pari Pinto**  
**Karen Dueñas Olivera**

**Lima, Perú**  
**2021**

INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica  
N° 81

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-07498

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, INGGEMMET 2021

Se terminó de imprimir el 19 de julio 2021 en los talleres del INGGEMMET

Tiraje: 25

## © INGGEMMET

Presidente Ejecutivo: Víctor Manuel Díaz Yosa.

Gerente General: Luis Panizo Uriarte.

Comité Editor: Lionel Fidel Smoll, Yorri Carrasco Pinares.

### **Dirección encargada del estudio**

Dirección de Geología Regional: Rildo Rodríguez Mejía.

### **Unidad encargada de edición**

Unidad de Relaciones Institucionales: Yorri Carrasco Pinares.

**Revisión Técnica:** Mirian Mamani Huisa, Norma Sosa Senticala.

**Revisor Externo:** Iván Santos Paredes.

Corrección gramatical y de estilo: Marco Young Rabines.

Diagramación: Erick Rodríguez Zelada.

Fotografía de la carátula: Deslizamiento de Sigvas, Arequipa (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2020).

### **Referencia bibliográfica**

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 81, 300 p., 9 mapas

Publicación disponible en libre acceso en el Repositorio Institucional del INGGEMMET. 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.....	7
ABSTRACT .....	9
CAPÍTULO I.....	11
INTRODUCCIÓN .....	11
1.1 PRESENTACIÓN .....	11
1.2 ANTECEDENTES .....	11
1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO .....	14
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).....	15
1.6.3 Procesamiento de la información (Gabinete II).....	15
1.7 AGRADECIMIENTOS .....	15
CAPÍTULO II .....	17
ASPECTOS GENERALES .....	17
2.1 SITUACIÓN DE LA REGIÓN .....	17
2.2 OCUPACIÓN ANTRÓPICA.....	19
2.2.1 Densidad poblacional .....	19
2.2.2 Crecimiento poblacional .....	21
2.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS.....	23
2.3.1 Indicadores de pobreza.....	23
2.3.2 Indicadores de vivienda .....	24
2.3.3 Indicadores de educación .....	25
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 .....	35
2.4.3 Infraestructura Energética.....	37
2.5 CLIMA .....	39
2.5.1 Temperatura y humedad .....	40
2.5.2 Precipitación.....	40
2.6 HIDROGRAFÍA .....	42
2.7 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS .....	43
2.8 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO .....	44
2.8.1 Bosques de zonas húmedas - zonas pluviales .....	44
2.8.2 Matorral de zonas áridas - zonas húmedas .....	45
2.8.3 Herbazales de zonas húmedas - zonas pluviales.....	45
2.8.4 Otras formaciones vegetales .....	46
2.8.5 Coberturas antrópicas.....	46
2.8.6 Otras áreas .....	46

<b>CAPÍTULO III</b>	<b>49</b>
CONTEXTO LITOLÓGICO ESTRUCTURAL	49
3.1 GENERALIDADES	49
3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS	49
3.2.1 Unidad I: Depósitos inconsolidados	49
3.2.2 Substrato rocoso	55
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>61</b>
CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	61
4.1 GENERALIDADES	61
4.2 PENDIENTE DE LOS TERRENOS	61
4.3 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	62
4.3.1 Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional	63
4.3.2 Geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional	74
4.3.3 Geoformas de carácter depositacional y agradacional	80
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>95</b>
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	95
5.1 GENERALIDADES	95
5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REGIÓN AREQUIPA	95
5.2.1 Acuíferos	96
5.2.2 Acuitardos (AT)	98
5.2.3 Acuífugos (AGM)	99
5.3 IMPACTO DE LAS IRRIGACIONES DE MAJES-SIGUAS	99
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>101</b>
PELIGROS NATURALES	101
6.1 GENERALIDADES	101
6.2 PELIGRO/AMENAZA	102
6.3 REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS DESASTROSOS EN LA REGIÓN AREQUIPA	102
6.4 PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN	110
6.4.1 Movimientos en masa	112
6.4.2 Peligros geohidrológicos	133
6.4.3 Otros peligros geológicos	141
6.4.4 Grado de correlación entre de peligro – vulnerabilidad y tipología de peligros geológicos	144
6.5 PELIGRO SÍSMICO	146
6.5.1 Sismicidad histórica	147
6.5.2 Distribución de máximas intensidades sísmicas	153
6.5.3 Distribución espacial de los sismos	153
6.5.4 Estudio sísmico probabilístico	155
6.5.5 Zonificación y aceleraciones máximas	157
6.5.6 Movimientos en masa detonados por sismos	159
6.5.7 Licuación de suelos y deformaciones superficiales	160
6.5.8 Tsunamis	161
6.5.9 Actividad Neotectónica	162
<b>CAPÍTULO VII</b>	<b>167</b>
ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN AREQUIPA	167
7.1 GENERALIDADES	167
7.2 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	167

CAPÍTULO VIII.....	253
ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS .....	253
8.1 GENERALIDADES.....	253
8.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS .....	253
8.2.1 Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes.....	254
8.2.2 Mitigación de peligros por deslizamientos .....	261
8.2.3 Mitigación de peligros por huaicos .....	262
8.2.4 Mitigación de peligros por erosión de laderas.....	266
8.2.5 Mitigación de peligros por inundación y erosión fluvial .....	270
8.2.6 Mitigación de peligros por hundimientos y subsidencias .....	271
8.3 SISTEMAS DE ALARMAS .....	271
CONCLUSIONES.....	275
RECOMENDACIONES .....	279
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	281
ANEXOS .....	287
RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES .....	289



## RESUMEN

El estudio Peligro Geológico en la región Arequipa, ejecutado durante el año 2013, se llevó a cabo con la finalidad de contribuir 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 en la región Arequipa, las cuales 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.

En la región Arequipa, la cobertura de suelo no necesariamente es de tipo vegetal, tiene una zona denominada desierto costero, luego le siguen las zonas cubiertas con pajonal altoandino, matorral arbustivo, las zonas periglaciares, ocupadas por agricultura costera o andina, y finalmente con extensiones reducidas la vegetación de tipo bofedales, los bosques relictos altoandinos y plantaciones forestales; también se consideró las áreas urbanas y minería.

La región está cubierta por sustrato rocoso (75.3 % de la superficie total de la región), constituidas por rocas volcánicas distribuidas principalmente en la Cordillera Occidental, intrusivos dispersos principalmente en toda la región, sedimentarios en toda la parte central-oeste y sur de la región, volcánico-sedimentarios en el lado noroeste y central-noreste de la región. Los materiales más recientes constituido por depósitos inconsolidados de origen aluvial, coluvio-deluvial, químico, volcánico-volcanoclástico, lacustre, eólico, marino, fluvial, proluvial, glaciar y antropógenos (24.7 %) conforman el relleno de los fondos de valle, así como laderas y vertientes, y las planicies que descienden hacia la costa del océano Pacífico, en donde la erosión marina ha originado los acantilados en la playa Cardones.

Las unidades hidrogeológicas se identificaron en base a un análisis de lito-permeabilidades, con el fin de zonificar las

formaciones geológicas más favorables al almacenamiento y circulación de aguas subterráneas que afloran en la región Arequipa, distinguiéndose cinco tipos: acuíferos porosos no consolidados, acuíferos fisurados (sedimentarios, volcánico-sedimentarios y volcánicos), acuíferos sedimentarios, acuitardos (sedimentario, subvolcánico, volcánico, intrusivo y volcánico-sedimentario) y acuífugos.

El reconocimiento geomorfológico de la región incluye variadas formas de relieve. En unos casos se trata de formas antiguas como los relieves aislados, mesetas, lomadas, colinas y alineaciones montañosas, caldera volcánica, 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, su origen está ligado a procesos sismo-tectónicos, erosivos y volcánicos ocurridos a lo largo de su historia geológica y con mayor distribución dentro de la región. También se observan unidades más recientes, como piedemontes, morrenas, valles fluviales y glaciares, terrazas aluviales, altiplanicies, planicie aluvial sobre los que se asienta 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 estos 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 tratan en este apartado los peligros geológicos, donde se han identificado e inventariado 2721 eventos, según su origen: por movimientos en masa (79.23 %); peligros geohidrológicos (7.28 %) y otros peligros geológicos (13.49 %) y 134 zonas críticas susceptibles a dichos procesos.

Probablemente fueron detonados por lluvias excepcionales como las producidas por el fenómeno El Niño. El inventario arroja que en la región son más frecuentes los flujos de detritos o lodo y avalanchas (36.68 % del total de procesos inventariados), luego las caídas (26.42 %), deslizamientos (10.58 %), movimientos complejos, reptación y vuelcos (5.55 %). En menor proporción también destacan los fenómenos de inundación, arenamientos,

hundimientos, erosión fluvial y de laderas (que suman un conjunto de 20.77 % del total). Sin embargo, los sismos son la principal amenaza que afecta a la población arequipeña, tal como indica su elevada frecuencia en los antecedentes históricos. Los sismos pueden activar los peligros mencionados con anterioridad y también 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 consideró cinco categorías:

muy alta susceptibilidad (11.49 %), alta susceptibilidad (29.02 %), moderada susceptibilidad (32.99 %), baja susceptibilidad (18.61 %) y muy baja susceptibilidad (7.89 %).

De acuerdo al análisis de susceptibilidad a inundaciones, el 14.04 % de la región Arequipa 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 Geological Hazard study in the Arequipa region, during the year 2013, was carried out with the aim to contributing to the sustainable development of this region in order to provide 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 maps of geological hazards in the Arequipa region. They integrate a database into a system of Geographic information (SIG). In this way, it has been possible to perform a spatial analysis in order to interpret the evolution of geomorphological landscapes, detect the processes that can cause disasters and propose measures for their prevention and mitigation.

In Arequipa, the land cover is not necessarily of vegetable type. There is an area called coastal desert, then followed by areas covered with shrub scrub, high Andean Feather Grass, shrub scrub, periglacial, areas occupied by coastal or Andean agriculture and finally with **reduced extensions the hills, vegetation of wetlands type ,relict high Andean forests and plantations; also urban areas and mining were considered.**

The region is covered by rocky substrate (75.3 % of the total surface of the region), constituted by volcanic rocks distributed in great percentage mainly in the Western Cordillera, intrusive dispersed throughout the region, sedimentary in all the part central-western and south region, volcanic-sedimentary on the northwest and central-northeast side of the region. The most recent materials constituted by unconsolidated deposits of alluvial, colluvium - deluvial, chemical, volcanic-volcanoclastic, lacustrine, wind, marine, fluvial, glacial and anthropogenic origin (24.7 %) make up the filling of valley bottoms, as well as slopes, and the plains that descend towards the coast of the Pacific Ocean, where the marine erosion has originated the cliffs on the Beach Cardones".

The hydrogeological 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 the Arequipa region. There exist six types: porous unconsolidated aquifers, fissured aquifers (sedimentary and volcanic), aquifers (sedimentary, volcanic-sedimentary and volcanic), aquitards (sedimentary, subvolcanic, volcanic, intrusive and volcanic-sedimentary) and aquifugos.

The geomorphological recognition of the region includes varied landforms. In some cases these are ancient forms such as isolated reliefs, plateaus, hills, mountainous alignments, volcanic caldera, lava flows and basalt-andesitic lava fields, hills and ignimbrite ridges, volcanic complex, volcanic dome, stratovolcano, plateaus (volcanic lava and ignimbritic), surfaces with pyroclastic flows and dissected volcanoclastic slope, its origin is linked to seismic-tectonic, erosive and volcanic processes occurred throughout its geological history and with greater distribution within the region. There are also more recent units, 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. Geological hazards are dealt with in this section, where 2721 events have been identified and inventoried, according to their origin: by mass movements (79.23 %); geohydrological hazards (7.28 %) and other geological hazards (13.49 %) and 134 critical zones susceptible to these processes.

They were probably detonated by exceptional rains such as those produced by El Niño phenomenon. The inventory in the region shows that debris or mud flows and avalanches are more frequent (36.68 % of the total inventoried processes), falls (26.42 %), landslides (10.58 %), complex movements, floors and rollovers (5.55 %). In a lesser proportion, flood, sand, subsidence, erosion and slope erosion phenomena (totaling 20.77 % of the total) also stand out. However, earthquakes are the main threat affecting to the Arequipa 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 (11.49 %), high susceptibility (29.02 %), moderate susceptibility (32.99 %), low susceptibility (18.61 %) and very low susceptibility (7.89 %).

According to the flood susceptibility analysis, 14.04 % of the Arequipa region is located in areas with moderate 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, efectúa el estudio de los peligros geológicos en el territorio nacional y que afectan a los centros poblados y obras de infraestructura, así como realiza estudios hidrogeológicos y brinda apoyo a las comunidades. En el año 2013, Ingemmet realizó el proyecto GA45 denominado "Mapa de riesgos geológicos por regiones: Arequipa y Moquegua", que busca evaluar los problemas de geodinámica externa (peligros geológicos por procesos de movimientos en masa y peligros geohidrológicos), que afectan dichas regiones. De esta manera, se genera información geocientífica que servirá para futuros proyectos de planificación por desarrollarse en los territorios de estas regiones.

Para la identificación de estos peligros geológicos, se efectuaron trabajos de campo y labores de gabinete con fotointerpretación geomorfológico-geodinámica. Sobre la base de esos trabajos y complementando los realizados en el estudio Riesgos Geológicos del Perú - Franja N° 1, el Estudio Geoambiental de la cuenca del río Tambo, el Estudio Geoambiental de la cuenca del río Ocoña y el Estudio Geoambiental de la cuenca del río Colca, se identificaron 1007 ocurrencias de peligros geológicos. Conjuntamente con los trabajos sobre peligros geológicos, se efectuó una evaluación de seguridad física de centros poblados y obras de infraestructura vulnerables a los peligros geológicos, que permitieron definir las zonas críticas o con alto grado de riesgo.

Uno de los problemas en la región es la ubicación de un gran porcentaje de la población sobre antiguas quebradas "secas" o laderas inestables, sin tomar en cuenta el peligro latente de vivir en estas zonas donde las condiciones geológicas, geográficas, climáticas y sísmicas son desfavorables y afectadas con cierta periodicidad por la generación de procesos que ocasionan desastres. Esto afecta en diferente grado a estas poblaciones, vías de comunicación e infraestructura, etc., y una de sus causas más comunes son los movimientos en masa. 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 cual genera altos costos en los trabajos de recuperación en las zonas afectadas, la pérdida de vidas humanas y económicas, así como la interrupción de las actividades socioeconómicas y comerciales. Por esta razón, se consideran muy importantes su reconocimiento y evaluación.

El presente estudio es el resultado de los trabajos de gabinete y campo realizados por profesionales de la DGAR, y se pone a consideración tanto de la comunidad científica, profesionales técnicos de la región Arequipa, y autoridades del gobierno regional y municipalidades en los temas de prevención de desastres. Se contribuye así 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 Arequipa. Este conocimiento permitirá proponer políticas, programas y acciones de prevención ante los peligros naturales, así como los resultantes de los procesos de ocupación territorial; y constituye base para el ordenamiento territorial, el desarrollo sostenible y la gestión oportuna de desastres futuros.

### 1.2 ANTECEDENTES

Existen numerosos estudios e investigaciones que muestran la recurrencia de procesos de movimientos en masa e inundaciones que han afectado a centros poblados y sectores productivos:

Como parte de los estudios e investigaciones que se utilizaron para la confección del presente boletín, se tiene los estudios de geología regional efectuados por Ingemmet en la región entre los años 1963 y 1993 (boletines Serie A, números 2, 3, 5, 14, 19, 20, 21, 23, 24, 29, 30, 34, 37, 40, 41, 42, 46, 50, 51 y 58), 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 han estudiado la geodinámica y prevención de desastres en la región de Arequipa, entre las que se destacan algunas publicaciones del Ingemmet como las siguientes: el estudio Riesgos Geológicos del Perú - Franja N°1 (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000), el estudio Riesgos Geológicos del Perú - Franja N°2 Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2002); así como el Estudio Geoambiental de la cuenca del río Tambo (Núñez & Gómez, inédito) y "Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa" (Luque, G. & Rosado, S., 2014). Otros estudios que merecen especial atención son los informes elaborados por otras instituciones, se tienen como los reportes de INDECI, 145 emergencias por peligros geológicos y geo-hidrológicos en la región Arequipa, entre los años 1995 y 2013. A continuación, se describe brevemente algunos de estos estudios:

- En los estudios Riesgos geológicos en el Perú - Franjas N° 1 y 2 (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000 y 2002), se hace una cobertura de los sectores críticos por peligros entre los paralelos 16°00' y 18°00' de latitud sur, donde se analizó a escala regional la problemática de los peligros geológicos y se señalaron 6 zonas críticas por este tipo de procesos para la región Arequipa.
- En el Primer reporte de zonas críticas por peligro geológico en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca (Zavala, *et al.*, 2008), como parte del Estudio geoambiental de la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, se señalaron 35 zonas críticas **dentro de la cuenca**. El peligro predominante es el de flujos de detritos, seguido por deslizamientos y caída de rocas y en menor proporción erosión de laderas.
- En el Reporte preliminar de zonas críticas por peligro geológico cuenca río Tambo (Núñez & Gómez, 2012), como parte del Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Tambo, se señalaron 35 zonas críticas de las cuales 6 se encuentran dentro de la jurisdicción de la región Arequipa, con evidencia de peligros potenciales activos y su relación con la vulnerabilidad asociada. Estas áreas es necesario considerarlas dentro de los planes o políticas regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.
- En el Reporte preliminar de zonas críticas por peligro geológico cuenca Quilca -Vitor-Chili (Zavala, Núñez & Gómez, 2012), como parte del Estudio geoambiental en la cuenca Quilca-Vitor-Chili, se señalaron 49 zonas críticas, donde se describen resumidamente las características de cada una de ellas, y se indicó la geodinámica del sector, la vulnerabilidad asociada, así como las recomendaciones pertinentes.
- En el Informe de zonas críticas por peligro geológico en la región Arequipa (Luque & Rosado, 2014), se señalaron 134 zonas críticas, con evidencia de peligros potenciales activos en un sector donde se exponen infraestructura o poblaciones, vulnerables a uno o más peligros geológicos.
- Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la región Arequipa (Boletín N°64, Serie C), publicado en el año 2017 por Ingemmet, se pone en evidencia la presencia de un total de 81 fallas geológicas activas y cuaternarias en la región Arequipa. Estos análisis sirven para caracterizar el potencial sismogénico de las estructuras tectónicas, lo que permitió elaborar mapas de aceleración sísmica, deducida de la magnitud máxima posible que una falla activa podría generar, así como procesos geológicos asociados como movimientos en masa, licuación de suelos, asentamientos y grietas en el terreno que afectarían ciudades, infraestructura y obras de gran envergadura en la región Arequipa.

Ingemmet, durante los últimos años, continuó realizando varios estudios geológicos, vulcanológicos y geofísicos de los volcanes Misti y Sabancaya, destinados a conocer y mejorar el conocimiento acerca de la actividad volcánica pasada de dichos volcanes, y se consideró este último como el más activo del sur peruano. Como resultado de estos estudios, actualmente se cuenta con varias publicaciones, entre ellas:

- Geología y mapa de peligros del volcán Misti 2016 (Boletín N°60, Serie C), publicado en el año 2016 por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico de Ingemmet; en donde se presenta los principales peligros en el volcán Misti (caída de cenizas, lahares, flujos piroclásticos flujos de lava y avalancha de escombros). Este estudio fue efectuado por la Dirección de Geología Ambiental y riesgo Geológico de Ingemmet, con el fin de que sea utilizado en el ordenamiento territorial, la elaboración de planes de desarrollo, así como en acciones de reducción del riesgo volcánico en la ciudad de Arequipa.
- Geología y evaluación de peligros del complejo volcánico Ampato – Sabancaya (Boletín N°61, Serie C), publicado en el año 2016 por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico de Ingemmet, donde se elaboraron mapas de peligros en base al estudio geológico y modelamiento de procesos volcánicos. Se elaboraron cuatro futuros escenarios eruptivos en caso de una reactivación del volcán Sabancaya, así como la identificación de las zonas más propensas a ser afectadas por los productos como cenizas y eventuales lahares.

Asimismo, cabe mencionar 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 sujetos las poblaciones y obras de infraestructura existentes. Entre estas evaluaciones técnicas, se tiene:

- García & Guevara (1963). Deslizamiento del cerro Quehuisa en los distritos de Lari y Madrigal. En marzo de 1963, ocurrió un deslizamiento en las faldas del cerro Quehuisa, cabecera de la quebrada Ccallomayo a unos 10 km al norte de Madrigal, el cual originó la destrucción de tres hectáreas de cultivos de alfalfa y cebada, tres bocatomas de acequias de regadío, y sepultó algunas reses y 44 alpacas (García, W., 1963). La zona deslizada en forma de abanico abarcó una superficie de 4000 m<sup>2</sup> y se estimó un volumen de material desplazado de 10000 m<sup>3</sup>. La pendiente del terreno es moderada y se apreció la presencia de bofedales o zonas pantanosas. Se atribuyó como causa de la ocurrencia del fenómeno la saturación del material detrítico existente, originado por las filtraciones de aguas desde las partes altas. En esta inspección realizada por García, se menciona igualmente la ocurrencia de un derrumbe de dimensiones considerables en el área de Madrigal, originado tras un sismo. En esa fecha, se reconocieron rajaduras paralelas al borde la escarpa generada por este derrumbe, que distaban del pueblo unos 50 m.
- Dávila, S. (1987). Inspección de la seguridad física de Madrigal. En abril de 1987, Dávila, hace un reconocimiento de campo sobre la seguridad física de Madrigal y alrededores, y hace una descripción de las características del terreno, su riesgo geodinámico, causas y recomendaciones de obras. Se reconoce en el área un deslizamiento antiguo donde describe, en la zona de arranque o corona de deslizamiento, suelos poco coherentes y deleznales y señala un salto promedio de 20-25 m de altura donde se producen grietas de contorno y derrumbes. Entre el pie y corona del deslizamiento, reconoce algunos hundimientos de terreno y agrietamientos en los materiales poco compactos. Las depresiones formadas acumulan aguas de filtraciones y aguas pluviales de diferentes dimensiones y volúmenes. En este trabajo, se comparan fotografías aéreas de 1955 y el trabajo de campo de esa fecha que indica un aumento en el número de lagunas de 10 en 1955, a 25 en 1987. En los alrededores de Madrigal, Dávila inspecciona los sectores de Punco y Chicra. En el primero de ellos, reconoce deslizamientos recientes de pequeña magnitud que en su evolución afectaron viviendas y terrenos de cultivo. Advierte la presencia de gran humedad en la zona debido a la presencia de filtraciones y bofedales que contribuyen a la inestabilidad de las terrazas aluviales, y recomienda desaguar esa laguna. En el sector de Chicra, reconoce deslizamientos antiguos pequeños y derrumbes recientes; donde las características similares de terreno con depresiones, humedales y zonas expuestas a riego indiscriminado originan movimientos locales del terreno.
- Zavala *et al.* 2009. Aspectos geodinámicos en los distritos de Lari, Madrigal y Maca (provincia de Cailloma, región Arequipa). En este informe, se abordan principalmente temas de riesgo geológico, que por similitud de sus condiciones geológicas y geomorfológicas se incluye una evaluación conjunta de los distritos de Lari, Madrigal y Maca.
- Rivera, M. (2011). Inspección de procesos geológicos en tres sectores del distrito de Alto Selva Alegre Prov. Arequipa. Ingemmet, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe técnico N° A6446, 32 p. En este estudio, se ha desarrollado la inspección geológica de tres zonas: Javier Heraud (parte alta); 2ª cuadra de la Calle Ricardo Palma (Asentamiento Humano Independencia, Zona A); y la 2ª cuadra de la Calle Mollendo (Asentamiento Humano Gráfico). Todas las tres zonas están localizadas dentro del Distrito de Alto Selva Alegre (provincia de Arequipa) y son afectadas por procesos de erosión de laderas, derrumbes, flujos de barro y detritos (huaicos) y/o por inundaciones periódicas. Este trabajo presenta la evaluación y análisis de tres áreas afectadas por los procesos anteriormente mencionados, así como conclusiones y recomendaciones para la prevención, mitigación y/o estabilización del lugar.
- Rivera, M. (2011). Peligros geológicos en el área del Puente del Ejército, dist. Alto Selva Alegre Prov. Arequipa. Ingemmet, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe técnico N° A6470, 18 p. En este estudio, se ha desarrollado la inspección geológica en el área del Puente del Ejército y sus vías de acceso localizadas dentro del distrito de Alto Selva Alegre (provincia de Arequipa), sector colindante entre los asentamientos humanos Independencia y Pampas de Polanco. Esta área se ve afectada por procesos de erosión de laderas, flujos de detritos (huaicos) y por inundaciones periódicas. Este trabajo presenta la evaluación y análisis del área afectada por los procesos anteriormente mencionados, así como conclusiones y recomendaciones para la prevención, mitigación y/o la estabilización del lugar.
- Zavala, B. (2011). Derrumbe en la localidad de Tuti, dist. Tuti Prov. Caylloma. Ingemmet, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Informe técnico N° A6579, 14 p. En este estudio, se ha desarrollado la inspección geológica en la ladera del cerro Solera, afectado por derrumbes.

Este trabajo presenta la evaluación y análisis del área afectada por los procesos anteriormente mencionados, así como conclusiones y recomendaciones para la prevención, mitigación y/o la estabilización del lugar.

- Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2012). Evaluación de la seguridad física del distrito de Maca (estudios geológicos, geofísicos y monitoreo de movimientos en masa) Prov. Caylloma. Ingemmet. Informe técnico N° A6628, 143 p. El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet) y el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD) realizaron estudios geológicos, geofísicos e hidrogeológicos, la evaluación y zonificación de los peligros geológicos y el monitoreo instrumental de estos fenómenos en el pueblo de Maca y alrededores, que durante los últimos años vienen siendo afectados de manera recurrente por procesos de movimientos en masa y actividad sísmica, que vienen perjudicando viviendas, áreas de cultivos (andenes), canales y reservorios, así como infraestructura vial vital para el desplazamiento de la población local y la actividad turística. En este estudio, se presenta un mapa geológico a nivel de detalle de Maca, mapa geomorfológico y de procesos activos, mapa hidrogeológico, mapa de susceptibilidad a movimientos en masa y un mapa con recomendaciones de propuestas de intervención.

### 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), la evaluación o análisis de susceptibilidad del ámbito territorial a los peligros utilizando métodos heurísticos donde es importante la experiencia del evaluador con ayuda de los SIG, para generar información adecuada del medio físico, básica y muy útil tanto para la gestión de riesgo 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:

#### Ing. Griselda Luque Poma

Jefe de Proyecto

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

#### Ing. Malena Rosado Seminario

Asistente en el llenado de las fichas de inventario de peligros geológicos

#### Ing. Karen Dueñas Olivera

Mapa y capítulo Hidrogeológico

#### Ing. Walter Pari Pinto

Peligro Sísmico

#### Ing. Samuel Lu León

Sistemas de Información

Composición, preparación e impresión de mapas

## 1.5 OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es contribuir al desarrollo sostenible de la región Arequipa y a la mejora 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 la 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 de 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 33 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 Arequipa, además de realizar la evaluación preliminar de la seguridad física de los centros poblados e infraestructuras, la difusión del estudio y sensibilización a la población y autoridades sobre la temática de prevención de desastres. Dichos trabajos se llevaron a cabo en el año 2013, en tres campañas de 25 días, entre los meses marzo-abril, setiembre-octubre y noviembre-diciembre, cuando 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 riesgo geológico, para las

cuales se brinda 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, así como los modelos de susceptibilidad**, y se elaboró el informe respectivo y la base de datos georeferenciada.

## **1.7 AGRADECIMIENTOS**

Va nuestro agradecimiento al Gobierno Regional de Arequipa, los gobiernos locales de la región Arequipa, a las instituciones públicas (INDECI, MINAM, CENEPRED), a los Secretarios Técnicos de Defensa Civil de los distritos de la región Arequipa 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 Arequipa está ubicado al suroeste del Perú, y sus coordenadas geográficas se sitúan entre 14°36' y 17°16' de latitud sur y entre 70°48' y 75°05' de longitud oeste. El territorio abarca zonas de la costa y de la sierra con alturas que varían desde los 2,0 m s. n. m. (centro poblado Chule, Islay) hasta más de 6 377 m s. n. m. (nevado Coropuna Casulla, en Condesuyos).

El territorio de Arequipa abarca una superficie de 63 384 km<sup>2</sup>, extensión que representa el 4,9 % del territorio nacional. Es por extensión el sexto departamento del país, limita por el norte con Ica y Ayacucho; por el noreste, con Apurímac; por el este, con Cusco y Puno; por el sur, con Moquegua, y por el oeste, con el Océano Pacífico. Su costa es la más larga de todo el litoral peruano, con una longitud de 528 km, los que representan el 17 % de la franja costera del país. Tiene por capital la ciudad de Arequipa (2300 m s. n. m.) y está conformado por ocho provincias y 109 distritos. Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas (INEI, 2017), el departamento cuenta con 1 382 730 habitantes (figura 2.1).

Morfológicamente, la región Arequipa presenta zonas de costa y sierra; por esta razón, su suelo es particularmente diverso y exhibe pronunciados accidentes geográficos. Su litoral es estrecho (salvo en la frontera con el departamento de Ica) y poco accidentado. A lo largo de su costa, es común observar terrazas que han sido formadas por movimientos de las placas tectónicas de Nasca y la Sudamericana. Los ríos Chaparra, Atico, Ocoña, Camaná o Majes, Quilca y el Tambo forman quebradas y cañones fluviales que atraviesan la meseta andina, la cual se encuentra revestida por rocas de origen volcánico. Un rasgo típico de la región es, sin duda, su cadena de volcanes

formada por el Misti, el Sabancaya, el Chachani, el Coropuna y el Ampato, los cuales son visibles desde los niveles más altos de la meseta andina. Algunos de estos volcanes aún presentan signos de actividad; por ejemplo, el Misti y el Sabancaya, que en 1991 produjo columnas de humo de 5 km de altura. Al noreste del territorio, junto al nevado Queuhisha, ubicado en la cordillera del Chila (provincia de Caylloma), se encuentra el origen del río más largo del mundo, el Amazonas. Otros puntos notables de la geografía arequipeña son el cañón del Cotahuasi (3535 m de profundidad) ubicado a 400 km al noreste de la ciudad de Arequipa y el cañón del Colca (3400 m de profundidad) ubicado a 165 km de la ciudad Blanca (Empresa Editora El Comercio, 2009). La morfología también está asociada a algunos movimientos en masa frecuentes. En los frentes de coladas de lavas muy fracturadas, zonas de valles encañonados, y lavas en bloques y también ignimbritas muy fracturadas, son frecuentes las caídas de rocas, derrumbes o movimientos complejos. La ciudad de Arequipa morfológicamente se ubica sobre una acumulación de piedemontes correspondientes a los volcanes Chachani, Misti y Pichu Pichu. Le siguen planicies o mesetas de acumulación de flujos piroclásticos e ignimbritas; colinas aisladas o monte islas en rocas intrusivas, y un valle fluvial y terrazas aluviales originadas por el río Chili, Andamayo, Mollebaya y tributarios.

Arequipa posee nueve cuencas hidrográficas, las cuales drenan sus aguas tanto al océano Pacífico como al sistema hidrográfico del Amazonas. Los principales ríos de las cuencas hidrográficas del Pacífico son: Ocoña, Majes (también llamado Colca) y Quilca, que recorren las provincias de Caylloma, Condesuyos, Castilla y Camaná.



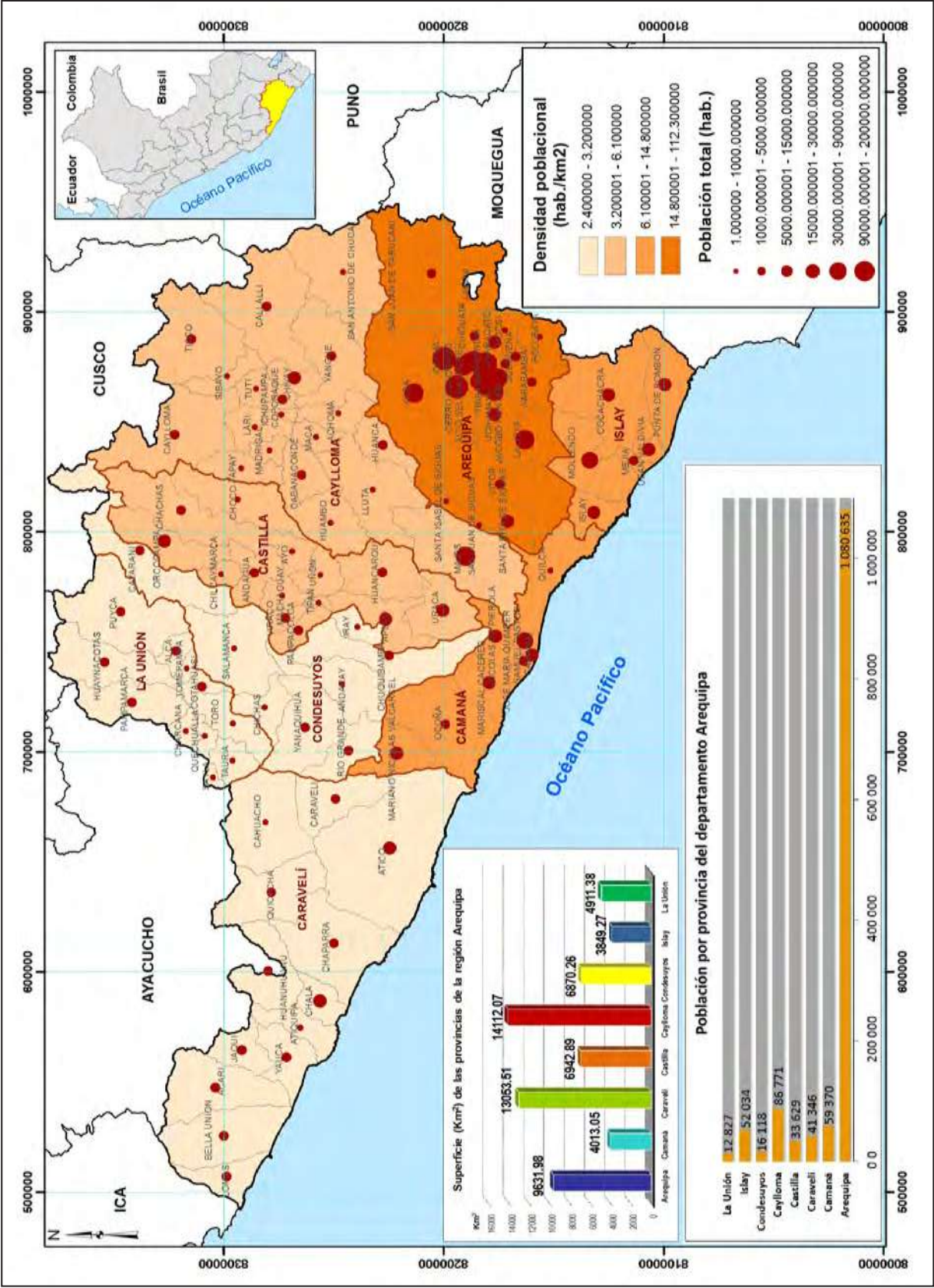


Figura 2.1 Ubicación y características demográficas del departamento de Arequipa. Elaboración propia con datos del INEI, Censo 2017.



## 2.2 OCUPACIÓN ANTRÓPICA

Se estima que, aproximadamente 7000 años a.C. los grupos humanos trashumantes se movilizaban sobre los territorios que hoy forman parte del departamento de Arequipa, recolectando frutos y cazando. Evidencias del paso de estos hombres se han encontrado a menos de 100 km de la ciudad de Arequipa, a orillas del Q'ollpa –un afluente del río Sumbay–, donde se puede apreciar en cuevas dibujos de figuras humanas, escenas de caza y representaciones de animales como felinos, camélidos y ñandúes.

Según Julio C. Tello (Empresa Editora El Comercio, 2009), hacia los años 200 y 300, entre los valles de Majes y de Antofagasta se estableció una cultura emparentada con la primera etapa de Tiahuanaco: Puquina-Atacama. Al mismo tiempo, colonos pukaras y chiripas descendieron del altiplano y dejaron un rastro disperso, indicador de que no se asentaron definitivamente en la zona. Entre los años 800 y 1200, la cultura Tiahuanaco-Huari marcó su presencia en Arequipa, del cual se conocen centros de irradiación como Corral Redondo en el distrito de Río Grande. En el lugar, se ha hallado objetos de piedra, plata y oro, ceramios y restos de mantos plumarios. Otros sitios Huari en la zona son Toro Grande, Toro Muerto y San Francisco, en el valle de Majes, provincia de Castilla.

Luego del declive de la influencia huari en la región, surgieron grupos que cobraron importancia como los collahuas, que dominaron la zona de Condesuyos y lograron expandirse a lo largo del río Colca, así como por una parte de Majes y Ocoña. Entre los restos dejados por los collahuas, se tiene el chulparip de Tampu Ayllu y las ruinas de Huamantambo. Los lupacas, a su vez, originarios del altiplano, ocuparon el valle del Chili. A la llegada de los incas, en el siglo XIV, el territorio arequipeño se dividía entre collahuas, collapas, tampus, yarabayas, chichas, chisques y yanahuatas. La ausencia de monumentos incas de importancia indicaría su débil presencia en los valles arequipeños. No obstante,

es conocido que mejoraron los sistemas de andenería en zonas de la sierra arequipeña (Empresa Editora El Comercio, 2009).

### 2.2.1 Densidad poblacional

El departamento de Arequipa, que ocupaba el octavo lugar en 2007, pasó a ocupar el cuarto lugar en el año 2017 de acuerdo con el XII Censo Nacional de población y VII de vivienda (CPV, 2017). Suman desde entonces 1 382 730 personas, lo que equivale al 4.7 % a nivel nacional, cantidad que equivale a un crecimiento del 20.0 % con respecto al censo de 2007.

Según el censo nacional de 2017, en el departamento de Arequipa, el 51.0 % (705 179) son mujeres y el 49.0 % (677 551) hombres. La provincia que concentra el mayor número de habitantes es Arequipa, con 1 382 730 personas, que agrupa más de la mitad de la población del departamento (78.2 %). Le sigue la provincia de Caylloma, que alberga 86 771 habitantes (6.3 %), mientras que la provincia de La Unión es la menos poblada, con 12 827 habitantes (0.9 %), según se muestra en el cuadro 2.1.

La densidad poblacional de Arequipa es 21,8 hab/km<sup>2</sup>, inferior al promedio nacional (24.3 hab/km<sup>2</sup>). El incremento de la densidad poblacional de 1940 a 2017 en Arequipa es de 5.2 número de veces (cuadro 2.2). El 91.8 % de sus habitantes vive en áreas urbanas y el 8.2 % en áreas rurales (cuadro 2.3). Las provincias que agrupan la mayor población del área urbana (91.8 %) del departamento son Arequipa (98.4 %), Islay (95.3 %) y Camaná (84.0 %); en tanto que La Unión (17.1 %) registra el menor porcentaje. En el área rural, la población de las provincias de La Unión (82.9 %) y Condesuyos (82.4 %) presenta los porcentajes más altos (INEI, 2018d).

En cuanto a la composición de la población por edades, el 57.0 % es menor de 35 años y el 23.7 % es menor de 15 años. La edad promedio es 33 años, cifra superior al promedio nacional (32 años).

Cuadro 2.1

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

Provincia	Población	%	Hombre	Mujer
Total	1 382 730	100.0	677 551	705 179
Arequipa	1 080 635	78.1	521 434	559 201
Camaná	59 370	4.3	30 027	29 343
Caravelí	41 346	3	22 897	18 449
Castilla	33 629	2.4	17 453	16 176
Caylloma	86 771	6.3	43 992	42 779
Condesuyos	16 118	1.2	9 140	6 978
Islay	52 034	3.8	26 226	25 808
La Unión	12 827	0.9	6 382	6 445

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 Arequipa, 1940-2017

Año Censal	Población Censada Total	Densidad Poblacional (Hab/Km <sup>2</sup> )
1940	263 077	4.2
1961	388 881	6.1
1972	529 566	8.4
1981	706 580	11.2
1993	916 806	14.8
2007	1 152 303	18.9
2017	1 382 730	21.8

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	1 382 730	1 268 941	91.8	113 789	8.2
Arequipa	1 080 635	1 063 523	98.4	17 112	1.6
Camaná	59 370	49 868	84.0	9 502	16.0
Caravelí	41 346	26 447	64.0	14 899	36.0
Castilla	33 629	18 554	55.2	15 075	44.8
Caylloma	86 771	55 954	64.5	30 817	35.5
Condesuyos	16 118	2 830	17.6	13 288	82.4
Islay	52 034	49 575	95.3	2 459	4.7
La Unión	12 827	2 190	17.1	10 637	82.9

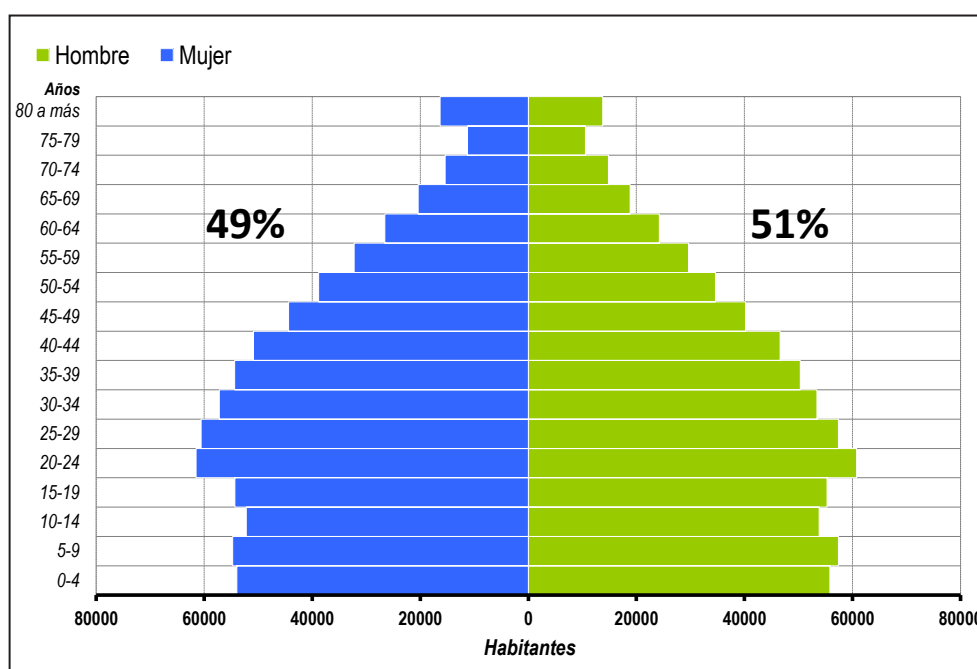
Fuente: INEI - Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Del gráfico 2.1., se puede concluir que la evolución de la población se refleja en la forma de una pirámide poblacional. En décadas anteriores, esta población presentaba una base ancha y vértice angosto. Desde el censo de 2007, la base se ha ido reduciendo y mostrando un ensanchamiento progresivo. El censo de 2017 presenta una base más reducida y un ensanchamiento progresivo en los centros, lo 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, 2018d).

Al comparar los censos de 2007 y 2017, decrece la población comprendida en el grupo de edad de 0 a 9 años lo que muestra

reducción de la natalidad. Este mismo comportamiento se presenta en los grupos de 10 a 29 años, y se observa un decrecimiento considerable en el grupo de edad de 10 a 19 años. Asimismo, en el grupo comprendido de 30 a 34 años de edad, encontramos una disminución solo de la población femenina. A partir del grupo de 35 a 39 años de edad, se observa un incremento progresivo de la población, lo que indica que 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 arequipeña, donde la proporción de mujeres es ligeramente mayor al de los hombres en edad adulta mayor (80 y más años).

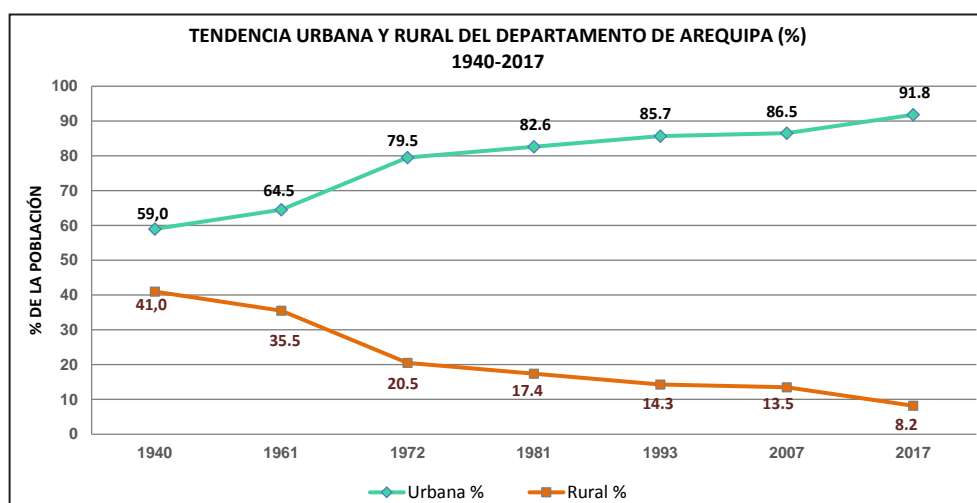


**Gráfico 2.1** Ubicación y características demográficas del departamento de Arequipa. Elaboración propia con datos del INEI, Censo 2017.

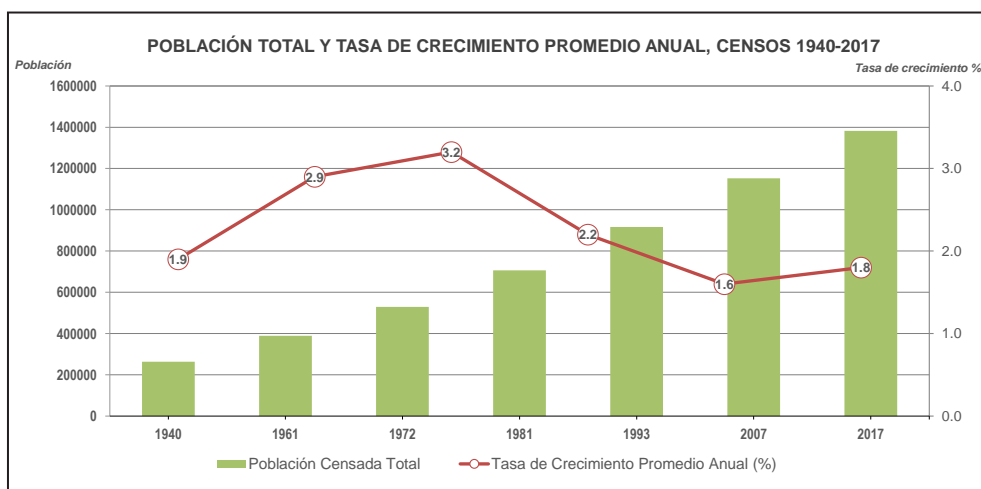
## 2.2.2 Crecimiento poblacional

En los últimos setenta años, la población rural ha mostrado una tendencia a disminuir (1940-2017). Sin embargo, mediante las proyecciones realizadas (gráfico 2.2), se ha confirmado la tendencia creciente y decreciente para la parte urbana y

rural, respectivamente. Tan es así que para el año 2017 se ha registrado que la población rural fue del 8.2 % y la población urbana fue del 91,8 %. Arequipa fue el segundo departamento en cuanto a mayor crecimiento poblacional (20.0 %), es decir, 23 043 habitantes por año, con un aumento a un ritmo anual de 1.8 % (gráfico 2.3).



**Gráfico 2.2** Tendencia urbana y rural del departamento de Arequipa. Fuente: Censos nacionales de población y vivienda (INEI) 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 y 2017.



**Gráfico 2.3** Población total y tasa de crecimiento promedio anual del departamento de Arequipa. 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 Arequipa, con 1 080 635 personas, agrupando más de la mitad de la población del departamento (78.2 %). Le sigue la provincia de Caylloma, que alberga 86 771 habitantes (6.3 %), mientras que la provincia de La Unión es la menos poblada, con 12 827 habitantes (0.9 %).

En el periodo intercensal 2007-2017, se observa que la tasa de crecimiento promedio anual es mayor en la provincia de Arequipa, con un aumento de la población de 25.0 %, y un incremento a un ritmo promedio anual de 2.3 %. Por el contrario, las provincias de La Unión (-2.0 %) y Condesuyos (-1.6 %) son las que presentan tasas menores (INEI, 2018d).

**Cuadro 2.4**

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

Provincia	2007		2017		Variación intercensal 2007-2017		Tasa de crecimiento prom. anual
	Pob. censada	%	Pob. censada	%	Absoluto	%	
Total	1 152 303	100.0	1 382 730	100.0	230 427	20.0	1.8
Arequipa	864 250	75.1	1 080 635	78.1	216 385	25	2.3
Camaná	53 065	4.6	59 370	4.3	6 305	11.9	1.1
Caravelí	35 928	3.1	41 346	3.0	5 418	15.1	1.4
Castilla	38 425	3.3	33 629	2.4	-4 796	-12.5	-1.3
Caylloma	73 718	6.4	86 771	6.3	13 053	17.7	1.6
Condesuyos	18 991	1.6	16 118	1.2	-2 873	-15.1	-1.6
Islay	52 264	4.5	52 034	3.8	-230	-0.4	0
La Unión	15 662	1.4	12 827	0.9	-2 835	-18.1	-2.0

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

## 2.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS

### 2.3.1 Indicadores de pobreza

En cuanto a la incidencia de la pobreza monetaria en el departamento de Arequipa en el año 2017, las tasas de pobreza fluctúan entre el 12.1 % y 14.6 %, lo que indica que la población en ese rango tenía 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, a excepción de la costa rural y sierra urbana, donde disminuyó en 4.3 % y 0.6 % respectivamente.

Arequipa se encuentra en el cuarto grupo de acuerdo a la distribución realizada por el INEI (2018a), en la evolución de la pobreza monetaria 2007-2017 (cuadro 2.5). En el primer nivel, con incidencia de pobreza más alta, que fluctúa entre 43.1 % y 52.0 %, se encuentra el departamento de Cajamarca. En el segundo grupo, con tasas de pobreza que se ubican entre 33.3 % y 36.8 % están ocho departamentos: Amazonas, Apurímac, Ayacucho, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Pasco y Puno. En el tercer grupo de departamentos, con incidencia de pobreza entre 23.0 % y 26.2 %, se encuentran seis departamentos: Áncash, Cusco, Junín, La Libertad, Piura y San Martín. En el cuarto grupo, con tasas de pobreza que se ubican entre 12.1 % y 14.6 %, se encuentran los departamentos de Arequipa, Lambayeque, Moquegua, Provincia Constitucional del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes y Ucayali. En el último grupo, con las tasas de pobreza más baja entre 2.1 % y 4.8 %, se encuentran Ica y Madre de Dios.

De la misma manera, en el año 2017, la pobreza extrema afectó al 3.8 % de la población del país. Para la variable de pobreza extrema se determinó cinco grupos de departamentos con niveles de pobreza extrema semejantes (INEI, 2018a), donde Arequipa se encuentra 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 %. En el segundo grupo de departamentos, con tasas de pobreza extrema entre 7.4 % y 10.2 %, se encuentran Amazonas, Huancavelica, Loreto y Puno. En el tercer grupo de departamentos con tasa de pobreza extrema que se ubica entre 4.7 % y 6.5 %, se encuentran Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Junín, Pasco y Piura. El cuarto grupo de departamentos con tasas de pobreza extrema, entre 2.9 % y 4.4 %, lo integran Áncash, Cusco, La Libertad, San Martín y Ucayali. Finalmente, el quinto grupo de departamentos conformado por Arequipa, Ica, Lambayeque, Madre de Dios, Moquegua, Provincia Constitucional del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna y Tumbes tienen las más bajas tasas de pobreza extrema.

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. Ello significa que para superar gradualmente la pobreza localizada, se precisa contar con vías de comunicación terrestre en mejor estado.

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	52.0
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
<b>Grupo 4</b>	<b>Arequipa, Lambayeque, Moquegua, Prov. Const. del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes y Ucayali.</b>	<b>12.1</b>	<b>14.6</b>
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.

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
<b>Grupo 5</b>	<b>Arequipa, Ica, Lambayeque, Madre de Dios, Moquegua, Prov. Const. del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes.</b>	<b>0.4</b>	<b>1</b>

**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.

Por ello, es necesario tener en cuenta que el riesgo no solo depende de la posibilidad de 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.

### 2.3.2 Indicadores de vivienda

De acuerdo al censo de población y vivienda del año 2017, existen 565 799 viviendas en el departamento de Arequipa (gráfico 2.4), la mayoría (88.7 %) son casas independientes, en tanto que el 4.8 % corresponde a departamento en edificios; el 6.5 %, a viviendas en quinta, casas de vecindad, chozas o cabañas, viviendas improvisadas, entre otros y 22 personas no tienen vivienda. Del total de viviendas, el 87.1 % (492 546 viviendas) son ocupadas y el 12.9 % (73 253 viviendas) están desocupadas.

Por área de residencia, del total de viviendas particulares del departamento (565 799), el 86.2 % (487 963) corresponden al área urbana y el 13.8 % (77 836) al área rural (cuadro 2.7).

En la figura 2.2, se muestra el perfil físico y servicios básicos de las viviendas, como el abastecimiento de agua potable en Arequipa, que abarca a la mayoría de las viviendas con un 72.4 % de ellas que tienen conexión interna con la red pública, seguidas de un 10.8 % que se abastecen con pilón o pileta de uso público, un 11.2 % que se abastecen de camión-cisterna,

pozo u otro similar, y el 5.6 % que tienen conexión externa. La cobertura del servicio higiénico abarca a la mayoría de las viviendas del departamento de Arequipa (71.0 %), que disponen de servicio higiénico conectado a la red pública, dentro o fuera de la vivienda; le sigue un 16.2 % de viviendas que acceden a pozo ciego o negro y un 6.1 % de las viviendas que acceden a letrina (con tratamiento). Cabe señalar que el 3.2 % de las viviendas utilizan otro tipo de eliminación de excretas (campo abierto, al aire libre, en el mar, casa abandonada, río, acequias, entre otros) y el 3.5 % usan pozo séptico.

En cuanto al servicio de alumbrado eléctrico, un 90.0 % (343 176) de las viviendas particulares con ocupantes presentes en Arequipa cuentan con conexión a la red pública y un 10.0 % (38 212) no dispone de este servicio.

Con respecto a los materiales con que están construidas las viviendas, un 77.2 % tienen paredes de ladrillo y cemento, un 8.1 % tienen paredes de adobe o tapia, un 2.8 % de madera, un 3.7 % con paredes de triplay, calamina o estera y un 8.2 % con otro tipo de material (quincha, piedra con barro, sillar, entre otros). Así mismo, un 58.0 % de viviendas tienen pisos de cemento, un 16.4 % presentan piso de tierra, un 15.9 % cuentan con losetas y terrazos, un 5.0 % presentan pisos de parquet, madera pulida o madera y el resto (4.7 %) cuenta con pisos de láminas asfálticas y otros.

En el departamento de Arequipa, hay 425 522 hogares. De ellos, el 90.1 % cocinan con gas (balón GLP y natural) y el 3.0 % con electricidad, el resto 15.5 % usan combustible rudimentario como leña, bosta, carbón y otros (residuos agrícolas como ramas, paja, hojas secas, entre otros) y finalmente el 2.6 % no cocinan.

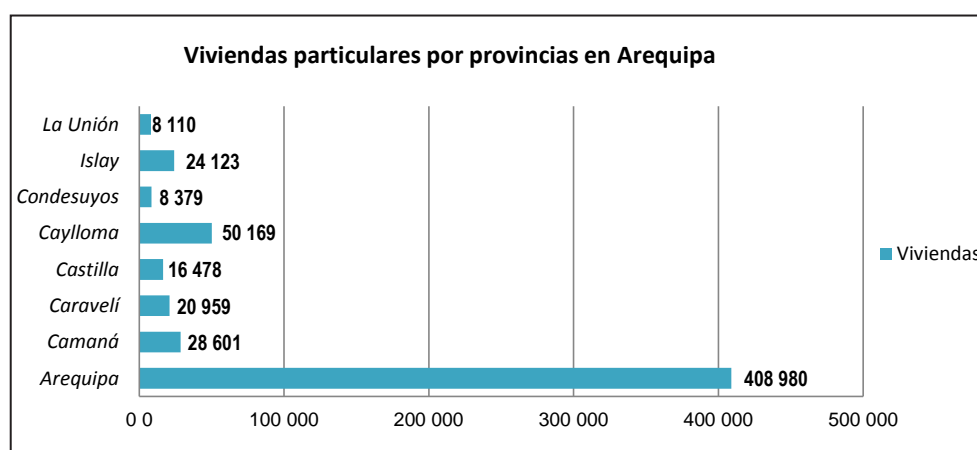


Gráfico 2.4 Viviendas por provincia, según el Censo INEI, 2017.

Cuadro 2.7

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

Tipo de vivienda	Total	Urbana		Rural	
		Viviendas	%	Viviendas	%
Total	565 799	487 963	86.2	77 836	13.8
Casa independiente	501 405	429 060	85.6	72 345	14.4
Departamento en edificio	27 231	27 185	99.8	46	0.2
Vivienda en quinta	3 805	3 709	97.5	96	2.5
Vivienda en casa vecindad	3 018	2 958	98.0	60	2.0
Chozo o cabaña	4 784	--	--	4 784	100.0
Vivienda improvisada	24 998	24 569	98.3	429	1.7
Local no destinado para habitación	556	480	86.3	76	13.7
Otro tipo <sup>1/</sup>	2	2	100.0	--	--

<sup>1/</sup>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.

### 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 arequipeña alcanzó estudiar algún año de educación superior (44.7 %) seguido de aquellos que lograron estudiar algún año de educación secundaria (39.1 %).

Por área de residencia, la población de 15 y más años de edad del área urbana obtuvo mayor acceso a la educación superior que los habitantes del área rural. Así, el 47.0 % de la población del área urbana alcanzó algún año de educación superior; mientras que en el área rural el 19.3 % logró este nivel educativo.

Asimismo, el 38.6 % de los habitantes del área urbana estudió algún año de educación secundaria; en tanto, en el área rural, el 45.3 % alcanzó este nivel (INEI, 2018d).

En relación con la población sin nivel educativo, en el área urbana representó el 2.3 %; y en el área rural, el 7.8 %.

Existen 35 345 personas de 15 y más años de edad que declararon en el último censo nacional 2017 que no saben leer ni escribir; es decir, el 3.4 % de la población es analfabeta. Comparando con el censo 2007, la tasa de analfabetismo se redujo en 0.7 % en el área rural y 0.5% en el área urbana.





Figura 2.2 Perfil físico y servicios básicos de las viviendas del departamento de Arequipa. Elaboración propia.

### Cuadro 2.8

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

Provincia	Total	%	Urbana		Rural	
			Pob. censada	%	Pob. censada	%
Total	1 054 785	100.0	968 011	91.8	86 774	8.2
Sin nivel	29 224	2.8	22 425	76.3	6 799	23.3
Inicial	1 357	0.1	1 144	84.3	0 213	15.7
Primaria <sup>1/</sup>	139 871	13.3	116 106	83.0	23 765	17.0
Secundaria	412 369	39.1	373 107	90.5	39 262	9.5
Superior	471 964	44.7	455 229	96.5	16 735	3.5
Sup. No Universitaria	201 182	19.1	191 637	95.3	9 545	4.7
Sup. Universitaria <sup>2/</sup>	270 782	25.6	263 592	97.3	7 190	2.7

<sup>1/</sup> Incluye Educación Básica Especial

<sup>2/</sup> 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 a 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.

En lo que respecta a la infraestructura educativa, en el año 2017, Arequipa cuenta actualmente con 2 751 locales escolares (cuadro 2.9) donde laboran 27 303 docentes y en los cuales están matriculados 372 931 alumnos (distribuidos de la siguiente manera: inicial 72 678, primaria 139 778 y secundaria 108 322). 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, 2017). La mayor concentración de recursos se da en la gestión pública; así 56.7 % de la matrícula, 50.7 % de los

docentes y 52.0 % de las instituciones educativas pertenecen al sector público y se localizan principalmente en el área urbana. 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 a la educación superior, en Arequipa existen 79 instituciones, de las cuales 56 pertenecen a la provincia de Arequipa, la mayoría de ellas son tecnológicas de gestión privada (52), mientras que solo existen 2 instituciones artísticas y 10 instituciones pedagógicas (6 privados y 4 públicos) en toda la región.

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. En el país, los locales escolares públicos presentan mucha heterogeneidad e inequidad.

Cuadro 2.9

**Locales escolares por tipo de Gestión y área geográfica, según etapa, modalidad y nivel educativo ofrecido en el departamento de Arequipa, 2017**

Etapa, modalidad y nivel de las IIEE que funcionan en el local	Total	Gestión		Área		Pública		Privada	
		Pública	Privada	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Total	2751	1431	1320	2344	407	1030	401	1314	6
Básica Regular <sup>1/</sup>	2446	1347	1099	2044	402	949	398	1095	3
Sólo Inicial	944	530	414	841	103	430	100	411	1
Sólo Primaria	414	380	34	180	234	146	234	34	--
Sólo Secundaria	155	101	54	148	7	94	7	54	--
Inicial y Primaria	400	128	272	366	34	95	33	271	1
Primaria y Secundaria	169	115	54	152	17	98	17	54	--
Inicial y Secundaria	4	--	4	4	--	--	--	4	--
Inicial, Primaria y Secundaria	360	93	267	353	7	86	7	267	1
Sólo Básica Alternativa	21	1	20	21	--	1	--	20	--
Sólo Básica Especial <sup>2/</sup>	40	33	7	40	--	33	--	7	--
Sólo Técnico-Productiva	171	31	140	167	4	28	3	139	1
Sólo Sup. No Universitaria <sup>3/</sup>	73	19	54	72	1	19	--	53	1
Pedagógica	8	4	4	8	--	4	--	4	--
Tecnológica	63	13	50	62	1	13	--	49	1
Artística	2	2	--	2	--	2	--	--	--

**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.

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

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

<sup>3/</sup> 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, 2017 - Padrón de Instituciones Educativas.

### 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 año 2016, los recursos humanos del sector salud en el departamento de Arequipa contaban con un total de 12 197: trabajadores, de los cuales 7 676 laboraban en el MINSA y Gobiernos regionales, 3831 en Essalud y 690 en otras instituciones como PNP, FFAA, MINEDU, SISOL, etc. Según el INEI 2017, la región Arequipa cuenta con 5319 médicos, 6055 enfermeras y 1884 obstetras. De acuerdo con la densidad de recursos humanos (por 10 000 habitantes) en el sector salud, el departamento de Arequipa alcanzó un 38.7 %, de los cuales la razón de médicos por cada 10 000 habitantes es de 18.3 %, la de enfermeros es de 17.9 % y el de obstetras 5.4 % (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 25.

Con relación a la infraestructura de salud (cuadro 2.10), existen en la región 21 hospitales, 89 centros de salud y 317 puestos de salud.

A pesar de que Arequipa cuenta con buena infraestructura de salud, es el tercer departamento con menor cobertura de seguro social. Algo menos de la cuarta parte de su población carece de seguro de salud, un 34.2 %, que equivale a 472 468 personas mientras que el 65.8 % de la población arequipeña cuenta con algún tipo de seguro, es decir, 910 262 personas (INEI, 2018e). En el periodo intercensal 2007-2017, la cobertura de seguro de salud en Arequipa se incrementó en 84.3 %, que equivale a 416 428 personas, con una tasa de crecimiento promedio anual de 6.3 % (cuadro 2.11).

**Cuadro 2.10**

#### Establecimientos de salud en el departamento Arequipa, 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 <sup>1/</sup>	Centro odontológico <sup>2/</sup>
Arequipa	857	21	1	89	317	380	49

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

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

<sup>2/</sup> Incluye Centros Odontológico privados y otros.

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

**Cuadro 2.11**

#### Población censada del departamento de Arequipa 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	%			
Arequipa	1 152 303	493 831	42.9	1 382 730	910 262	65.8	416 428	84.3	6.3

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

En Arequipa, un 32.9 % está afiliado al Seguro Social de Salud del Perú (EsSalud), un 25.7 % al Seguro Integral de Salud (SIS), un 5.9 % a otro seguro (seguro privado, seguro de las Fuerzas

Armadas y Policiales, Seguro Universitario, Entidad Prestadora de Salud y Seguro escolar privado); un 1.3 % tiene más de un seguro y un 34.2 % no tiene seguro (cuadro 2.12).

Cuadro 2.12

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

Únicamente SIS	%	Únicamente ESSALUD	%	Otro seguro de salud	%	Con dos o más seguros	%	Sin seguro	%
356 110	25.7	454 402	32.9	81 488	5.9	18 262	1.3	472468	34.2

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 Arequipa se incrementó en 0.5 % detallada en los sectores Construcción (13.7 %), Telecomunicaciones y Otros Servicios de Información (8.4 %) y Comercio (2.2 %), entre los más importantes. Sin embargo, descendieron los sectores Minería e Hidrocarburos (-3.7 %), Manufactura (-3.9 %), Agropecuario (-1.0 %) y Pesca (-12.9 %) (Gráfico 2.5).

Durante el año 2017, la producción del departamento de Arequipa se expandió en 4,1 %. El sector Construcción creció en 13,7 % debido a la ejecución de obras del Gobierno Nacional en el mejoramiento de la carretera Vizcachani y carretera Camaná-Dv. Quilca- Matarani-Ilo-Tacna, ampliación y mejoramiento de la Escuela Técnico Superior PNP; así como la mayor inversión del Gobierno Local en el apoyo a la producción agropecuaria, mejoramiento de parques, construcción y mejoramiento de caminos rurales, construcción de pistas y veredas, entre los principales proyectos.

El sector Telecomunicaciones y otros servicios de información subió en 8,4 % por el incremento en la demanda de servicio de

telefonía móvil, internet y televisión por cable. También, por la mayor actividad en programación y transmisión de televisión, transmisión de radio, producción de películas cinematográficas y videos, y programación informática.

En tanto, el sector Minería e Hidrocarburos se redujo en 3.7 %, debido a la baja producción de cobre (-9.4 %) y molibdeno (-9.5 %), principalmente por la menor extracción de la Sociedad Minera Cerro Verde. Este resultado fue atenuado por el incremento de la producción de zinc (52.3 %), plomo (49.0 %) y oro (29.6 %).

El sector Agropecuario bajó en 1,0 % por la caída del subsector agrícola, principalmente de la producción de papa (-24.7 %), lo que se explica por la menor superficie cosechada y bajos rendimientos obtenidos. De igual manera, disminuyó la producción de orégano (-21.8 %) y alfalfa (-10.5 %) por el bajo precio pagado al productor. Asimismo, se contrajo el subsector pecuario debido a la menor producción de fibra de alpaca (-60.9 %), ovino (-29.8 %) y porcino (-7.5 %).

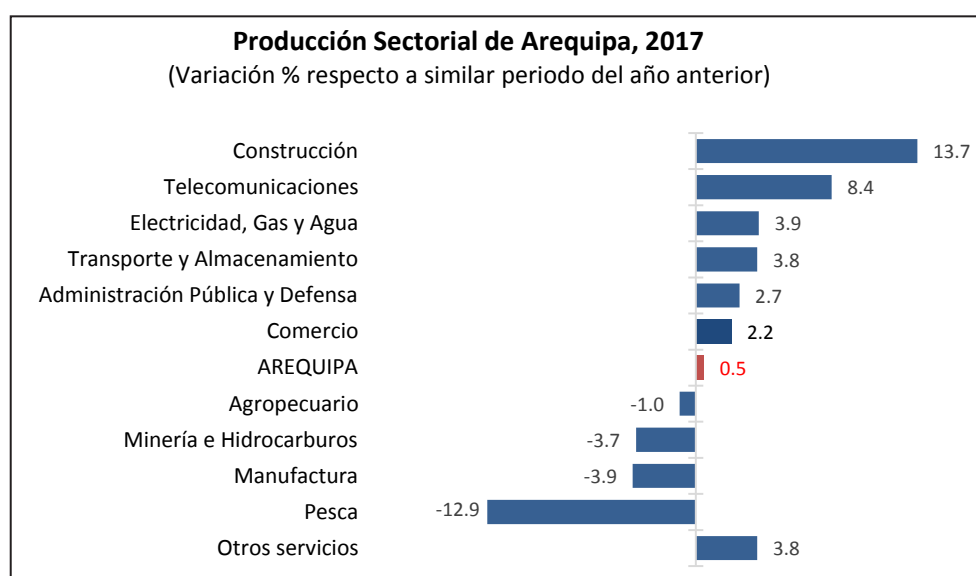


Gráfico 2.5 Producción Sectorial del departamento de Arequipa.

Fuente: INEI, 2018b.

### 2.3.5.1 Actividad Minera

En el año 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, el Perú 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.

A nivel regional, Arequipa nuevamente se posiciona como la principal región productora de cobre, con una representación del 20.6 %, pese a la contracción que registró la producción del complejo minero Cerro Verde. En cuanto a la producción del oro, ocupa el tercer lugar, y aumentó en 30.3 % su producción (21.9 toneladas métricas finas) con respecto a la del año anterior, con lo cual aportó el 14.5 % de la producción total a nivel nacional.

Arequipa se sitúa como la región líder en producción de molibdeno (12 513 TMF) con una participación del 44.5 % respecto del total. Pese a registrar una disminución en su producción, le siguen Tacna (4184 TMF), Áncash (3968 TMF) y Moquegua (3746 TMF), que conjuntamente representan el 42.3 % de la producción nacional. Las principales empresas líderes en la producción de plata se concentran en el centro del país. Le siguen Pasco, Ayacucho y Arequipa con una representación conjunta del 30 % de la producción nacional de plata. En producción de hierro, Ica se mantuvo como la única región productora de Hierro a nivel nacional, y se espera que las regiones de Arequipa y Apurímac también produzcan hierro

cuando comiencen operaciones los proyectos Pampa de Pongo y Hierro Apurímac, respectivamente (Perú. Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Arequipa concentró las mayores inversiones mineras con US\$ 529 millones en el 2017. En segundo y tercer lugar, se encuentran Tacna y Cusco, con una inversión equivalente a US\$ 518 millones y US\$ 387 millones, respectivamente. En cuarto y quinto lugar, se ubican Ica y Moquegua, con US\$ 375 millones y US\$ 361 millones, respectivamente. Esto se traduce en mayores oportunidades para la población, genera empleo, así como 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 Arequipa concentra 4 proyectos y una inversión de US\$ 5660 millones, entre los que destaca el proyecto Pampa de Pongo (US\$ 2500 millones). Esta región es una de las que se vieron más beneficiadas por el mayor valor de las transferencias de recursos generados por la actividad minera, con 16 % de participación (S/ 528.52 millones). Presenta, además, 3835 concesiones mineras, 1207 titulares mineros, 93 unidades en producción, 93 unidades en exploración, 28 480 trabajadores con empleo directo en minería y 5416,28 millones de soles en recursos transferidos (2008-2017). Por último, como resultado de la aplicación del Nuevo Proceso de Formalización Minera Integral, a la fecha se cuenta con un total de 583 pequeños mineros y mineros artesanales formalizados (cuadros 2.13, 2.14 y figura 2.3).

Cuadro 2.13

#### Principales unidades en producción de la región Arequipa, 2017

ID	Mét. de explotación	Titular	Unidad	Producto
1	Minería Subterránea	BREXIA GOLDPLATA PERU S.A.C.	El Santo	Pb, Zn, Au, Ag
2	Minería No Metálica	CALQUIPA S.A.C.	Negro Africano	Caliza
3	Minería Subterránea	CENTURY MINING PERU S.A.C.	San Juan de Arequipa	Au
4	Minería Subterránea	COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	Orcopampa	Au, Ag
5	Minería Subterránea	COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	Tambomayo	Pb, Zn, Au, Ag
6	Minería Subterránea	COMPAÑÍA MINERA ARES S.A.C.	Arcata	Pb, Zn, Au, Ag
7	Minería Subterránea	COMPAÑÍA MINERA CARAVELI S.A.C.	Capitana	Au, Ag
8	Minería Subterránea	COMPAÑÍA MINERA CARAVELI S.A.C.	Chacchuille	Au, Ag
9	Minería Subterránea	COMPAÑÍA MINERA CARAVELI S.A.C.	Yambosaja	Au, Ag
10	Minería Superficial	MINERA BATEAS S.A.C.	San Cristóbal	Pb, Zn, Au, Ag, Cu, Mn
11	Minería Subterránea	MINERA COLIBRI S.A.C.	Doble D	Au
12	Minería Subterránea	MINERA TITAN DEL PERU S.R.L.	Belén	Cu, Au, Ag

Continuación...

ID	Mét. de explotación	Titular	Unidad	Producto
13	Minería Superficial	MINERA VETA DORADA S.A.C.	Veta Dorada	Au, Ag
14	Minería Superficial	PROCESADORA COSTA SUR S.A.C.	Raul 40	Cu, Au, Ag
15	Minería Superficial	SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.	Cerro Verde	Cu, Mo
16	Minería No Metálica	YURA S.A.	Yura	Caliza, Pizarra, Puzolana, Yeso

Fuente: Anuario Minero 2017 (MINEM, 2018).

**Cuadro 2.14**

**Principales proyectos mineros de la región Arequipa, 2017**

ID	Operador	Proyecto	Provincia	Distrito	Producto
1	GOLDEN IDEAL GOLD MINING S.A.C.	Ático	Caravelí	Ático	Fe
2	QUESTDOR S.A.C.	Cerro de Fierro	Caravelí	Chaparra	Fe, Cu, Au
3	JUNEFIELD GROUP S.A.	Don Javier	Arequipa	Yarabamba	Cu, Mo
4	COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	Gaby	Caylloma	Lari	Ag, Au
5	MINERA HAIPE S.A.C.	Haispe	Islay	Cocachacra	Cu
6	QUESTDOR S.A.C.	Lana	Caravelí	Ático	Prospecto
7	TECK PERU S.A.	Marcahui	Caravelí	Quicacha	Cu, Mo
8	COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	Mayra	Caylloma	Madrigal	Au, Ag, Pb, Zn
9	COMPAÑÍA MINERA ZAHENA S.A.C.	Montoneros	Arequipa/Camaná	Islay/Quilca/Vitor	Au
10	INVERSIONES MINERALES S.A.C.	Ocaña	Condesuyos	Yanaquihua	Cu
11	JINZHAO MINING PERÚ S.A.	Pampa de Pongo	Caravelí	Bella Unión/Lomas	Fe
12	PEMBROOK COPPER S.A.C.	Pecoy	Condesuyos	Yanaquihua	Cu-Mo-Au-Ag
13	APU COROPUNA S.R.L.	Pucay	Castilla	Chilcaymarca	Au, Ag
14	CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	Romerillo	Caravelí	Bella Unión	Au, Cu
15	SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION, SUCURSAL DEL PERÚ	Tía María	Islay	Cocachacra/Mejía/Dean Valdivia	Cu
16	HPX PERÚ HOLDINGS S.A.C.	Tinajas	Condesuyos	Andaray	Cu
17	TORION MINING S.A.C.	Tororume	Condesuyos	Chichas	Cu, Mo, Au
18	CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	Valetita	Caravelí	Huanuhuanu	Au
19	GOLDEN IDEAL GOLD MINING S.A.C.	Yuquibamba	Camaná	Mariscal Cáceres	Fe
20	COMPAÑÍA MINERA ZAFRANAL S.A.C.	Zafranal	Castilla/Caylloma	Huancarqui/Lluta/Majes	Cu, Au
21	KAIZEN DISCOVERY PERÚ S.A.C.	Pinaya	Caylloma	Callalli	Au

Fuente: Anuario Minero 2017 (MINEM, 2018).



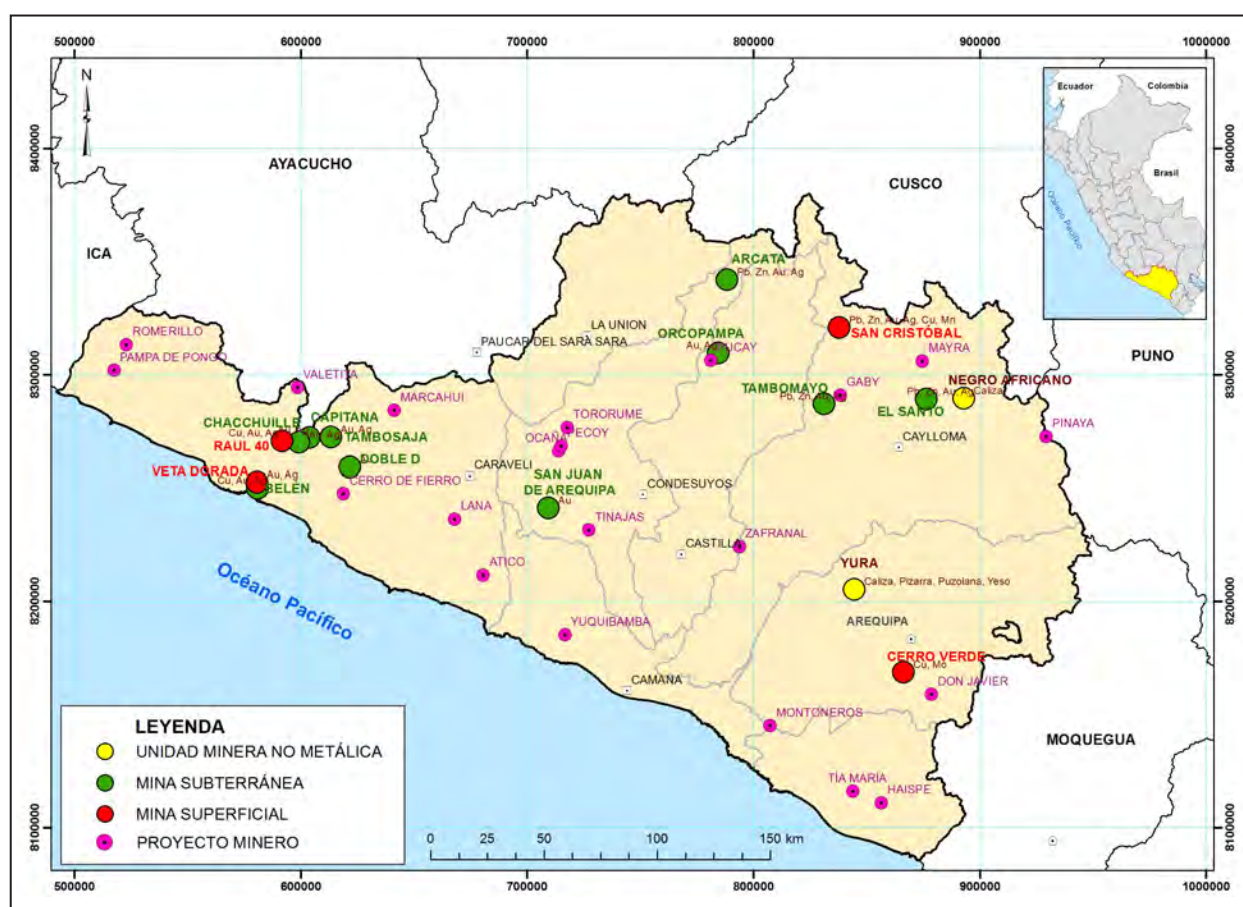


Figura 2.3 Principales unidades mineras en producción y proyectos mineros en el departamento de Arequipa. Elaboración propia con datos del Ministerio de Energía y Minas, 2018.

## 2.4 INFRAESTRUCTURA MAYOR

### 2.4.1 Infraestructura de transporte

El departamento de Arequipa está ubicado estratégicamente y limita con 6 regiones, con una insuficiente infraestructura vial, pero con el potencial para articular el desarrollo regional del sur. Por su ubicación y las bondades de su costa, en especial la zona de Corio, se podría convertir en la puerta de ingreso y salida de América del Sur al Asia. Para ello, es necesario construir mayor infraestructura vial, férrea y aérea para viabilizar un estudio serio sobre la construcción del megaproyecto Corio.

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, y continúa su curso hacia Chile. Además, Arequipa tiene acceso a la carretera Interoceánica, lo que permite la integración comercial con Bolivia y Brasil.

Por este motivo, el actual gobierno programó una ampliación y mejoramiento de la red vial de la región que sirve para consolidar la posición de Arequipa como un eje articulador y promotor de desarrollo, y facilitar así el desarrollo turístico apoyando al transporte con reducción de tiempos, costos y comodidad.

El monto presupuestado para infraestructura vial asciende aproximadamente a los 3200 millones de soles, comprendidos desde el 2011 hasta el 2016. Las principales obras son: la continuación de la Costanera en los tramos de Dv. Quilca – Matarani (92.5 k, inversión S/. 688 millones), obra terminada. El tramo vial Matarani-Punta de Bombón (143.8 km, inversión de S/. 1213 millones), aún en construcción, incluye una doble calzada de Matarani a Mollendo. Imata-Oscollo-Yauri conecta al Cusco (40.6 km, inversión de S/.153 millones) y se encuentra en construcción. Otra obra es la segunda calzada de la Dv. 48-Pedregal (53.2 km, inversión de S/.113 millones). Otras obras son los corredores con asfalto económico: a) Aplao-Chuquibamba-Cotahuasi-Pausa, Ayacucho b) Aplao -Viraco-

Valle de los Volcanes-Huambo-Chivay. (715 km, inversión de S/. 404 millones). En mantenimiento por 5 años, se encuentran los corredores de Yauca -Cora Cora, y Chala-Pausa, que forman un corredor con Puquio, Ayacucho, integrando el norte de Arequipa con la sierra central.

Con esta inversión, las carreteras pavimentadas de la red vial nacional en la región Arequipa pasaron del 67 % en el 2011 al 85 % a julio del 2016, según datos del MTC. Con apoyo de los gobiernos locales, se ampliarán las conexiones viales de la red

regional y provincial con criterio técnico, priorizando 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

La red vial de Arequipa está conformada por 9446.7 km, de los cuales el 23.1 % se encuentra pavimentado. Además, el 15.8 % de las carreteras de Arequipa pertenecen a la red vial nacional, el 18.8 % pertenecen a la red departamental y 65.4 % corresponden a caminos vecinales (cuadro 2.15).

Cuadro 2.15

#### Infraestructura vial del departamento Arequipa, por tipo de superficie, 2017 (km)

Tipo de red	Total	Existente por tipo de superficie de rodadura					Total existente	Proyectada
		Pavimentada	No Pavimentada					
			Afirmada	Sin Afirmar	Trocha	Sub total		
Total	9446.7	2172.9	1362.7	1044.2	4808.0	7214.9	9387.8	58.9
Nacional	1498.3	1199.6	97.2	184.3	0.0	281.5	1481.1	17.2
Departamental	1773.0	571	446.0	538.9	183.0	1167.9	1738.9	34.1
Vecinal	6175.4	402.3	819.5	321	4625	5765.5	6167.8	7.6

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

#### Redes viales principales:

##### Carretera Panamericana Sur

La Carretera Panamericana Sur tiene una longitud de 1234.52 km. Empieza en Lima y pasa por Arequipa, Moquegua y Tacna, y continúa hasta Chile. Cabe mencionar que esta carretera asfaltada comunica la ciudad de Arequipa con varios poblados del interior del país. Dentro de la región, tiene una longitud de 428,2 km aproximadamente.

##### Carretera Costanera

Vía asfaltada, tras el mejoramiento de los tramos Camaná-Dv. Quilca-Matarani-Punta de Bombón (Arequipa)-Ilo (Moquegua)-El Pozo (Tacna). Tiene una longitud de 400 km y es una alternativa importante a la Carretera Panamericana Sur, que permite ahorros significativos de costos de transporte y tiempos de viaje para los usuarios de la vía, sobre todo en los flujos de larga distancia. Además, hace posible interconectar los puertos de Ilo y Matarani, que son puertos de salida y entrada de la Carretera Interoceánica. En la región, tiene una longitud aproximada de 143.8 km.

##### Carretera Variante Uchumayo

Vía asfaltada que conecta con Puno, se inicia a partir de La Repartición-Uchumayo-Dv. Chiguata-Yura-Patahuasi-Puente Sumbay-Imata-Deustua-Cabanillas (Juliaca, Puno) y tiene una longitud de 300.9 km. De gran importancia para el turismo, la ruta Patahuasi-Chivay da acceso al valle del Colca. En la región, tiene una longitud total de 188.0 km.

#### Redes viales secundarias

Entre las carreteras secundarias, tenemos las que parten de las principales ciudades hasta el interior del país. Estas son **carreteras afirmadas y trochas carrozables, y se incluyen en esta categoría a los caminos de herradura**. Se pueden mencionar las siguientes vías: Arequipa-Puente Poroto-Omate (Moquegua), Arequipa-Socabaya-Santuario de Chapi, Arequipa-Chiguata-Toroya-Puno, El Pedregal-Huambo-Cabanaconde-Maca-Chivay, Morro Sihuas-Corire-Aplao-Chuquibamba-Cotahuasi, Aplao-Andamayo-Ayo, Atico-Caravelí, Puente Chala-Chaparra-Ocoruro-Coracora (Ayacucho), Yauca-Jaqui, Puente Chaviña-Acari-Malco, Lomas-Mina Acari y otros más.

### 2.4.1.2 Transporte ferroviario

El sistema ferroviario cuenta con maquinaria un tanto obsoleta y con una capacidad de carga insuficiente. En la región se cuenta con infraestructura ferroviaria concesionada del Ferrocarril

Trasandino, con cerca de mil kilómetros; el cual recorre los departamentos de Arequipa, Puno y Cusco (cuadro 2.16). En Arequipa y el Sur, demandan un transporte ferroviario con mayor capacidad de carga y frecuencia para dinamizar los proyectos mineros en el sur.

**Cuadro 2.16**

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

Condición	Línea Férrea	Descripción		Tramo					
					2013	2014	2015	2016	2017
Concesionada	Ferrocarril del Sur y Sur Oriente	Concesionario	Operador	Total	989.7	989.7	989.7	989.7	989.7
		Ferrocarril Trasandino	Perurail S.A.	Matarani - Arequipa	147.5	147.5	147.5	147.5	147.5
				Arequipa - Juliaca	304.0	304.0	304.0	304.0	304.0
			Andean Railways S.A.	Juliaca - Puno	47.7	47.7	47.7	47.7	47.7
				Juliaca - Cusco	337.9	337.9	337.9	337.9	337.9
				Empalme - Mollendo <sup>1/</sup>	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
			Inca Rail S.A.C.	Cusco - Hidroeléctrica Machupicchu	121.7	121.7	121.7	121.7	121.7
				Pachar - Urubamba <sup>2/</sup>	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0

<sup>1/</sup> Empalme se encuentra en el km 7.427 de la vía Matarani-Juliaca-Puno.

<sup>2/</sup> Pachar se encuentra en el km 61.365 de la vía Cusco-Hidroeléctrica.

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

### 2.4.1.3 Transporte marítimo

En concordancia con la Ley del Sistema Portuario N°27943, y la actualización del listado de Terminales Portuarios (TP) del Sistema Portuario Nacional de Desarrollo Portuario al 2017, Arequipa al 2017 cuenta con un total de tres terminales portuarios (TP) con las licitaciones y certificaciones correspondientes para

su operación. Según la titularidad, dos de estos TP son de propiedad pública, uno concesionado a la empresa Terminal Internacional del Sur S.A. y el otro cesionado a la empresa privada Consorcio Terminales (cuadro 2.17). Respecto al ámbito geográfico, los 3 TP son marítimos (Perú. Ministerio de Transporte y Comunicación, 2018b).<sup>1</sup>

**Cuadro 2.17**

**Infraestructura portuaria del departamento de Arequipa, 2017**

N°	Nombre del Puerto	Instalaciones portuarias	Administrador	Titularidad	Alcance
1	Ático	TP Muelle Ático	Tecnología de Alimentos S.A.	Privada	Regional
2	Matarani	TP Matarani	Terminal Internacional del Sur S.A.	Pública (Concesionado)	Nacional
3	Matarani	TP Multiboyas Mollendo	Consorcio Terminales	Pública (Cesionado)	Nacional

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional, 2017.



El puerto de Matarani tiene un calado de 10 m de profundidad, capacidad de atención simultánea para 3 naves, con una infraestructura diseñada principalmente para la atención de granos y minerales. La carga por contenedores es atendida por el Callao y Arka. TISUR, concesionario del puerto, ha invertido más de S/.600 millones para ampliar sus instalaciones y cubrir la demanda creciente del sector minero del sur del Perú, pero no ha considerado la demanda potencial de los países vecinos.

Se tiene una iniciativa de ley para la construcción del proyecto Hub Marítimo Internacional, o megapuerto Corio, en el distrito de Punta bombón, provincia de Islay. Con más de 5 km de largo y con un calado entre 28 y 30 m de profundidad (el puerto del Callao tiene 15 m), único en la costa del pacífico americano, a excepción de California, permitiría el atraque de barcos Super Post Panamax que requieren un calado mínimo de 20 m de profundidad. Se convertiría en un puerto natural que facilitaría el comercio entre los países Bolivia y Brasil. Este permitiría la "redistribución de carga" que provenga de cargueros de grandes dimensiones.

#### 2.4.1.4 Transporte aeroportuario

En la región existen cinco instalaciones aeroportuarias (cuadro 2.18). La principal infraestructura aeroportuaria es la del aeropuerto internacional Rodríguez Ballón, ubicado a unos 8 kilómetros del centro de la ciudad de Arequipa y que inició sus operaciones el 15 de agosto de 1979. Actualmente, se

encuentra bajo la administración de CORPAC S.A., y es el **segundo Terminal con mayor flujo de pasajeros en el sur del país**, después del aeropuerto de la ciudad del Cusco. Este aeropuerto cuenta con una pista asfaltada de 2980 m de largo por 45 m de ancho, con un terminal de pasajeros de dos pisos con 4 226 m<sup>2</sup>, hall principal de 757 m<sup>2</sup>, 12 counters; 348.48 m<sup>2</sup> de zona de embarques y una torre de control de 7 pisos con 28 m de altura. Asimismo, el Terminal tiene vuelos nacionales e internacionales y se constituye en la principal puerta de entrada a las ruinas cercanas y el Cañón del Colca.

#### 2.4.2 Infraestructura Agrícola

Constituye una fuente disponible del recurso hídrico, importante de la región, de régimen temporal o permanente y de tamaño variable. La región cuenta con 37 presas inventariadas por el ANA (cuadro 2.19). A continuación, se describen las siguientes obras:

Arequipa cuenta con el proyecto emblemático Majes-Siguas, que fue concebido como un proyecto de desarrollo regional de propósitos múltiples basado en la regulación y derivación de recursos hídricos de las cuencas altas de los ríos Colca y Apurímac, para su uso racional en la irrigación de hasta 60 500 hectáreas de tierras nuevas en las Pampas de Majes y Siguas. Otras obras mayores de regulación (embalses Aguada Blanca, El Fraile, Chalhuanca y Pillones) y trasvase (El Pañe, Bamputañe, Dique de Los Españoles y Canal de derivación Pañe-Sumbay).

Cuadro 2.18

#### Infraestructura aeroportuaria operativa en el departamento de Arequipa, 2017

N°	Instalación aeroportuaria	Tipo	Administrador
1	Aeropuerto Alfredo Rodríguez Ballón	Aeropuerto	Aeropuertos Andinos del Perú S.A.
2	Helipuerto de Sayla	Helipuerto	Municipalidad Distrital de Sayla
3	Aeródromo Mollendo	Aeródromo	Municipalidad Provincial de Islay
4	Aeródromo Aero Link Chala	Aeródromo	Aero Link S.A.C.
5	Aeródromo Orcopampa	Aeródromo	Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.

Fuente: MTC - DGAC, 2018.

Cuadro 2.19

## Presas inventariadas en la región Arequipa

N°	Nombre de la presa	Administración Local del Agua	Río/quebrada	Distrito	Provincia
1	Aguada Blanca	Chili	Chili	Cayma/San Juan de Tarucani	Arequipa
2	Campanario	Chili	Chili	Cayma/Alto Selva Alegre	Arequipa
3	Presa Relaves (C.V.)	Chili	Chili/Qda. Linga	Tiabaya/Uchumayo	Arequipa
4	Chalhuanca/Capillune	Chili	Colca	Yanque	Caylloma
5	Mosopuquio	Chili	Chili y Poroto	Characato	Arequipa
6	El Frayle	Chili	Blanco	San Juan de Tarucani	Arequipa
7	Pillones	Chili	Colca/Chili	San Antonio de Chuca	Caylloma
8	Puente Cincel	Chili	Chili	Cayma	Arequipa
9	San José de Uzuña/Yanaorco	Chili	Poroto/Qda. De Chapi	Polobaya	Arequipa
10	El Frayle-Dique de Cierre	Chili	Blanco	San Juan de Tarucani	Arequipa
11	Condoroma	Colca-Siguas-Chivay	Colca	Callalli	Caylloma
12	Jatuncocha	Colca-Siguas-Chivay	Colca/Molloco	Lari	Caylloma
13	Los Españoles	Colca-Siguas-Chivay	Colca	San Antonio de Chuca	Caylloma
14	Ticllacocha	Colca-Siguas-Chivay	Colca/Molloco	Lari	Caylloma
15	Samaccota	Colca-Siguas-Chivay	Colca	Tisco	Caylloma
16	Chiuchilla	Colca-Siguas-Chivay	Colca/Maqueruyo	Tisco	Caylloma
17	Arcata	Camaná-Majes	Cochasique	Cayarani	Condesuyos
18	Chumilla	Camaná-Majes	Millomayo/Ojoruro	Cayarani	Condesuyos
19	Corococha	Camaná-Majes	Collpa/Machucocha	Orcopampa/Chachas	Castilla
20	Huisca Huisca	Camaná-Majes	Millomayo/Ojoruro	Cayarani	Condesuyos
21	Mamacocha (Colca)	Camaná-Majes	Challahuire	Ayo	Castilla
22	Orcopampa (Relavera 4A)	Camaná-Majes	Chilcaimarca	Orcopampa	Castilla
23	San Félix	Camaná-Majes	Chilcaimarca/Molloco	Chachas	Castilla
24	Tacacocha/Arcata (Relaves)	Camaná-Majes	Ojoruro/Millomayo	Cayarani	Condesuyos
25	Presa 01	Camaná-Majes	Qda. Churunga	Andaray	Condesuyos
26	Huampuro	Camaná-Majes	Molloco/Illigua	Choco	Castilla
27	Shila (Relavera 4)	Camaná-Majes	No aplica	Choco	Castilla
28	Tintarcocha	Ocoña-Pausa	Arma/Sumana	Salamanca	Condesuyos
29	Chacchuille (Relaves)	Chaparra-Acarí	Qda. Huanuhuanu/Qda. Tacota	Haunuhuanu	Caravelí
30	Presa 05 (Relaves)	Chaparra-Acarí	Qda. de Chala	Chala	Caravelí
31	Huarahuarco	Alto Apurímac-Velille	Laguna Huarhuanco	Caylloma	Caylloma
32	Parihuana	Alto Apurímac-Velille	Caylloma	Caylloma	Caylloma
33	Jesús María	Alto Apurímac-Velille	No disponible	Caylloma	Caylloma
34	Vilafro	Alto Apurímac-Velille	Lago Vilafro	Caylloma	Caylloma
35	Presa Relaves N° 2 (Vaso Norte)	Alto Apurímac-Velille	Santiago	Caylloma	Caylloma
36	Depósito de Relaves N° 2 (Sur)	Alto Apurímac-Velille	Santiago	Caylloma	Caylloma
37	Laguna Cochastana	Alto Apurímac-Velille	Laguna Cochastana	Lari	Caylloma

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

### 2.4.3 Infraestructura Energética

Respecto a la infraestructura energética, se debe destacar que la provisión de energía es un requisito fundamental para el crecimiento económico de Arequipa, más aún debido a la importancia del sector minero, manufacturero y comercial en la estructura productiva de la región.

Arequipa es la cuarta región con mayor oferta energética. Esto se explica básicamente por la presencia de centrales hidroeléctricas, centrales térmicas y solares. En términos de potencia instalada con 190.6 MW en centrales hidroeléctricas,

343.75 MW en centrales térmicas y 44 MW en centrales solares, hace un total de 578.4 MW. Son mayores las centrales termoeléctricas (59.4 %) seguidas de las hidráulicas (33 %) y solares (7.6 %) (Cuadro 2.20).

Pese a ser Arequipa la cuarta región con mayor capacidad instalada, su aporte en la generación eléctrica es menor; debido a que el parque generador es básicamente termoeléctrico, a base de carbón y diésel. Arequipa tiene un potencial eólico aprovechable de 1020 MW (Perú. Ministerio de Energía y Minas, 2016).

**Cuadro 2.20**

**Centrales Eléctricas por unidad de generación de la región Arequipa, 2016**

N°	Empresa	Origen	Central eléctrica	Potencia instalada (MW)	Producción (GW.h)
1	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Hidráulico	C.H. Charcani I	1.8	13.5
2	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Hidráulico	C.H. Charcani II	0.8	4.7
3	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Hidráulico	C.H. Charcani III	4.6	39.2
4	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Hidráulico	C.H. Charcani IV	15.6	90.9
5	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Hidráulico	C.H. Charcani V	145.3	551.3
6	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Hidráulico	C.H. Charcani VI	9	52.8
7	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Térmico	C.T. Mollendo	31.7	25.2
8	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Térmico	C.T. Chilina	30.8	28
9	Emp. de Generación Eléctrica de Arequipa S.A.	Térmico	C.T. Pisco	74.8	539.9
10	Generadora de Energía del Perú S.A.	Hidráulico	C.H. La Joya	10.4	49.8
11	GTS Majes S.A.C	Solar	C.S. Majes Solar	22	46.4
12	GTS Repartición S.A.C	Solar	C.S. Repartición	22	44.7
13	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Hidráulico	C.H. Caravelí	0.2	--
14	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Hidráulico	C.H. Chococo	0.7	10
15	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Hidráulico	C.H. Chuquibamba	0.2	--
16	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Hidráulico	C.H. Huanca	0.2	--
17	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Hidráulico	C.H. Ongoro	1	--
18	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Hidráulico	C.H. Orcopampa	0.2	--
19	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Hidráulico	C.H. San Gregorio	0.6	--
20	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Térmico	C.T. Ático	1.9	2.5
21	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Térmico	C.T. Caravelí	0.9	0.01
22	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Térmico	C.T. Chala	--	--
23	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Térmico	C.T. Cotahuasi	0.45	0.03
24	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A.	Térmico	C.T. Ocoña	1.7	--
25	Sociedad Minera Cerro Verde S.A.	Térmico	C.T. Recka	181.3	24.3
26	Sociedad Minera Cerro Verde S.A.	Térmico	C.T. Cerro Verde	20.2	--

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

## 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 termoeléctricas de tal forma que se cumplan determinados requisitos técnicos, financieros y legales (como capacidad, plazo, monto de inversión, entre otros). El proyecto consiste en la construcción de dos plantas termoeléctricas de 500 MW más o menos hasta 20 % de capacidad cada una, como parte del requerimiento total de generación de hasta 2000 MW; las que deberán estar ubicadas en la costa sur del Perú. Para ello, se construirán dos centrales térmicas de 500 MW cada una, las mismas que estarán ubicadas en Mollendo e Ilo.

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 2.4 Infraestructura vial, agrícola, minera y energética del departamento Arequipa. 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.

Arequipa posee una diversidad de climas (figura 2.5), 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 0°C.

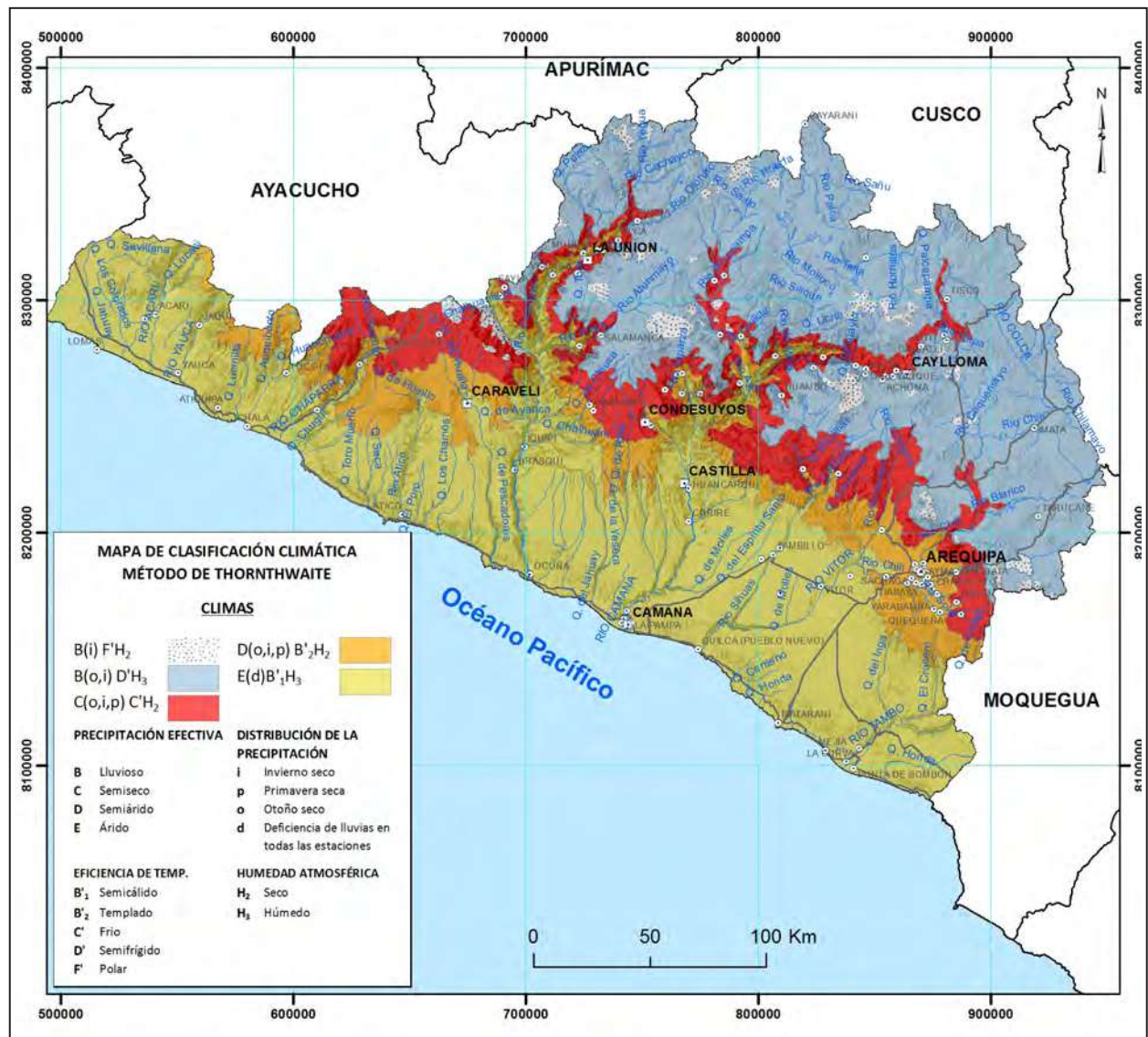


Figura 2.5 Mapa climático del departamento de Arequipa (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010a).

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

**E(o,i,p)B<sub>1</sub>H<sub>3</sub>**: clima árido, con escasas lluvias durante todo el año, se caracteriza por ser semicálido, húmedo y nuboso, presentándose en las localidades de las provincias costeras de Caravelí, Camaná e Islay. Este clima corresponde a las zonas comprendidas entre los 0 a 1000 m s. n. m.

**C(o,i,p)B<sub>2</sub>H<sub>3</sub>**: clima semiseco, seco en otoño, invierno y primavera, templado y húmedo. Corresponde este tipo de clima en las localidades emplazadas en las estribaciones andinas entre los 1000 y 2500 m s. n. m., como son las provincias de Caravelí, Arequipa y Puno.

**D(o,i,p)B<sub>2</sub>H<sub>2</sub>**: clima semiárido, templado, seco en otoño, invierno y primavera, templado y con baja humedad del aire. Corresponde este tipo de clima a las zonas comprendidas entre los 2500 y 3000 m s. n. m., abarcando las localidades de las provincias de Condesuyos, Castilla, Caylloma y Arequipa.

**C(o,i,p)C<sub>1</sub>H<sub>2</sub>**: clima semiseco y frío, seco en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada de baja. Es característico de las localidades pertenecientes a las provincias de La Unión (Cotahuasi), Castilla (Machaguay), Caylloma (Huambo, Huanca y Chivay).

**B(o,i)D<sub>1</sub>H<sub>3</sub>**: clima lluvioso y semifrío, seco en otoño e invierno, comprendido entre los 3500 y 4500 m s. n. m. Corresponde este tipo de clima a las localidades de las provincias de La Unión (Puyca), Castilla (Orcopampa) y Caylloma (San Antonio de Chuca).

**B(i)F<sub>1</sub>H<sub>2</sub>**: clima polar, característico de los nevados Firua, Solimana, Coropuna, Hualca Hualca, Ampato, Ananta, Mismi, Chucura, Chachani y de los volcanes Misti y Pichu Pichu.

### 2.5.1 Temperatura y humedad

Las temperaturas extremas máximas y mínimas promedio mensuales a lo largo de toda la costa del departamento no presentan cambios importantes; las isothermas son aproximadamente paralelas a la línea de costa. En las estaciones de otoño e invierno, esta franja amanece nublada o cubierta y hacia el mediodía estas nubes rápidamente se disipan, lo que permite intenso brillo solar durante el resto del día. La temperatura media anual es 14.4 °C. La temperatura máxima promedio es de 23.3 °C y la mínima de 3.2°C durante los meses de invierno.

Las temperaturas máximas promedio en la costa sur de Arequipa (provincia de Islay, Hacienda) oscilan entre 22°C y 28°C y las mínimas promedio entre 12°C y 18°C. La precipitación es prácticamente nula, aunque excepcionalmente en la

estación de invierno se producen lloviznas durante la noche o en la madrugada. En la costa norte y centro (Punta Atico), las temperaturas máximas promedio fluctúan entre 19°C y 26°C y las mínimas promedio oscilan alrededor de 14°C y 19°C correspondiendo estos valores al invierno y verano respectivamente.

En las pampas desérticas (1000 m s. n. m.), reciben radiación muy alta todo el año, registrándose en estas los valores máximos en comparación con otros lugares del Perú. Sobre estas pampas, el cielo está extenso de nubosidad casi todo el año, presentando tiempo soleado desde el inicio del día. Las temperaturas máximas oscilan entre 22°C y 27°C respectivamente. El rango anual es aproximadamente 2°C y las temperaturas mínimas son relativamente bajas, variando entre 8°C y 14°C en invierno y verano respectivamente. En la Joya y en La Pampilla, sin embargo, varían entre 3°C y 9°C (SENAMHI, 2008).

La sierra de Arequipa se caracteriza por presentar las isothermas de temperaturas máximas y mínimas promedio mensual siguiendo una distribución casi paralela a las cotas de altitud. Las temperaturas promedio disminuyen gradualmente 0.6°C por cada 100 m de elevación y las variaciones térmicas entre el día y la noche son muy altas superando los 25°C permanentemente entre junio y agosto. Sobre los 3800 m s. n. m. se tiene temperaturas nocturnas de congelación durante todo el año.

Las temperaturas máximas promedio son relativamente altas, debido a la intensa radiación solar incidente. Así en angostura, en verano fluctúan alrededor de los 14°C y en primavera alrededor de los 16°C. En Imata (4520 m s. n. m.) las máximas de verano, alrededor de 12°C mientras que, en primavera, 14°C.

### 2.5.2 Precipitación

Según el mapa de isoyetas de precipitaciones acumulada anual de SENAMHI (2008), en periodo lluvioso normal las precipitaciones pluviales estacionarias que varían de 100 mm a 2000 mm anuales entre los meses de setiembre a mayo y en periodo de El Niño no sobrepasan los 800 mm anuales (figura 2.6).

Las precipitaciones en la costa generalmente son del tipo llovizna y son frecuentes durante los meses de otoño e invierno. Se manifiestan principalmente después de la medianoche hasta las primeras horas del día, como en el caso de las lomas de Atiquipa, donde las lloviznas son muy frecuentes.

En la sierra, las precipitaciones se incrementan gradualmente con la altitud. En las mesetas altoandinas se precipitan alrededor de 700 l/m<sup>2</sup> al año, de las cuales el 70 % se da entre los meses de enero y marzo. Con frecuencia están acompañadas de descargas eléctricas y truenos, aunque también se registran precipitaciones de nieve, granizo y agua nieve.

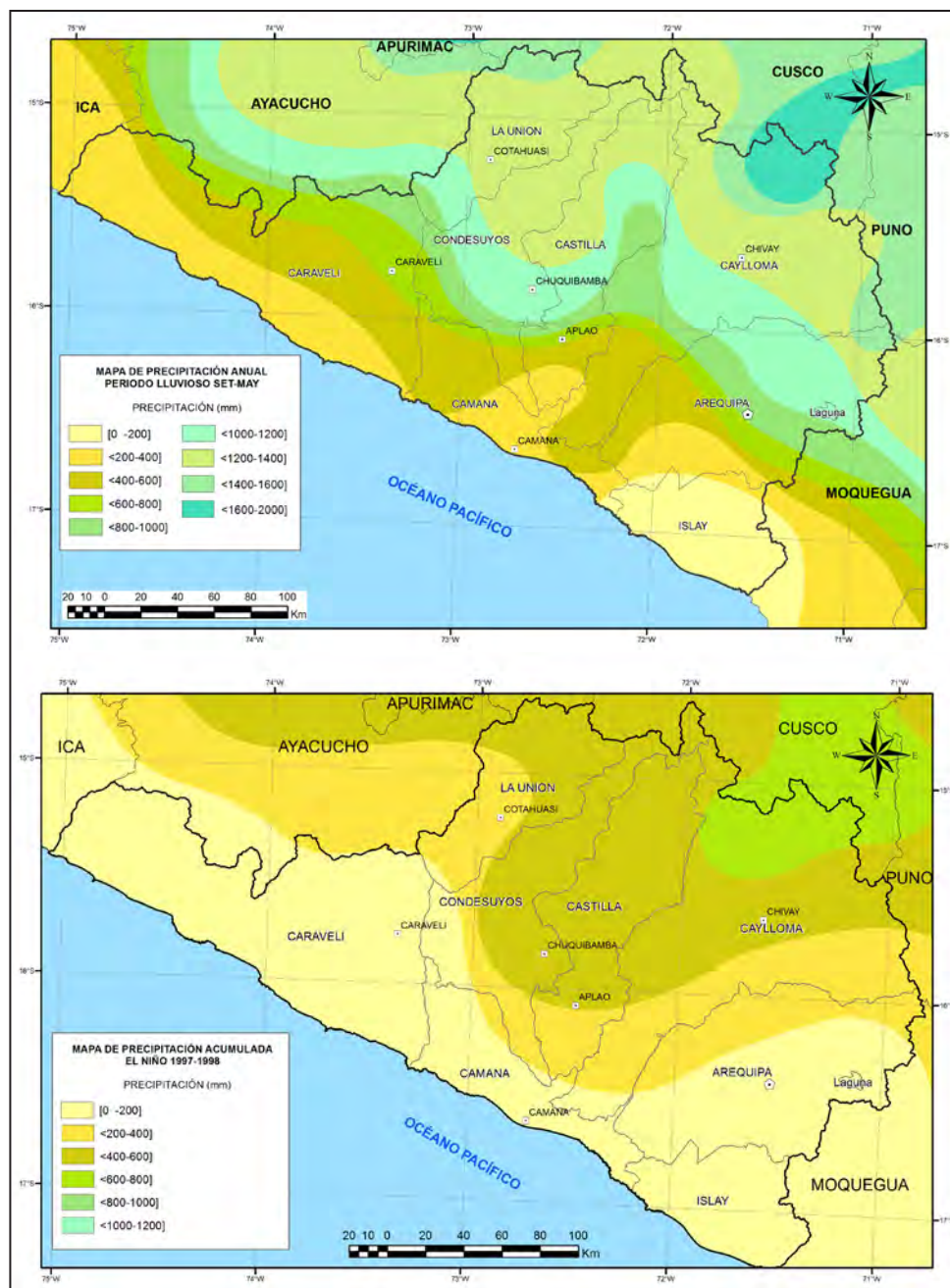


Figura 2.6 Mapa de isoyetas de Arequipa para el periodo lluvioso, setiembre-mayo (arriba) y con presencia del Fenómeno El Niño 1997-1998 (abajo). Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010 b y c.





rio bastante encajonado, y el otro extremo que corresponde al propio río Vitor, llamado también río Chili, con cuyas aguas se abastecen las represas de El Frayle, El Paño, Aguada Blanca y Pillones. Este es el río más importante, no sólo por el área agrícola atendida, sino por los diversos usos que genera en cuanto a consumo humano, minero, energético e industrial.

o marinos del territorio nacional que sirven para conservar la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico. En el departamento de Arequipa, abarcan en total una superficie de 914 119.4 ha., entre las cuales destacan las reservas nacionales Salinas y Aguada Blanca, con 366 936 ha y la reserva paisajista de la subcuenca del Cotahuasi, la más extensa, con 490 550 Ha, como se observa en el cuadro 2.21 y figura 2.8.

## 2.7 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Cabe resaltar que las áreas naturales protegidas, según la Ley 26534, se definen como aquellos espacios continentales

Cuadro 2.21

### Áreas naturales protegidas en el departamento de Arequipa

Áreas naturales protegidas (Código/Categoría)		Área (ha)	%	Base legal	Fecha de promulg.	Ubicación Política	
SN 03	Sist. de islas, islotes y puntas	Santuario Nacional					
		Lagunas de Mejía	0 690.60	0.08	D.S. N°015-1984-AG	2/24/1984	Arequipa
(RN06)		Reserva Nacional					
		Salinas y Aguada Blanca	366 936.00	40.14	D.S. N°070-1979- AA	8/9/1979	Arequipa y Moquegua
(RN13.33)		Punta Loma	2 404.26	0.26	D.S. N°024-2009- MINAM	12/31/2009	Arequipa
		Punta Atico	3 467.69	0.38			
		Punta La Chira	2 436.68	0.27			
		Punta Hornillos	2 684.19	0.29			
(RP 02)		Reserva Paisajista					
		Subcuenca del Cotahuasi	490 550.00	53.66	D.S. N°027-2005-AG	5/23/2005	Arequipa
		Área de Conservación Privada					
(ACP-12)		Huamanmarca-Ochuro-Tum-pullo	15 669.00	1.71	R.M. N°0501-2008-AG	6/17/2008	Arequipa
(ACP-17)		Uchumiri	10 253.00	1.12	R.M. N°007-2009-MINAM	1/16/2009	Arequipa
(ACP-37)		Lomas de Atiquipa	19 028.02	2.08	R.M. N°165-2011-MINAM	7/26/2011	Arequipa

Fuente: SERNANP, INEI (actualizado al 2018)

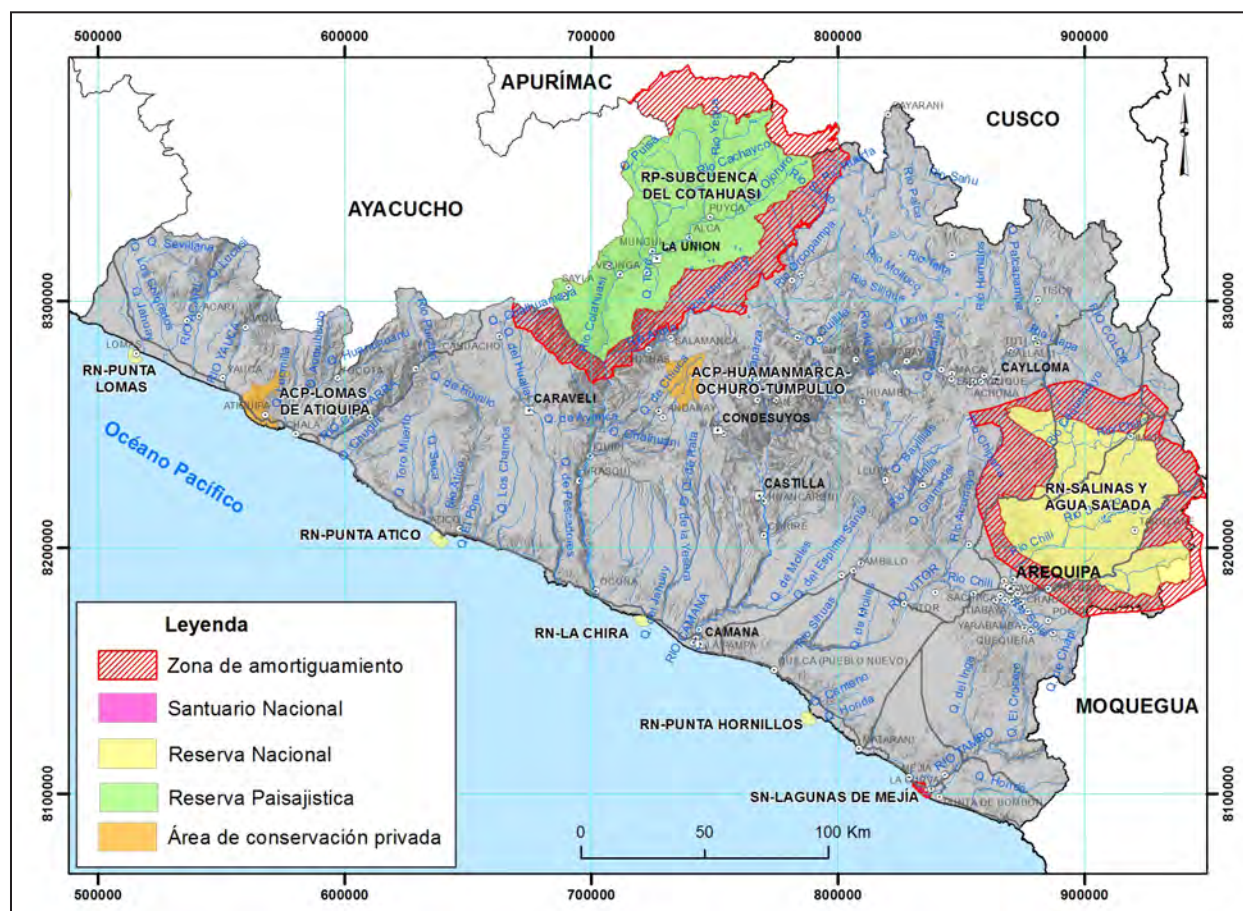


Figura 2.8 Áreas Naturales Protegidas en el departamento Arequipa. Fuente: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, SERNANP actualizadas al 2018.

## 2.8 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

Tomando como base el mapa 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 Arequipa, donde se diferenciaron trece zonas con tipo de vegetación dominante, considerándose las características de densidad o ausencia de vegetación (mapa 1).

En la región Arequipa, la cobertura de suelo no necesariamente es de tipo vegetal, sino la denominada “desierto costero”, luego le siguen las zonas cubiertas con pajonal altoandino, matorral arbustivo, las zonas periglaciares, ocupadas por agricultura costera o andina, y finalmente, con extensiones reducidas, la vegetación de tipo bofedales, los bosques relictos altoandinos y plantaciones forestales. Esta vegetación se distribuye en los siguientes tipos de cobertura vegetal natural.

### 2.8.1 Bosques de zonas húmedas - zonas pluviales

En esta zona se desarrollan bosques densos y lluviosos ubicados en un amplio rango altitudinal, que va desde el nivel de los grandes ríos amazónicos hasta el límite con los herbazales altoandinos de la vertiente oriental de los Andes, es decir, hasta aproximadamente 4000 m s. n. m. De acuerdo al diagrama bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976), presentan valores de precipitaciones pluviales anuales mayores de 500 mm y temperaturas medias anuales mayores a 6 °C. Aquí se identificó un solo tipo de cobertura vegetal.

#### Bosque relictos altoandino (Bral)

Se encuentra distribuido de manera fraccionada, muy reducida y con 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 entre 3600 y 4900 m s. n. m. Ocupa una superficie de 105.6 km<sup>2</sup>.



La vegetación está representada por el "quenual", el cual está conformado por más de 10 especies. En ciertas ocasiones, se asocia a los géneros "cotoquisuar", "chachacoma" 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.

## 2.8.2 Matorral de zonas áridas - zonas húmedas

De acuerdo al diagrama bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976), estas zonas contemplan valores de evapotranspiración potencial entre 32 % y 1 %, precipitaciones pluviales anuales hasta de 1000 mm y temperaturas medias anuales mayores a 6° C.

### Matorral arbustivo (Ma)

Se encuentra distribuido en el lado central de la región hasta el límite de los pajonales naturales desde aproximadamente 2200 hasta 3800 m s. n. m. Tiene una superficie de 10 036,4 km<sup>2</sup>, equivalente al 15,85 % del área total.

En el nivel altitudinal por debajo de los 2500 m s. n. m. y las condiciones áridas y semiáridas, propician el desarrollo de asociaciones arbustivas que pierden totalmente su follaje durante el período seco del año, mezcladas con suculentas y herbáceas de vida efímera. Las especies arbustivas más comunes son el "huanarpo", "huancayo", "mito", "maguey", etc. Entre las cactáceas, se tiene a el "candelabro", y el "gigantón".

El nivel medio, comprendido entre 3000 a 3800 m s. n. m., las condiciones subhúmedas permiten el desarrollo de asociaciones arbustivas tanto de carácter caducifolio como de carácter perennifolio, mostrando una mayor diversidad florística que en el piso inferior. Entre las especies más frecuentes, se tiene a la "chamana", "lloque", "chinchilcuma", "yauli", "maguey azul", "huananhuay", "marco", "retama", etc.; entre las cactáceas más frecuentes, se encuentran "anjokishka", "San Pedro", etc. Se incluyen en este piso algunas especies arbóreas de porte bajo y de manera dispersa, tales como el "faique", "molle" y "tara".

En el nivel superior, comprendido en los rangos altitudinales de 3500 a 3800 m s. n. m. al este 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, entre las cuales se mencionan las siguientes: "chocho", "tayanco", "tola", "manzanita", "mutuy". Se incluyen arbolillos.

## 2.8.3 Herbazales de zonas húmedas - zonas pluviales

Se encuentran ubicados en la parte superior de la Cordillera Occidental, por encima de los matorrales andinos, sobre los 3800 o 4000 m s. n. m., y se extienden hasta los límites de las áreas de periglaciares y glaciares. Según el diagrama bioclimático del mapa ecológico del Perú (ONERN, 1976), en esta zona se contempla precipitaciones pluviales anuales mayores desde 62.5 hasta 4000 mm y temperaturas medias anuales entre 6 y 1,5 °C, lo que propicia el dominio de comunidades de hierbas con inclusión de ciertos arbustos de hojas duras.

### 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 Cusco, Puno y Moquegua. Ocupa una superficie de 17 402.6 km<sup>2</sup>, equivalente al 27.49 %. Se desarrolla sobre terrenos que van desde 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 alto andinas.

El pajonal 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). Los géneros más dominantes son *Festuca*, *Stipa* y *Calamagrostis*. El estrato inferior, conocido como vegetación de piso, está conformado por hierbas que crecen pegadas al suelo, de hasta 10 cm de altura. Los géneros más dominantes son la *Calamagrostis*, *Aciachne*, *Carex*, *Scirpus*, *Geranium*, *Agrostis*, *Muhlenbergia*, *Eleocharis*, etc.

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)

Constituye un ecosistema hidromórfico distribuido a manera de parches en la extensa región altoandina, es decir, encima de los 3800 m s. n. m. hacia el norte y este de la región. Ocupa una superficie de 330.7 km<sup>2</sup>.

Se encuentra ubicado 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 período seco.

La vegetación es densa y compacta, siempre verde, de porte almohadillado o en cojín. Las especies más frecuentes son la "champa", "champa estrella", *Alchemilla pinnata*, *Werneria caespitosa*, *Hypochoeris* sp. *Calamagrostis rigescens*, etc. Este ecosistema frágil viene siendo afectado por las actividades antrópicas como son el sobrepastoreo (pérdida de la calidad del forraje), obras de drenaje para el desarrollo de actividades productivas, construcción de reservorios de agua, construcción de presas, extracción para leña, y otras.

## 2.8.4 Otras formaciones vegetales

### Loma (Lo)

Este tipo de cobertura se localiza en las estribaciones andinas cercanas al mar, en el gran desierto costero de Arequipa. Se extiende en una superficie de 1 715.5 km<sup>2</sup> y representa el 2.71 % del total de la región.

La loma constituye un ecosistema originado por la baja temperatura de las aguas marinas continentales (corriente peruana de Humboldt), que recorre paralelamente a la costa, produciendo capas densas de neblina durante el invierno austral (junio-setiembre), que al ponerse en contacto con los primeros contrafuertes andinos genera un tipo de especial de vegetación que puede empezar casi a la orilla del mar hasta aproximadamente los 1000 m de altitud. Destacan las lomas Pan de Azúcar, Torre Chiquita, Capilla, Guzmán, Corta, de Camaná, las lomas conformadas por los cerros La Muña, Pongo, Mala Hierba, Carmona, Loma Larga, Tarrillo, Corvao, Higerón, La Sábila, Quitasol, Los Arrayanes, Los Lobos, Morro Castillo, La Planchada, Morrengo, El Chamal, Quebrada Verde, Calango, Catarindo y El Sauce, entre otras.

La vegetación se caracteriza por la predominancia de herbáceas estacionales o de vida efímera que tapizan totalmente 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 concentrados, de carácter temporal y perenne. Solo en los sectores donde existe mayor captación de humedad se desarrollan algunas especies arbóreas. Entre las especies de porte arbóreo más comunes que tipifican a esta cobertura, se mencionan las siguientes: mito, tara, palillo. Entre las especies arbustivas más comunes, podemos mencionar las siguientes: *Croton alnifolius*, *Heliotropium arborescens*, *Ophryosporus pubescens*, *Trixis cacalioides*, *Sena cf. Birostris*, *Nicotiana paniculata*, *Solanum montanum*, *Grindelia glutinosa*, etc. Se incluyen en este estrato algunas suculentas como *Haageocereus acranthis*, *Browningia candelaris*, etc.

## 2.8.5 Coberturas antrópicas

### Plantación forestal (PF)

Se incluye las áreas reforestadas ubicadas en tierras con aptitud forestal en la región andina, desde aproximadamente 3000 a 3700 m s. n. m.

Se siembran árboles que conforman una masa boscosa y que tienen un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de laderas, protección de espejos de agua, detener la erosión del suelo y regular el agua de escorrentía. Las especies que se utilizan son los pinos y eucaliptos.

En la región Arequipa, se distribuye este tipo de cobertura de forma muy reducida y en pequeñas áreas, principalmente en el Vivero de Uchumayo, gestionado por la Sociedad Minera Cerro Verde, el cual produce más de 170 mil árboles al año que son usados para acciones de forestación en toda la región Arequipa y en los proyectos que la minería impulsa en sus áreas de influencia, en los distritos de Uchumayo, Yarabamba y La Joya. El otro sector, es la comunidad campesina Ochuro-Tumpuyo-Huanmanmarca (distrito de Andaray), promovido por el Ministerio de Agricultura y Riego a través de SERFOR, quienes registraron 8400 árboles como eucaliptos y pinos en un área de 5 has. Ocupa una superficie que equivale al 0.01 % del área total de la región.

### Agricultura costera y andina (Agri)

Son áreas donde se realiza actividad agropecuaria, actualmente activa y en descanso, ubicada en todos los valles que atraviesan el extenso desierto costero y los que ascienden a la vertiente occidental andina hasta el límite con el pajonal altoandino, así como en los fondos y laderas de los valles interandinos hasta el límite del pajonal altoandino.

En la región Arequipa, las zonas cultivables se encuentran principalmente en las Pampas de Majes y Sigvas (Proyecto Majes-Sigvas). También se encuentran ocupando parte de los abanicos aluviales y terrazas a lo largo de los valles de los ríos Vitor, Chili, Yura, Colca, Sigvas, Majes, Camaná, Ocoña, Caravelí, Atico, Chaparra, Chala, Yauca y Acari. Ocupan una superficie de 1 848.3 km<sup>2</sup>, que representa el 2.92 % del área total de la región.

## 2.8.6 Otras áreas

Comprende aquellas áreas sin cobertura vegetal como son los glaciares, los 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. Dentro de esta zona, se pueden encontrar tres ambientes característicos:

- Permafrost: suelos permanentemente helados, es decir, cementados por hielo, ya que sus espacios intergranulares y discontinuidades están ocupados por agua solidificada.
- Ciclos de helada: o ciclos térmicos con hielo-deshielo son cambios de fase rítmicos que tienen lugar en las aguas superficiales y subsuperficiales del suelo, y dependen de la humedad y las oscilaciones térmicas ambientales.
- Coberturas nivales: áreas con nieve más o menos perenne, que no llegan a formar hielo policristalino capaz de fluir. Son un protector contra los descensos térmicos que pueden afectar al suelo; para otros fenómenos, actúa como fuente de humedad que posibilita el flujo en los materiales o favorece las roturas al aportar agua.

En Arequipa, estas zonas se ubican en el lado noreste de la región, las cuales forman parte de la Cordillera Occidental, como los nevados Tranca, Coropuna, Solimana, Tutynima, Mismi, Ampato, Sabancaya, Hualca Hualca, Chachani y volcán Misti; y los cerros cuyas cimas conforman el límite regional con Apurímac, Cusco, Puno y Moquegua. Entre ellos, se tiene a los cerros Lunco, Calongo, Ocomarca, Calasaya y Chila, entre otros. Ocupa una superficie de 6 230.9 km<sup>2</sup>, equivalente al 9.84 % del área total de la región.

### Glaciario (Gl)

Está conformado por masas de hielo originado mediante la diagénesis o transfiguración de nieve reciente. Este proceso denominado también “metamorfismo de baja temperatura” consiste en una compactación-recristalización, que expulsa el aire intergranular y varía la geometría cristalina. Así, la nieve reciente sufre una notable metamorfosis, que la transforma en nieve compactada, luego a neviza o firn, hasta llegar a hielo glaciario. El tiempo necesario para alcanzar este último estado fluctúa entre uno o varios años, dependiendo del tipo de glaciario, y es muy rápido en aquellos donde abunda fusión-recongelación y muy lento cuando apenas existe ese fenómeno.

Todos estos cambios ocurren en la zona de acumulación, donde se apila la nieve según capas a lo largo del tiempo. Desde esos centros, el hielo inicia un desplazamiento que, a través de la

zona de descarga, le conduce hacia unos bordes o frentes, y allí tiene lugar su desaparición o ablación total.

En Arequipa, estas zonas se ubican muy dispersas en la región, en las cumbres de los nevados Tranca, Coropuna, Solimana, Tutynima, Mismi, Ampato, Sabancaya, Hualca Hualca, Chachani y volcán Misti, entre otros. Ocupa una superficie de 206.6 km<sup>2</sup>.

### Desierto costero (D)

Presenta una gran extensión, y ocupa las zonas de pampa costanera, la Cordillera de la Costa y las primeras estribaciones del flanco oeste de la Cordillera Occidental. La vegetación existente aparece de manera esporádica y en baja densidad. Abarca una superficie de 25 207.2 km<sup>2</sup>, que representa el 39.82 % 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-setiembre) provenientes del mar, las cuales se disipan al chocar contra las primeras elevaciones del contrafuerte occidental, aproximadamente entre los 700 y 1000 m s. n. m., y da origen a la vegetación de lomas. Al margen de las lomas, es común observar, en los años con fuertes neblinas, la presencia de un diminuto y efímero tapiz herbáceo de unos pocos centímetros de altura, que crece sobre la superficie de grandes planicies localizadas en la costa (zonas que carecen de cultivos, o campos sin labrar).

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

Son cuerpos de agua que se encuentran estancados o de movimiento lento, y pueden tener un origen natural o artificial. Se les puede dar diferentes usos recreacionales, agropecuarios, piscícolas, para generación de energía, para abastecimiento de agua y riego. Algunas áreas de esta zona se encuentran ocupadas por obras hidráulicas como presas o reservorios.

En la región Arequipa, se tiene grandes cuerpos de agua que conforman lagunas. Entre estas, se tiene las lagunas Salinas, Machucocha, Pariguana, y Llocococha entre otras y obras mayores de regulación (embalses Aguada Blanca, El Fraile, Chalhuanca y Pillones) y trasvases (El Paño, Bamputaño, Dique de Los Españoles y Canal de derivación Paño-Sumbay). En conjunto, los cuerpos de agua ocupan una superficie de 106.1 km<sup>2</sup>.

### Actividad minera (Am)

El área con actividad minera (terrenos usados para desmontes, tajo abierto, canteras y relave) de las minas Cerro Verde, Orcopampa, Arcata y San Cristóbal, entre otros, ocupa una superficie de 38.4 km<sup>2</sup> del área total de la región.

**Áreas urbanas (Aur)**

También denominada zona urbana, es la porción de territorio donde actualmente se desarrollan las ciudades importantes de la región Arequipa (Arequipa, Camaná, Chala entre otras), e incluye zonas de expansión urbana que aún no están

construidas, potencialmente urbanizables y que hoy son campos que deberían incorporarse a la ciudad sobre la base de un plan previamente elaborado, que establezca las pautas para su desarrollo urbano y prevea la forma en que se le brindarían los servicios necesarios, y de esta manera crear nuevas urbanizaciones habitables planificadas.



# CAPÍTULO III

## CONTEXTO LITOLÓGICO ESTRUCTURAL

### 3.1 GENERALIDADES

En la evaluación y agrupación de las unidades litológicas, se ha usado la información geológica disponible en los boletines de la serie A, números: 2, 3, 5, 14, 19, 20, 21, 23, 24, 29, 30, 34, 37, 40, 41, 42, 46, 50, 51 y 58 de la Carta Geológica Nacional, a escala 1:100 000 (Bellido & Narvaez, 1960; Mendivil & Castillo, 1960; Bellido & Guevara, 1963; Marocco & Del Pino, 1966; García, 1968; Guizado, 1968; Pecho & Morales, 1969; Guevara, 1969; Vargas, 1970; García, 1978; Caldas, 1978; Olchanski, 1980; Pecho, 1983; Dávila, 1988; Dávila, 1991; Palacios *et al.*, 1993; Caldas, 1993; Olchanski & Dávila, 1994; Palacios, 1994 y De la Cruz, 1995); las actualizaciones de la Carta Geológica Nacional, números: 143 y 149 a escala 1:50 000 y 1:100 000 respectivamente (Cerpa, *et al.*, 2011 y Torres *et al.*, 2017); las memorias descriptivas de la actualización de Carta Geológica Nacional, a escala 1:100 000 y 1:50 000 (Sánchez *et al.*, 2000; Lipa *et al.*, 2001; Atencio & Romero, 2000; León & Torres, 2003; Quispesivana & Navarro, 2003; Salas *et al.*, 2003; Martínez & Cervantes, 2003; Valencia & Chacaltana, 2000; Díaz & Milla, 2003 y León *et al.*, 2000); y el estudio de Riesgos geológicos del Perú, Franja No. 1 (Ingemmet, 2000), acompañado de trabajos de revisión en campo, que sirvieron para caracterizar las rocas.

Para la delimitación de las diferentes unidades litológicas, 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 esto, 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.

De acuerdo a 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 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 a 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. Los principales grupos de suelo y rocas se han agrupado en dos grandes unidades de clasificación:

#### 3.2.1 Unidad I: Depósitos inconsolidados

Esta unidad está conformada por depósitos de materiales poco consolidados de edad reciente, de extensión y grosor variables, conformados por materiales de litología heterogénea y heterométrica, constituida por arenas, limos, arcillas, gravas, bolones y cantos, depositados desde el Pleistoceno hasta la actualidad y agrupados por su origen.

En la región Arequipa, se han diferenciado doce tipos de materiales no consolidados, que son producto de la meteorización, erosión, transporte y posterior acumulación, así como de precipitación química. Ocupan el 24.7 % del área total de la región.

Presentan morfologías que van desde planas y plano-onduladas hasta acumulaciones de piedemonte con cierto declive. De acuerdo a su origen, se clasifican en:

#### Depósitos fluviales (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, y estos depósitos quedan expuestos por 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. A menudo, propician la formación de islotes en el cauce del río.

Geomorfológicamente, están asociados principalmente a las llanuras de inundación, y son susceptibles a erosión e inundación fluvial. Abarcan un área de 113.3 km<sup>2</sup> que equivale al 0.2 % del área total de la región (fotografía 3.1).



Fotografía 3.1 Vista de depósitos fluviales en el río Acarí, sector Acarí, con vista hacia Noreste.

### Depósitos aluviales (I-3)

Son depósitos semiconsolidados con cierto grado de consolidación, erosionados por las corrientes actuales. 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 regular a buena selección, y se presentan estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Están ubicados principalmente en las márgenes de ríos y quebradas principales formando llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes a los valles principales y tributarios mayores, utilizadas como terrenos de cultivo.

Estos depósitos están ampliamente distribuidos en la región, y abarcan un área de 10 255.1 km<sup>2</sup> equivalente al 16.3 %. Son susceptibles a flujos de detritos, a la erosión fluvial (socavamiento en el pie de terrazas), y se producen algunos

derrumbes y hasta deslizamientos pequeños en márgenes de ríos y quebradas.

### Depósitos proluviales (I-4)

Conformados por conos y abanicos de diferentes dimensiones en función a su dinámica y capacidad de transporte de ríos o quebradas. Se confunden con las terrazas aluviales o se interdigitan con estas. A diferencia de los depósitos aluviales, estos son mal clasificados; presentan fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.), con relleno fino arenoso-arcilloso depositado en el fondo de valles tributarios y conos deyección en la confluencia con el río. 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 la disposición de material suelto en la cuenca donde se originan (fotografía 3.2).



**Fotografía 3.2** Depósito proluvial en ambas márgenes de la quebrada San Lázaro, Soc. Minera de Responsabilidad Ltda., Ampliación de la Torrentera San Lázaro. Es posible observar la cantidad de grabas y bloques que acarreó el evento, con vista al Noroeste.

### Depósito coluvio-deluvial (I-5)

Esta subunidad agrupa depósitos de piedemonte de diferente origen (gravitacional y fluvio-gravitacional), que se acumulan en vertientes o márgenes de los valles como también en laderas superiores. En muchos casos, son resultado de una mezcla de ambos, y constituyen escombros de laderas. Ocupa el 0.3 % del área total de la región.

Se les reconoce por su geometría, granulometría y deben su origen a eventos de grandes deslizamientos, derrumbes, avalanchas y caída de rocas y/o movimientos complejos, etc., y su fuente de origen es cercana. Se componen de material grueso, homogéneo, heterométrico, mezclados con materiales finos en menor proporción. Son poco cohesivos, sueltos a muy sueltos; pero pueden presentar algo de consolidación cuando son más antiguos. Algunos, por su distribución caótica, forman taludes de escombros o escombreras (caídas de rocas), en las laderas de valle o pie de barrancos escarpados, a veces dispersos o con acumulaciones importantes (grandes derrumbes o avalanchas de rocas).

Se incluye en este grupo las acumulaciones de vertiente asociadas a flujos pequeños no canalizados, y también a movimientos complejos (derrumbe-flujos o deslizamiento-flujos), que originan pequeños abanicos en su pie. Se los encuentra al

pie de laderas y formando pequeños abanicos en su confluencia con valles principales.

Son susceptibles a la erosión de laderas, remoción y generación de flujos de detritos o reactivaciones cuando se altera la estabilidad de sus taludes naturales. Su distribución mayor se encuentra en el valle del Colca, así como en grandes depósitos de remoción en Chuquibamba, Toro Muerto y algunos depósitos grandes en rocas volcánicas en las cercanías de Orcopampa.

### Depósito coluvial (I-6)

Los depósitos coluviales están constituidos por escombreras con acumulaciones en la base de las laderas de los cerros compuestos de bloques angulosos con bastante matriz arenolimsa generados por desprendimientos, poco cohesivos, sueltos a muy sueltos, pero pueden presentarse algo compactos cuando son más antiguos. Con bloques de hasta más de 2 m de sección, están acumulados en forma muy caótica, y originan en conjunto una topografía muy irregular. Abarcan el 0.2 % del área de la región.

Son susceptibles a derrumbes, caída de rocas; y cuando es el resultado de antiguos movimientos en masa, son susceptibles a reactivaciones al realizar modificaciones en sus taludes naturales (fotografía 3.3).





**Fotografía 3.3** Depósitos coluviales en talud superior de la carretera Atico-Caravelí desde el km 40+000 al km 43+000 aproximadamente, en laderas del cerro Pan de Azúcar en la margen derecha del río Atico.

#### **Depósito lacustrino/bofedal (I-7)**

Está constituido de sedimentos muy finos arcillo-limosos, a veces con intercalaciones de lentes arena-gravosos, en algunos casos con lentes orgánicos, y está estratificado en capas muy finas

denominadas "varves". También en esta categoría se consideran los bofedales, que se caracterizan por estar conformados de arcillas y turbas, saturadas de agua (fotografía 3.4). Posee el 0.1 % del área total de la región. En estos tipos de depósitos se puede presentar reptación.



**Fotografía 3.4** Depósito bofedal en el sector Pampa Calera, en la margen derecha del río Apurímac, con vista al Noroeste.

### Depósito glaciar/fluvio-glaciar (I-8)

Está constituido por bloques, gravas, arenas y limos en matriz areno-limosa pobremente clasificados, a veces con leve pseudoestratificación y lentes como testigo de fusiones estacionales durante el período glaciar. Estos depósitos se encuentran reabajados y expuestos en el fondo de valles amplios y márgenes, y son producto de la última glaciación y se ubican sobre los 4200 m s. n. m., desde la parte central hacia el norte de la región Arequipa, en la que ocupan el 4.4 % (2 775.1 km<sup>2</sup>) del área total de la región. De acuerdo al lugar donde se han depositado, se clasifican como morrenas de fondo, laterales, centrales y terminales. En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a flujos de detritos y derrumbes.

### Depósito volcánico y volcanoclástico (I-9)

Acumulación de caída de cenizas, lapillis y tephros volcánicas, asociados a volcanes activos con actividad en el Cuaternario. Ocupa el 1.2 % del área de la región.

Los campos de cenizas se caracterizan por ser depósitos sueltos, de muy fácil remoción. Los flujos piroclásticos, que han rellenado superficies preexistentes conformadas por diferente granulometría, llegan a tener tamaños de bloques y presentan una estructura de clasto soportado. Estos depósitos se encuentran en las inmediaciones de los volcanes Sabancaya, Misti, Chachani y Coropuna (fotografía 3.5). Se pueden presentar procesos de deslizamientos, derrumbes, lahares y erosiones de ladera.



Fotografía 3.5 Depósitos de flujos piroclásticos y ceniza del volcán Chachani en ambas márgenes de la quebrada Gamarra, sector AA.HH. Los Jardines de Chachani a inmediaciones del aeropuerto Rodríguez Ballón.

### Depósito químico (I-11)

Está constituido por travertinos y sinters asociados a aguas termales. Su distribución se restringe a los alrededores de Huambo y corresponden a depósitos de caliche. Suelen presentarse en la zona, por disolución de algunas grutas y cavernas, así como también por procesos de hundimientos locales, que han afectado terrenos de cultivo. Ocupa el 6.5 km<sup>2</sup> del área total de la región.

### Depósito eólico (I-12)

Se trata de acumulaciones de arena depositada 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

tiene en las pampas La Joya, del Tesoro, Salinillas, Infiernillo y San José.

Se ubican en los desiertos y playas, están en casi toda la faja costera de la región Arequipa, y ocupan 1053.8 km<sup>2</sup>. En el área, existe una serie de depósitos eólicos, los más antiguos conforman extensos mantos de arena de escaso espesor que no pasan de un metro de profundidad en las áreas de mayor acumulación. En la actualidad, son estáticos o con poca movilidad, ocupan las partes planas, y han cubierto ligeramente algunas lomadas y colinas como Cerro Arena, Los Medanos, Cerro Arena, Cerro de Arena, Blanco, Cachiloma, Quitaloma, Jochapampa, Azul y las pampas Huaranguillo, El Toro, Mendoza, Yauca, Toromuerto, Algamasa, Totoral, Colorada, Romerillo y del Inca, entre otros (fotografía 3.6).





**Fotografía 3.6** Depósito de arenas poco consolidadas, en el km 645+000 de la carretera Panamericana Sur, sector Playa Arenosa con vista hacia el Norte.

#### **Depósito marino (I-13)**

Depósitos de gravas con matriz areno limosa, que forma terrazas o tablazos. Se incluye, además, depósitos de barras de playa, playas de arenas o gravas, cordones litorales y tómbolos. En el borde del litoral de la región Arequipa, existen numerosas playas

entre los sectores El Horno-Las Cuevas, Tres Palos-De Arena, Colorada-Chala, Yauca-Las Peñuelas-Mansa, Punta Blanca-Acarí, en las que se observa pequeñas terrazas escalonadas que alcanzan hasta 25 m sobre el nivel medio del mar (fotografía 3.7). Estos depósitos abarcan un área total de 182.8 km<sup>2</sup>.



**Fotografía 3.7** Depósito marino constituido de capas de arenas con lentes de conchuelas en el sector Playa El Horno, Quilca, con vista hacia el Norte.

### Depósitos antropógenos (I-14)

Están constituidos por depósitos generados por el hombre sin intervención de procesos de transformación industrial: ruinas desechos, coprolitos; construcciones civiles (terraplenes, diques de presas, enrocados, espigones, etc.).

En el caso de la región Arequipa, entre los depósitos generados por el hombre mediante procesos de transformación industrial, se tiene depósitos de relaves, de desecho industrial, escorias, canchas de minerales, etc., como el caso de las relaveras de Cerro Verde. Ocupan el 0.1 % del área total de la región.

### 3.2.2 Substrato rocoso

Estas unidades han sido divididas de tal forma que las diferentes litologías se agrupan según su naturaleza, entre las cuales se diferencian en la región las siguientes: 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.

#### a) Unidad II: Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran en la región Arequipa tienen una notable presencia, y ocupan el 25,8 % del área total de la región. Se ubican principalmente en la zona de la cordillera de la costa, así como stocks y cuerpos subvolcánicos dispersos en la región. En el Batolito de la costa, en el segmento Arequipa, se han diferenciado cinco grandes superunidades que son Patap, Pampahuasi, Incahuasi, Linga y Tiabaya (León & Torres, 2000). Se clasificaron en cuatro subunidades, de acuerdo a sus características litológicas importantes:

#### Granitos y monzogranitos (II-1)

Son afloramientos de topografía moderada a fuerte, de la Super Unidad San Juan, Tiabaya, Batolito de la Costa, Batolito Atico-Camaná, que afloran en las partes altas de la cordillera de la Costa. Los granitos tienen una distribución más amplia entre los cuadrángulos de Mollendo y Camaná, y pueden ser observados en las playas Hermosa y Puyenca, además de Pampa de Bonarillos a lo largo de la carretera Panamericana Sur, desde Atico hasta Chala. Estos intrusivos cortan a los gneis y migmatitas del Complejo Basal de la Costa. Los cuerpos del stock San Juan están constituidos principalmente por granitos, y afloran como un cuerpo granítico en la parte central del cuadrángulo de Chaparra. Este cuerpo corta las rocas volcano-clásticas del miembro basal de la Formación Río Grande y es cubierto por tobas de la Caldera Parinacochas, en los cuadrángulos de Huambo y Aplao, en los tramos encañonados de los ríos colca y Chahuaja (Zavala *et al.*, inédito).

Estas rocas se presentan intemperizadas fácilmente disgregables y fracturadas. Esta subunidad ocupa el 5.0 % de la superficie total de la región.

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

#### Granodioritas (II-2)

Las intrusiones compuestas en su mayoría por granodioritas y dioritas de la S. U. Pampahuasi, Linga, Incahuasi, Tiabaya, el Batolito Atico-Camaná (Cobbing & Pitcher, 1983) son esporádicas y se localizan principalmente al sur de la ciudad de Arequipa; e intruyen a tonalitas del Cretácico inferior y rocas volcánicas de la Formación Río Grande. También se exponen en la margen izquierda del río Churunga en forma de una delgada faja orientada de este a oeste. Afloran al oeste de la Pampa de Sondor y al sur de pampa del Toro (fotografía 3.8).

En algunos sectores, presentan intenso fracturamiento. Generalmente, están cubiertas por depósitos eólicos muy superficiales.

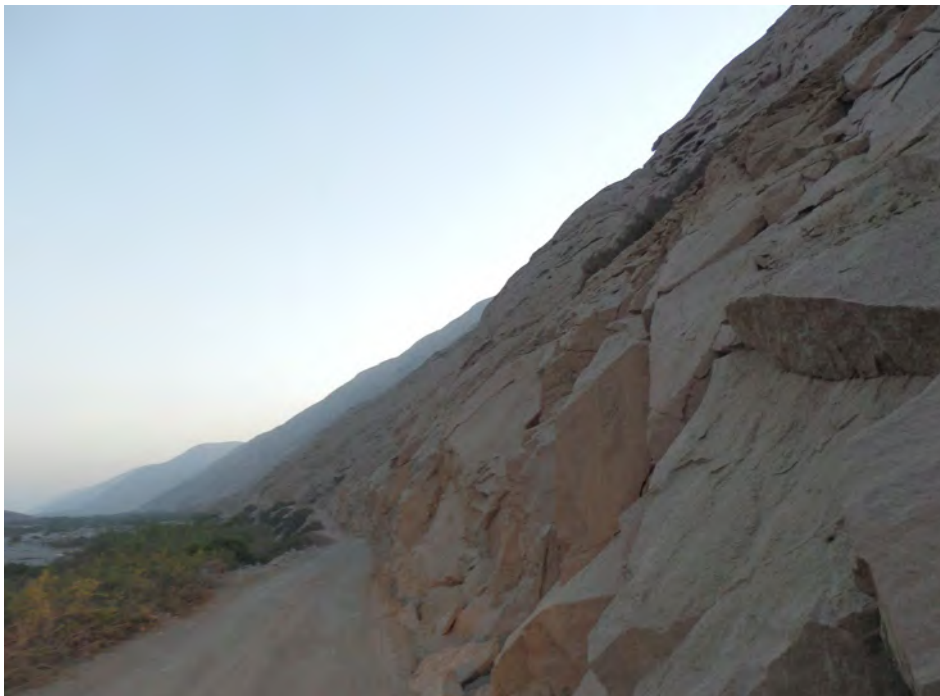
Con topografía moderada, se asocian a caída de rocas, derrumbes, erosión de laderas y flujo de detritos.

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

Esta conformación está constituida principalmente por dioritas, de mayor distribución en la región Arequipa de la S.U. Linga, Ilo Cataupicho. Aflora al noroeste del cuadrángulo de Aplao, al sur del cuadrángulo de Arequipa en ambas márgenes del río Vitor, al suroeste del cuadrángulo Characato y al noroeste del cuadrángulo de Puquina.

Las dioritas del Batolito de Atico están más restringidas y solo se les ha observado en los cuadrángulos de Ocoña (río Ocoña) y Atico (cercano al cerro Las Trancas). Las dioritas son de color oscuro de grano medio y de aspecto bandeado (León & Torres, 2000), mientras que los afloramientos de la S.U. de Tiabaya presentan una gran variedad litológica, de dioritas a granitos que cubren áreas pequeñas que en su conjunto no sobrepasan el 30 % del total. Afloran a manera de pequeños *stocks* en el límite NE de la hoja de Chaparra, cubierta por ignimbritas de la Caldera Parinacochas. También se encuentran cuarzodioritas, gabrodioritas, gabros y dioritas de la S.U. Chala en las inmediaciones de la zona de Calpa, mientras que la zona de Huanu Huanu está compuesta por dioritas que afloran a unos 8 km al sur de la mina Colibrí y en el extremo NO del cuadrángulo, al norte de Huanu Huanu. Sus afloramientos se presentan como cuerpos elongados de dirección E-O, en ambos casos controlados por fallas de la misma orientación.





Fotografía 3.8 Afloramiento de granodiorita de grano grueso de la S.U. Tiabaya en la margen izquierda del río Acarí, laderas del cerro Cuesta Huarato.

Ocupan el 18.4 % del área total de la región concerniente a 11 631.2 km<sup>2</sup>. 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, hipabisales (II-4)**

Constituyen intrusiones menores e hipabisales de pequeñas dimensiones constituidas principalmente por diques y pequeños stocks de naturaleza subvolcánica de edad más reciente que afloran de manera aislada y dispersa. Están representados por una serie de diques de diferentes dimensiones que van desde algunos decímetros hasta algunas decenas de metros de ancho y de unos pocos metros a kilómetros de longitud, y se propagan en forma individual a manera de enjambres concentrados en ciertas áreas como los que afloran en la parte baja del cerro Chillihuay. Estos cuerpos abarcan el 1.5 % (919.5 km<sup>2</sup>) del área de la región.

#### **b) Unidad III: Rocas volcánicas**

Las rocas de esta unidad abarcan el 21.2 % y conforman un gran porcentaje del área total de la región. En esta unidad, se exponen rocas del tipo volcánico que se ha subdividido en tres grupos:

#### **Rocas piroclásticas (III-1)**

Se presentan en gran parte de la región Arequipa, y ocupan un área de 11 942.6 km<sup>2</sup>, equivalente al 18.9 % del área total de la región. Están constituidas por tobas lapillis, riolíticas, líticas soldadas de las formaciones Añashuayco, Sencca, Huaylillas, Capillune, Alpabamba, Sillapaca, Grupo Maure y Casma. Presentan, además, secuencias tobáceas diferenciadas de algunos estratovolcanes, entre los que sobresalen los complejos volcánicos de Huarancante, Las Minas, Caldera Caylloma, Ampato, Sabancaya, Mismi y Jañuma, entre otros (fotografías 3.9 y 3.10). Muchas de estas unidades presentan estructuras en fiamme de pómez aplastadas y alteradas; y debido a su dureza, forman farallones abruptos y extensas plataformas cubiertas por cenizas blancas. También se exponen depósitos de caída de tefras, brechas de avalanchas, lahares y cenizas que corresponden a los complejos volcánicos Ancasi, Misti y Pichu Pichu, entre otros. Morfológicamente, constituyen montañas de fuerte pendiente en alturas que van de los 3000 a 6288 m s. n. m.

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 3.9 Afloramiento de ignimbritas de la Formación Añashuayco en la cantera Cañaguaro, margen derecha del río Chili, distrito Cerro Colorado (tomada del Google Earth).



Fotografía 3.10 Afloramiento de ignimbritas soldadas con presencia de "fiammes" alineados en forma horizontal de la Formación Añashuayco en el sector Charcani Chico, margen izquierda del río Chili, distrito de Cayma.

### **Rocas piroclásticas y lavas (III-2)**

Este subgrupo está constituido por la intercalación de flujos de lavas, brechas de flujo, piroclásticos tobáceos y está representado por secuencias de las formaciones Huaracane, Orcopampa (Tacaza), Grupo Toquepala, secuencias de los estrato-volcanes Chucca, Hualca Hualca, Ampato y Pichu Pichu. Sus afloramientos se encuentran principalmente en el cuadrángulo de Chivay, Orcopampa, Characato. Se incluyen,

además, los tufos piroclásticos de la unidad Añashuayco al noroeste de la ciudad de Arequipa y los flujos de bloques y cenizas del volcánico Sillapaca al norte del cuadrángulo de Callalli. Ocupa el 0.5 % 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)

Esta subunidad ocupa 1091.9 km<sup>2</sup>, el 1.7 % del área de la región Arequipa, y está representada por las formaciones Sillapaca, Ichocollo, Grupo Barroso, Grupo Colquerani y secuencias de los Complejos volcánicos Bongarame (domos dacíticos), estratovolcán Misti, Condori, Palca, Hualca Hualca, Ancasi, Jello Jello y Ampato.

Corresponden a las lavas andesítico-basálticas del estrato volcánico Colquerani. Se distribuyen ampliamente en el cerro Hualcollani al sureste del cuadrángulo de Chivay; también en el cerro Banderani y Ancasi al suroeste del cuadrángulo Callalli y asimismo en el sector sur de la zona de estudio dentro de los cuadrángulos Ichuña y Lagunillas. Los materiales

del Grupo Barroso, formaciones Sillapaca e Ichocollo, están conformados por lavas de composición andesíticas, dacíticas y traquiandesíticas, expuestas en los cuadrángulos de Chivay, Cailloma, Orcopampa y Callalli, principalmente. Comprenden esta unidad secuencias lávicas andesíticas, andesíticas porfíricas, traquiandesíticas porfíricas y domos-lavas porfíricas del Grupo Barroso de los complejos volcánicos Mismi, Hualca Hualca, Coropuna, Huajraire, Huarancante, Chila, Jañuma, Caldera Caylloma (domos riolíticos), lavas andesíticas y traquibasálticas de la Formación Ichocollo, y andesitas del miembro Aicaje (cuadrángulo de Orcopampa).

En los frentes de lava y por su fracturamiento, son propensas a caídas de rocas, derrumbes, erosiones en cárcavas, flujos de detritos y deslizamientos (fotografía 3.11).



**Fotografía 3.11** Derrames andesíticos de la Formación Copara, en talud superior de la carretera Yauca-Jaqui en laderas del cerro Mendoza, con vista al Noroeste.

### c) Unidad IV: Rocas volcánico-sedimentarias

Constituyen una extensión de 7.8 % del área de la región. En esta unidad, se ha agrupado a las secuencias de unidades sedimentarias clásticas con intercalaciones de secuencias volcánicas (tobas y lavas). Esta unidad se limita a dos subunidades:

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

Estos afloramientos se encuentran dispersos regularmente en la región y con mejor exposición en el cuadrángulo Condoroma,

Orcopampa, Cotahuasi, Chivay, Chala y al sur de la región. Entre estos afloramientos, destaca la unidad de areniscas tobáceas, los conglomerados y los volcánicos interestratificados y brechas. Forman parte de esta unidad las formaciones Pichu (areniscas tobáceas y conglomerados), Capillune en el cuadrángulo de Callalli (limolitas, vulcarenitas y tobas retrabajadas), Maure (Limoarcillitas, calizas, vulcarenitas y tobas retrabajadas de coloración gris verdosa y beige en estratos delgados a laminares, niveles de tobas y lapillis), Orcopampa (tobas intercaladas con conglomerados), Pusa (limolitas y sedimentos volcanoclásticos) y la Formación Colquerani en el cuadrángulo Lagunillas (capas



volcano- sedimentarias, tobas de cenizas gruesas intercaladas con material volcánico). Asimismo, se presentan derrames andesíticos y dacíticos con intercalaciones de brechas, lentes de conglomerados y escasos sedimentos (areniscas con intercalaciones de lutitas y calizas marmolizadas) de la Formación Matalaque. Abarcan un área de 4912.5 km<sup>2</sup> (7.8 %).

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

Esta subunidad está representada principalmente por el Volcánico sedimentario Pausa (areniscas tobáceas con niveles de conglomerado, bombas de andesita, pómez, lapilli) y secuencias del Grupo Tacaza en el cuadrángulo de Arequipa (brechas lavas hidrotermalizadas, flujos de barro). Ocupa el 0.1 % del área de la región Arequipa. Debido a su morfología, esta unidad

#### **d) Unidad V: Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias mantienen una distribución y control estructural, y se encuentran en toda la parte central del flanco oeste y norte de la región. Se presentan estructuralmente plegadas, falladas e imbricadas, y ocupan un importante porcentaje en la región (15.1 %). Tomando en cuenta la litología predominante de cada una de ellas, esta unidad ha sido dividida en siete subunidades:

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

Sus afloramientos son muy restringidos, y están constituidos por calizas, margas con intercalaciones de areniscas y nódulos de chert. En algunas partes, presentan calizas brechoides, así como presentan calizas grises azuladas con bastante fauna marina con intercalaciones constantes de lutitas.

Esta subunidad está conformada por calizas finamente estratificadas, calizas intemperizadas, margas con horizontes bien marcados de caliza nodular, areniscas y limoarcillitas de ambiente turbidítico con nódulos fosilíferos de la Formación Socosani; calizas grises y cremas bien estratificadas, con abundante contenido fosilífero. Presenta chert y niveles esporádicos de lutitas de la Formación Arcurquina; lutitas intercaladas con calizas y areniscas; calizas y calcilutitas; calizas nodulares con lutitas de la Formación Gramadal y una pequeña porción de calizas bioturbadas, areniscas laminadas y niveles de sill adensíticos foliados del Grupo Tarma en el cuadrángulo de Atico. Ocupa 847.4 km<sup>2</sup> equivalente al 1.3 % del área de la región.

##### **Areniscas, lutitas y limoarcillitas (V-2)**

Esta subunidad aflora en el sector sureste, central y noroeste de la región, y abarca 2.2 % del total, equivalente a 1 365.8 km<sup>2</sup>. Está constituida mayoritariamente por areniscas cuarzosas blancas, en estratos medianos a gruesos, con estratificación cruzada intercalada con lutitas o limolitas de la Formación Hualhuani, y areniscas blancas a grises de la Formación Labra con algunas intercalaciones de lutitas negras y calizas. También se destacan intercalaciones de areniscas grises, verdes y pardas intercaladas con lutitas negras, a veces laminadas, de la Formación Puente; lutitas grises con esporádicas intercalaciones de areniscas; lutitas negras carbonosas e intercalaciones de calcarenitas laminares con nódulos de limolitas o arcillitas gris oscuras con niveles delgados de areniscas de la Formación Cachíos; areniscas feldespáticas gris oscura de grano fino con intercalaciones de limoarcillitas oscuras de la Formación Chocate nivel sedimentario en las inmediaciones de la quebrada Linga. Se expone en el cuadrángulo de Huambo, Callalli, Chivay, Aplao, Chuquibamba, Arequipa, Characato y Puquina.

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

##### **Lodolitas, limolitas, limoarcillitas y lutitas (V-3)**

Esta pequeña subunidad aflora desde la quebrada Ojule al sur de Chilcane al noroeste de Taya. Estos depósitos son yesíferos, y se presenta discontinuos y con volúmenes irregulares a largo de la estructura. El yeso es de color blanco con tintes rojizos y verdosos, con intercalación de algunas capas delgadas de lodolita roja y lutitas verdes. Presenta un relieve suave debido a su poca resistencia a los agentes erosivos en contraste con las rocas que lo albergan. Ocupa el 0.1 % del área total.

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

Esta subunidad aflora extensamente en la región Arequipa, y abarca el 11.0 % del área total (6933.1 km<sup>2</sup>). Está constituida por secuencias de las formaciones Moquegua, Huanca, Millo, Murco, Ashua, Camaná, y escasos afloramientos del Grupo Puno y Cabanillas. Estas secuencias se exponen principalmente en la parte baja y media de las cuencas de la vertiente del Pacífico (cuadrángulos de Punta de Bombón, Aplao, Arequipa, Camaná, La Yesera, Mollendo, La Joya, Ocoña, Atico, Chala, Yauca, Caravelí, Chuquibamba y Huambo), y una reducida porción en la divisoria con la vertiente del Titicaca (cuadrángulos

de Lagunillas y Condoroma). Su litología dominante agrupa intercalaciones de conglomerados de areniscas tobáceas, areniscas limosas, limolitas grises, niveles tobáceos retrabajados de la Formación Moquegua en ambas márgenes del río Sigwas y Vitor; conglomerados, areniscas y limolitas poco consolidadas con intercalaciones de tobas retrabajadas de la Formación Millo que se exponen en ambas márgenes del río Vitor y la parte alta del río Sigwas, conglomerados de la Formación Huanca, conglomerados polimícticos subangulosos, areniscas rojas, areniscas conglomerádicas, vulcarenitas y tobas, niveles de limoarcillitas del Grupo. Puno, conglomerados, areniscas brunáceas y limoarcillitas gris verdosas del Grupo Cabanillas, areniscas de grano medio, y arcillas. En el tope de la sección, se distinguen bancos de conchas trituradas en matriz arenosa medianamente compactadas; lutitas de colores rojas, verdes y púrpura; areniscas; lutitas grises con intercalación de conglomerados y areniscas de grano grueso de la Formación Murco; areniscas rojas y gris claras con canales de microconglomerados intercaladas con lutitas rojas y veredes; calizas fosilíferas y yesos de la Formación Ashua.

Por su composición litológica y su morfología escarpada, hay susceptibilidad de caída de rocas, derrumbes, flujos de detritos, deslizamientos y erosión de laderas.

#### **Areniscas cuarzosas (V-6)**

Esta secuencia clástica se encuentra representada por areniscas cuarzosas blancas con laminación oblicua y paralela de grano fino a grueso, intercalada con lutitas gruesas de la Formación Hualhuani. Estas areniscas se exponen principalmente en los cuadrángulos de Coracora, Chuquibamba, Orcopampa, Chivay, Aplao, Huambo, Cotahuasi, Caylloma. Ocupa 388.9 km<sup>2</sup> (0.6 %) 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 una sola unidad: Gneis y esquistos que corresponden a rocas del Complejo Basal de la Costa, y ocupan un porcentaje de 5.4 % en la región.

#### **Pizarras y esquistos (VI-1)**

Corresponden a intercalación de pizarras y esquistos (Paleozoico indiviso) expuestos en el cuadrángulo de Chuquibamba y la parte suroeste del cuadrángulo de Huambo, en ambas márgenes del río Majes. Estructuralmente, se presentan en forma de bloques fallados de dirección NO-SE. También se encuentran afloramientos en el límite con la región Ica, constituidos por esquistos arenosos, filitas y esquistos sericíticos, y pueden presentar también calizas y mármoles dolomíticos de la Formación San Juan. Ocupan 62.7 km<sup>2</sup> del área total.

#### **Gneis (VI-2)**

Corresponde al Complejo Basal de la Costa que forma un macizo orientado de NO a SE. Este complejo abarca una extensión a manera de una faja sin solución de continuidad, muy próxima y casi paralela al litoral. Está constituido fundamentalmente por gneis, que se halla en el lado oriental de la Cordillera de la Costa; y por tanto, su contacto sigue una orientación similar al eje principal de dicha cordillera (desde el río Tambo hasta la quebrada Los Médanos y desde el río Acarí hasta el límite con la región Ica).

El gneis también aflora en el cañón del río Majes/Camaná, entre los cuadrantes de Chuquibamba y Huambo, y una porción importante en el cañón del Colca (cuadrante noreste de la hoja de Huambo). Esta unidad se compone por facies de gneis bandeados, anfibolitas, facies de gneis/granulitas, que van desde ortogénesis, migmatitas y esquistos, caracterizados por el foliado y el bandedado en las rocas. El gneis se comporta como roca compacta, con estructuras ondeadas bien definidas y facies de granulitas. Ocupa el 5.3 % (3 350.2 km<sup>2</sup>) del área de la región.

#### **Mármol y cuarcita (VI-4)**

Constituida de calizas silicificadas, mármoles dolomíticos, cuarcitas gris oscuros, hornfels de la Formación Marcona, se expone en el cuadrángulo de Acarí en las pampas Totoral, Jahuay y Hoyada Peña Colorada a inmediaciones del puente Jahuay. Abarca 24.4 km<sup>2</sup> de la superficie de la región.

## CAPITULO 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 por el estudio de los valles fluviales (a nivel nacional) y recientemente por el actual cambio climático que afecta a la Tierra. Los mapas geomorfológicos como herramientas para el análisis de los peligros naturales se consideran indispensables al estar relacionados con procesos geodinámicos.

Para interpretar la geomorfología, es necesario conocer previamente el clima (ver 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.

La región y en general la vertiente pacífica sur muestran tres unidades fisiográficas principales: una zona de altiplano, un sector de rampa, desnivel o vertiente y una zona costera. Un fuerte desnivel en menos de 150 km de longitud separa la zona del altiplano y la costa, y un fuerte encajonamiento de la red fluvial forma zonas encañonadas (cañón del Colca y otros tramos menores en el valle), que varía entre 1 000 y 5 000 m de desnivel, a causa del intenso levantamiento tectónico de los Andes (Zavala *et al.*, 2014).

#### 4.2 PENDIENTE DE LOS TERRENOS

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determina 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, ya 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 de la región Arequipa fue elaborado sobre la base de los planos topográficos del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), a escala 1:100,000, con espaciamiento de curvas de nivel cada 50 m. Estos planos fueron procesados con ayuda del software ArcGis 10.3, y se obtuvo para ello un modelo de elevación digital y 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 (como se muestra en el 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. Están asociados a unidades como piedemontes aluviales, terrazas aluviales, bofedales, mesetas, superficies con flujos piroclásticos y valles fluviales o fluvio-glaciares entre otras.

Comprende el 11.65 % del área total de la región. Los principales ejemplares de terrenos con pendiente muy baja se encuentran al sur de la región, en las pampas Catarina, de Huagri, Cenizal Joya, Repartición y Colorada, en la provincia de Islay; al noroeste de la región, las pampas El Toro, Toromuerto, Pedregal, Bella Unión, Totoral, Algamasa, Mata Caballo, Colorada y Jahuay en la provincia de Caravelí.

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 a amplios terrenos ligeramente inclinados y ondulados con baja pendiente. Entre ellos, se encuentran las unidades de piedemonte (aluvial y aluvio-torrencial), abanicos, terrazas aluviales, altiplanicie sedimentaria, conos deyección, valles fluviales o glaciares y numerosas laderas de lomadas entre otras. Se localizan 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 deposición de material acarreado por los diversos agentes dinámicos.

Sobre estos terrenos se han desarrollado principales poblaciones urbanas como Arequipa, Camaná, Pedregal; al sur de la región en las pampas Salinas, Pampa Colorado, Pampa Huanucollo en la provincia de Islay; las pampas Siguan, Blanca, en la provincia de Arequipa; las pampas Negromuerto, Majes, en la provincia de Caylloma. En la parte noroccidental de la región, al norte de la región, se encuentran las pampas Tolapampa, Chocopampa, Exapalca, Tequeteque, Yuracc Mocco, Huarahuma, Negra Apacheta y Pucapampa en la provincia de Caylloma, entre otros ejemplos.

En estos terrenos, también se desarrollan ampliamente las zonas agrícolas. Comprenden el 25.08 % del área total y están asociadas a la ocurrencia de arenamiento, erosión fluvial e inundaciones fluviales y pluviales.

#### **Pendiente media (5° - 15°)**

Comprende el 29.21 % del área total y presenta la mayor extensión en la región. La 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. Dentro de este rango de pendiente, se encuentran las laderas de los cerros Condori, Huanatira, Sallaco en la provincia de Caylloma, límite con la región Puno; los cerros Jatumpata, Angostura, Oqueloma, Huayrahuiri, Taco Orjo, Querque Orjo, Ajosunto en la provincia de La Unión y en laderas medias del volcán Misti, entre otros.

Las pendientes de este tipo están sujetas a reptación, deslizamientos, derrumbes, erosión de laderas y movimientos complejos.

#### **Pendiente fuerte (15° - 25°)**

Los terrenos con pendiente fuerte cubren el 18.62 % del área total de la región. Ocupan una amplia distribución y están

distribuidos indistintamente en las laderas de la Cordillera Occidental, concentrados en los flancos superiores de los valles de los ríos Camaná, Acarí, entre otros, y las laderas de los relieves de montañas y colinas de la Cordillera de la Costa, así como en alineamientos en valles tributarios, así como conformando las laderas superiores y cima de los cerros. En este rango de pendiente, se tiene ejemplos en las laderas de los cerros Lagunillas, Frente Atajo, Lechuceros, Cerro Covao, Los Médanos de Tanaca en la provincia Caravelí; los cerros Huacciray, y Pascana en la provincia de Arequipa.

Estos terrenos con pendiente fuerte son susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos y movimientos complejos.

#### **Pendiente muy fuerte (25° - 45°)**

Son terrenos con muy fuerte inclinación y comprenden el 15.08 % del área total. Presentan regular extensión en la región, distribuidos principalmente en las laderas de montañas de la Cordillera Occidental, cuencas medias y altas de la región Arequipa. Son vertientes dinámicas, principalmente por la acción gravitacional, la erosión y litología. Están concentrados mayormente en los flancos de valles y quebradas. Dentro de este rango de pendiente, se encuentran los flancos medios y altos de los ríos Acarí, Yauca, Chaparra y Atico y a lo largo de los flancos de los ríos Ocoña, Majes, Siguan, Vítor, Tambo, Colca y Cotahuasi, así como en la parte alta del volcán Misti, Chachani y Sabancaya, entre otros.

Los deslizamientos, movimientos complejos, avalancha de rocas, huaicos y erosión de laderas ocurren en terrenos con pendiente muy fuerte.

#### **Pendiente abrupta (> 45°)**

Estas conformaciones presentan una distribución muy reducida, equivalente al 0.36 % del área total. Se encuentran localizadas indistintamente en zonas escarpadas, barrancos, desfiladeros, escarpas de deslizamientos y valles encañonados, ubicados principalmente en las cabeceras de los ríos Ocoña, Majes, Cañón del Colca y Cotahuasi. Se hallan con menor importancia en la parte baja, como es el caso de los acantilados localizados en el borde litoral 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 Arequipa son muy importantes para el análisis de la susceptibilidad.

Todas estas geoformas diferenciadas en la región se han producido por agentes tectónicos, erosionales y depositacionales, ocurridos a lo largo de su historia geológica. El origen de estos



ambientes geomorfológicos está muy ligado al proceso del levantamiento andino (profundización y ensanchamiento de valles), asociado a eventos de glaciación y deglaciación, procesos de movimientos en masa, etc.

Para la elaboración del mapa geomorfológico de la región Arequipa (mapa 4), además de la información topográfica (MDT) se utilizó la información litológica de la Carta Geológica Nacional, donde se ha 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 recopilados en campo. Las unidades geomorfológicas agrupadas según su origen son:

#### 4.3.1 Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales. Estos procesos conducen a su modificación parcial o total a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes.

Los paisajes morfológicos resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas, y ocupan el 49,36 % del área total de la región. Dentro de este grupo, se tiene las siguientes unidades:

##### Unidad de montañas

Las montañas presentan mayor distribución en la región Arequipa (19.82 %) y se considera dentro de esta unidad a las geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local. Se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.). 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 estado de meteorización superficial y de erosión de moderado a fuerte. Dentro de esta unidad se tiene las siguientes subunidades:

##### Relieve montañoso en roca intrusiva (RM-ri)

Presenta cumbres subredondeadas que alcanzan los 2700 y 5050 m s. n. m., modeladas en rocas intrusivas conformadas principalmente por dioritas, granodioritas, tonalitas, monzonitas y granitos. Estas litologías corresponden a super unidades Ilo, Linga, Tiabaya, Incahuasi, entre otros intrusivos. En zonas húmedas, se encuentran muy erosionadas y meteorizadas debido a su baja resistencia, lo que origina suelos arenosos y arcillosos. Geodinámicamente, se asocian a procesos de erosión de laderas, derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos.

Abarca el 5,5 % del área total, y se distribuye regularmente en los cerros Tayapampa, San Andrés, Tambojasa, Puca Corral, San Antonio en la margen derecha del río Chaparra, en los cerros Mochadero Chico, Loma San Andrés, Ccoremmas, el Faro de la Cruz, Redondo en el límite con la provincia de Parinacochas (Ayacucho). En la provincia de Caravelí, se puede observar referencialmente a inmediaciones de los poblados Jaqui, Quicacha, Chaparra, Chichas entre otros. En la cuenca media del río Ocoña (en ambas márgenes); se presenta en los cerros Huasaca, Atcate, El Privado, Antajasa, Sunca, El Rey, Tiquimbro, Rico, Negro, La Yesera, el Encanto, entre otros. También se presenta en los distritos de Andaray, Yanaquihua, Chichas, Tauria, Río Grande de las provincias La Unión y Condesuyos. Se emplaza con dirección NO-SE en los cerros Jarán, Alturas Cisara, Cardocasa y Satranal en los distritos de Majes, Lluta (Caylloma), Huancarqui y Aplao (Castilla). Finalmente, se observan unidades menores entre las provincias Islay y Arequipa. (Fotografía 4.1).



**Fotografía 4.1** Relieve de montañas modeladas en roca intrusiva en el cerro Santa Rosa, en la margen derecha del río Acarí, sector Santa Rosa.

### Relieve montañoso en roca metamórfica (RM-rm)

Expuesto reducidamente al centro y al oeste de la región, de relieve con superficie abrupta y erosionada de fuerte pendiente entre 25° a 45° con cumbres escarpadas; alcanza alturas de hasta 4700 m s. n. m. Tiene un alineamiento de dirección NO-SE.

Al noroeste de la región, estas subunidades se observan en los límites entre los distritos de Jaqui y Acarí y la región Ayacucho, y al oeste del poblado de Jaqui. También se observan en la cabecera de la quebrada Paloclavado en el distrito de Atico. Se encuentran también en los cerros Llumpuy, Antamasa, Nauquipa, Pampa Blanca y Loma Parachara en los distritos de Cahuacho,

Tauria, Yanaquihua, Chichas (provincias Condesuyos, La Unión y Caravelí); en las cabeceras del río Majes (cerros Huatiapilla, Negro, Ongoro, Condorsonca, Andamayo y Tambor entre otros) en los distritos de Huancarqui, Iray, Pampacolca y Aplao (provincias de Condesuyos y Castilla). Se pueden asimismo apreciar en ambas márgenes del río Ocoña en el tramo Iquipi-Huacan (provincia de Camaná), así como en pequeñas zonas en la parte alta de Santa Rita de Siguas, Yarabamba en la provincia de Arequipa y al norte de Cocachacra en la provincia de Islay (fotografía 4.2). Geodinámicamente, se asocian a erosión de laderas, derrumbes, avalancha de rocas, deslizamientos y flujo de detritos.



Fotografía 4.2 Montaña en roca metamórfica, en el cerro Cuesta de Lima, en ambas márgenes de la quebrada Pescadores, con vista al Noreste.

### Relieve montañoso en roca sedimentaria (RM-rs)

Se distribuye ampliamente en las provincias de Castilla, La Unión y Caravelí, en toda la parte central de la región y al límite con la región Ayacucho. Es de superficie abrupta, con laderas que tienen pendientes entre fuertes y muy escarpadas (15° - 25° y >45°), modeladas en rocas sedimentarias de arenisca del Grupo Yura. Presentan conglomerados del Grupo Moquegua, conglomerados, areniscas y lodolitas de la Formación Huanca y calizas margosas con intercalaciones de calizas bituminosas nodulares de color gris oscuras y lutitas fisibles de la Formación

Socosani, entre otros, de la edad Jurásica hasta el Cuaternario. Sus elevaciones alcanzan hasta 4100 m s. n. m.

Morfoestructuralmente, esta subunidad está principalmente en la Franja de Conos Volcánicos, también en la Cordillera Occidental, Llanura Preandina y Cordillera de la Costa. Se halla recurrentemente en la provincia de Castilla, en sectores de Andahua, Lluta, Huanca, los cerros Tauca, Jollevirca, Jallhua, Huillcapane, Aquehuina, entre otros. En la provincia de Caravelí, se observan en el norte de los distritos de Cahuacho, Huanuhuanu y avanzando al sur en los sectores del poblado de

Caravelí, en el distrito de Atico en la parte alta de la quebrada Gallineros. Otras zonas se observan en los sectores de los distritos de Sibayo, San Juan de Tarucani, Vitor, Yura, y otros que corresponden a la provincia de Caylloma. Finalmente, se aprecia en la provincia de Islay en el distrito de Cocachacra. Geodinámicamente, se asocian derrumbes, erosión en cárcavas, deslizamientos, reptación y flujos de detritos.

#### **Relieve montañoso en roca volcánica (RM-rv)**

Geoformas o paisajes de este tipo destacan principalmente entre los límites departamentales con Cusco, Apurímac y Ayacucho. **Dentro de esta subunidad, se consideran afloramientos de rocas volcánicas** como tobas de la Formación Alapabamba y Grupo Maure, traquiandesitas, andesitas del Grupo Sillapaca, andesita, basalto y tufos del Grupo Chocolate, entre otras unidades.

Sus laderas presentan pendientes muy fuertes a abruptas ( $25^\circ$  -  $45^\circ$  y  $>45^\circ$ ) y depósitos detríticos producto de la desintegración del macizo rocoso. Sus elevaciones alcanzan los 5330 m s. n. m. y son susceptibles a derrumbes y caída de rocas. En algunos sectores, presentan intenso fracturamiento y meteorización.

Están dentro de las unidades morfoestructurales Llanura Preandina, Cordillera Occidental y Franja de Conos Volcánicos. Se localizan en la provincia de Caravelí, en sectores norte del distrito de Bella Unión; en el distrito de Jaqui; en el límite entre los distritos de Huanuahuano, Atiquipa y Chala; en los sectores de los poblados Cable Carril, Puesto Guardo Civil, sur de Repartición en el distrito de Atico; en gran parte del cañón de Cotahuasi, desde su nacimiento hasta el sector Jatunhuasi; en las cabeceras del río Ocoña en los sectores de Ccolcca en el distrito de Tauria de la provincia de La Unión; en los sectores de Chimba, Florida alto y Majaro en el distrito de Madrigal de la provincia de Caylloma; en Tocallo en el distrito de Tapay, provincia de Caylloma; en los sectores Chuañuma, Piruana en el distrito de Choco, provincia de Castilla. Se observan también al norte de los distritos de Cayarani, Puyca, Tisco, correspondientes a las provincias de Condesuyo, La Unión y Caylloma; al este de Buenos Aires en el distrito de Cocachacra en la provincia de Islay, y se extiende hasta el distrito de Punta de Bombón; entre otros, que son áreas pequeñas en el territorio de la región.

#### **Relieve montañoso en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs)**

**Dentro de esta subunidad, se consideran los afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias del Jurásico y Neógeno,** conformadas principalmente por conglomerados, aglomerados y brechas del Grupo Tacaza, formación Orcopampa, Miembro

Santa Rosa; arenisca, brecha volcánica y andeista de la Formación Guaneros, entre otras unidades. Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas de cumbres alargadas, con pendientes que pueden superar los  $25^\circ$  y sus elevaciones alcanzan los 4880 m s. n. m.

Esta subunidad morfoestructuralmente se encuentra en La Llanura Preandina, Cordillera Occidental y una pequeña zona en la Franja de Conos Volcánicos. En la provincia de Caravelí, se observa en los sectores de Mina la María en el distrito de Huanuahuano, Alto Mal Paso en el distrito de Jaqui y al este de Veta 5 en el distrito de Bella Unión. En la provincia de La Unión, se observa en los sectores Suni, Huilac, Tambo, correspondientes al distrito de Puyca, en el sector Pichiulla en el distrito de Chacana, entre otros. En la provincia de Castillas, se observa en Calera, Alhuire, Canchuire del distrito de Orcopampa; y finalmente en los sectores Astayoj del distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos.

Geodinámicamente, se encuentran asociadas a caídas, derrumbes, deslizamientos, erosión en cárcavas y huacos.

#### **Relieve montañoso estructural en roca sedimentaria (RME-rs)**

Este grupo incluye montañas cuya altura y formas se deben al plegamiento de las rocas superficiales de la corteza terrestre y que todavía conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas por procesos denudacionales fluvio-erosionales y glaciares. Localmente, pueden reconocerse alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas, plegadas, y se encuentran conformando anticlinales y sinclinales que le dan una característica particular en las imágenes satelitales. Este tipo de relieve muestra superficie abrupta, laderas escalonadas conformadas por cuarcitas, areniscas y lutitas muy deleznales del Grupo Yura y areniscas, limolitas, lodolitas y limoarcillitas rojizas de la Formación Murco. Sus elevaciones alcanzan los 3950 m s. n. m.

Morfoestructuralmente, predominan en la Franja de Cono de Volcanes, luego en la Cordillera Occidental y Llanura Preandina. Se observan entre los límites de los distritos de Andahuay, Machagua, Unión y Ayo, también en los cursos intermedios del río Majes, como Aplao, que pertenecen a la provincia de Castilla. Al sur de la provincia de Condesuyos, se aprecia en los poblados Illomas, Esbilla, Chiquinoca, entre otros. Finalmente, se ve en los distritos de Pampamarca, Tauria, Cotahuasi, Quechualla, Cotahuasi, Huaynacotas, que pertenecen a la provincia de La Unión y al este de la ciudad de Arequipa (figura 4.1).





**Figura 4.1** Se observa las laderas de la unidad de montaña con dominio estructural (paquetes de estrato) de areniscas, cuarcitas y lutitas del Grupo Yura. Frente al poblado El Dique, en el distrito de Uraca, provincia de Castilla. Imagen del Google Earth.

#### Montaña con cobertura glaciar (RM-cgl)

Son aquellos relieves montañosos con altitudes mayores a los 4000 m s. n. m. (Autoridad Nacional del Agua, 2014) cubiertas por masas glaciares o monteras de glaciares en las cumbres o picos altos, muchos de ellos asociados a los conos de volcanes. Las temperaturas son bajas durante el año, y asocian subunidades como vertientes de depósitos de detritos y morrénicos, entre otros. En los últimos años, vienen sufriendo el efecto del cambio climático según los inventarios realizados por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos del ANA, que viene originando un acelerado retroceso glaciar, que deja al substrato rocoso estriado y la acumulación de bloques. Se caracteriza por

presentar nieves estacionarias y perpetuas, que se extienden en sus cumbres y flancos, y constituye el inicio del drenaje de las aguas superficiales con formación de bofedales, así como a lo largo de laderas y cursos de quebradas y ríos. Su importancia radica en la recarga natural de los distintos acuíferos de aguas subterráneas, que muchas veces emergen a superficie en forma de manantiales.

En la región, se tiene los nevados Coropuna (6377 m s. n. m.), Solimana (6093 m s. n. m.), Firula (5498 m s. n. m.), Hualca Hualca (6025 m s. n. m.), Ampato (6288 m s. n. m.), y en el cerro Hatun Huaychahui (5445 m s. n. m.) (figura 4.2).



**Figura 4.2** Vistas de los nevados Pichu Pichu y Ampato.

### **Ladera de montaña en roca intrusiva (LM-ri)**

Es una subunidad que describe el declive de la montaña con pendientes que varían entre muy fuerte a abrupta ( $25^\circ$  -  $45^\circ$  y  $>45^\circ$ ). Está conformada por rocas intrusivas de granitos, dioritas del Batolito Atico- Camaná; granodiorita hornbléndica de la Super Unidad Punta Coles y otras unidades.

En la región, se halla en los sectores Cotahuasi en la provincia de La Unión. En la provincia de Camaná, se tiene en ambas márgenes del río Ocoña (entre los sectores Santa Rita-Huantay); en ambas márgenes de la quebrada Pescadores (sector Pescadores), correspondiente al distrito de Ocoña; en la margen izquierda del río Camaná, en los sectores de Naspatas y Pampata en el distrito de Nicolas de Piérola; en la provincia de Islay, en los sectores de Desamparados y Puerto Viejo del distrito de Cocachacra.

### **Ladera de montaña en roca metamórfica (LM-rm)**

Se trata de un relieve formado por el declive de la montaña con pendientes que varían entre muy fuerte a abrupta ( $25^\circ$  -  $45^\circ$  y  $>45^\circ$ ), modeladas en rocas metamórficas de gneis, esquistos del Complejo Basal de la Costa, que forman valles encañonados.

En la región, se observa en los sectores de Campamento Minero en el distrito de Toro de la provincia de La Unión. En los flancos del valle Camaná, se encuentra en sectores como Guyaquil, Charaguayo, infiernillo y otros, a lo largo de laderas del valle encañonado del río Ocoña (entre los sectores Vilque-Pueblo Viejo). En el valle del río Quilca, se muestra en Sigüas y Vitor, en los sectores Huañamarca, Huarango, Huchas, Las Hacienditas, etc., pertenecientes a la provincia de Arequipa; y en la quebrada Pescadores, al norte del pueblo del mismo nombre.

### **Ladera de montaña en roca sedimentaria (LM-rs)**

Esta geoforma predomina en forma reducida, con pendientes que varían entre muy fuerte a abrupta ( $25^\circ$  -  $45^\circ$  y  $>45^\circ$ ). Está constituida por zonas encajonadas y profundas, con paredes verticales y laderas abruptas, labradas en rocas sedimentarias como areniscas cuarzosas gris blanquesinas, intercaladas con areniscas calcáreas correspondientes al Grupo Yura; calizas grises de la Formación Arcuquina; arenisca rojiza y gris cubierta por un conglomerado arenoso; lutita; derrames volcánicos y otros que pertenecen al Grupo Mito; limolitas, limoarcillitas, areniscas limosas gris rojiza a marrón rojiza de la Formación Sotillo. Muchas de estas geoformas no son representativas debido a la escala.

En la región, se observa al sur del poblado Cotahuasi en la provincia de La Unión; en las intermedias de la quebrada Pescadores, en la ladera del cerro Las Ovejas en la provincia de Caravelí; en los sectores de Ongoro, Pastor, La Candelaria, **Satelite Salvador, Sarcas**, entre otros, ubicados en los flancos del valle del río Majes en la provincia de Castilla.

### **Ladera de montaña en roca volcánico-sedimentaria (LM-rvs)**

Se trata de una subunidad constituida por zonas encañonadas con pendientes que varían entre fuertes a abruptas ( $15^\circ$  -  $25^\circ$  y  $>45^\circ$ ), modeladas en rocas volcánico-sedimentarias como conglomerados, aglomerados y brechas de la Formación Orcopampa, Miembro Santa Rosa; lavas andesíticas y dacitas porfíricas y aglomerados, y finalmente areniscas fosilíferas y arcosas.

En la región, se ha observado en el noreste de Len en el distrito de Cocachacra, provincia de Islay; en los sectores Cancha, Aranjuez, Visbe, entre otros, en la provincia de La Unión.

### **Unidad de montañas y colinas**

Está conformada entre relieves de montañas y colinas que corresponden el 14.06 % del área total. Sus altitudes varían entorno a los 300 metros. Litológicamente, constituyen roca volcánica, intrusiva, sedimentaria, metamórfica y volcánico-sedimentaria. Generalmente, son áreas recurrentemente concentradas de extensiones regulares. Normalmente, presentan erosión en cárcavas en sus laderas.

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

Se trata de un relieve con superficie abrupta con pendientes que varían entre fuertes y abruptas ( $15^\circ$  -  $25^\circ$  y  $>45^\circ$ ). Se ha considerado el relieve de montañas y colinas en conjunto debido a un mejor manejo en el mapa. Están modeladas en rocas intrusivas tales como monzonitas de la Super Unidad Linga; Diorita del Batolito Atico-Camaná; intrusivos Granodiorita; Tonalita, Granodiorita de la Super Unidad Tiabaya; Tonalita de la Super Unidad Incahuasi; granodiorita y granito de la Super Unidad Punta Coles, entre otros intrusivos (fotografía 4.3).

Esta subunidad se halla a lo largo de la Cordillera de la Costa y la Franja de Conos Volcánicos. En la región, se han observado en la provincia de Caravelí, en los sectores Mina Palca, Hierro Acarí y Mochilco, correspondientes al distrito de Bella Unión. También se aprecia en los sectores de Mina en el distrito de Jaqui; en los sectores de Isla La Banda, Yactapara, Hacienda Parcoy y otros en el distrito de Atiquipa. Adyacente al valle del río Cháparra, se ve en sectores de Campamento, Dynamicpan, Chugui, Huara, Media Noche, Repartición, Pampa Redonda, Cerro Lobos, Lomas Capilla, Lomas Quencha, entre otros. En Chuchurumi, se muestra en los distritos de Quicacha, Chaparra y La Bodega. También se halla en los sectores Hacienda, Santa Marta, Ayanca, Hacienda Cocatijra, Hacienda Sillihua, Abandonado, etc. en los distritos de Andaray, Yanaquihua, Río Grande e Iray en la provincia de Condesuyos. En los sectores Guayaquil, se tiene los cerros El Aliso y Crucero, las quebradas Blanco, Characla, Del Toro, correspondientes a la provincia de Camaná; al suroeste de la ciudad de Arequipa, entre otros.



**Fotografía 4.3** En la foto se observan las subunidades de montañas y colinas en rocas tipo monzonitas de la Super unidad Incahuasi. Está ubicada al este del centro poblado El Convento en el distrito de Chaparra de la provincia de Caravelí.

#### **Relieve de montañas y colinas en roca metamórfica (RMC-rm)**

Se trata de un relieve con superficie abrupta con pendientes que varían entre fuertes y muy fuertes ( $15^\circ$  a  $25^\circ$  y  $25^\circ$  a  $45^\circ$ ). Se han considerado tanto el relieve de montañas y colinas en conjunto debido a un mejor manejo en el mapa. Las montañas están modeladas en rocas metamórficas como gneis y granulitas del Complejo Basal de la Costa (fotografía 4.4).

Se hallan en la Cordillera de la Costa, en la Llanura Preandina y Franja de Cono de Volcanes. Se aprecian principalmente al suroeste de la región, como en los sectores de Estación Pampablanca, Mina Sipina, Challascapa en la provincia de Islay.

#### **Relieve de montañas y colinas en roca sedimentaria (RMC-rs)**

Esta geoforma se presenta en toda la región, con pendientes que varían entre fuertes y muy fuertes ( $15^\circ$  a  $25^\circ$  y  $25^\circ$  a  $45^\circ$ ). Los

relieves están modelados en rocas sedimentarias de areniscas arcósicas, conglomerados e intercalaciones de limoarcillitas del Grupo Mitu, calizas grises con intercalaciones de areniscas y rojizas y limoarcillitas gris verdosas del Grupo Tarma, intercalación de conglomerados, areniscas tobáceas y tobas re TRABAJADAS del Grupo Moquegua, conglomerados, areniscas tufáceas y lentes de tufos re TRABAJADOS de la Formación Millo, arenisca intercalada con limos arenosos y presencia de conglomerados de la Formación Huanca, Miembro Huasamayo; entre otras unidades litológicas sedimentarias (fotografía 4.5).

Se han observado pequeñas zonas a lo largo del todo el territorio de la región Arequipa. Como ejemplos, se tiene en el oeste y noroeste de la ciudad de Arequipa sectores de Yuramayo, La Monjaras, La Garzón en el distrito de Vitor y en el distrito de Yura, en sectores de Liquirca, Orcopunco, entre otros.



**Fotografía 4.4** Montañas y colinas en roca metamórfica del complejo Basal de la Costa en el sector en ambas márgenes de la quebrada Pescadores.





**Fotografía 4.5** Vista de relieve de montañas y colinas en rocas sedimentarias que muestran laderas con carcavamiento. En el fondo a la derecha de la vista, se observa los nevados del volcán Ampato.

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

Se trata de un conjunto de montañas y colinas con pendientes que varían entre fuertes y muy fuertes ( $15^\circ$  a  $25^\circ$  y  $25^\circ$  a  $45^\circ$ ), modeladas en rocas volcánicas como tobas y pómez re trabajadas de la Formación Alpabamba; lavas andesíticas, tobas de bloques intercalados con conglomerados correspondiente al Grupo Tacaza, brecha volcánica y lava de andesita de color marrón, entre otras unidades litológicas volcánicas (fotografía 4.6).

Se presenta en las unidades de Llanura Preandina, Cordillera Occidental y Franja de Conos Volcánicos. Se observa principalmente al noroeste y este de la región. Se tiene como ejemplos los sectores Santa Ana, Chacra, Pusa, Casillo, Utaña del distrito de Pampamarca, los sectores Pallancerci, Opata, Curpani, Turuy, entre otros, en el distrito Huaynacotas y los sectores Umasura, Pampahuasi, Ccorpa, Ccacallita, Alhuayo del distrito de Puyca, todos en la provincia de La Unión.



**Fotografía 4.6** Relieve de montañas y colinas en brechas volcánicas y lavas andesíticas de la Formación Chocolate, en el sector Quaragua Chico en el distrito de Chaparra, provincia de Caravelí.

### **Relieve de montañas y colinas en roca volcánica-sedimentaria (RMC-rvs)**

Son geoformas de superficie abrupta con pendientes que varían entre fuertes y muy fuertes (15° a 25° y 25° a 45°). Están modeladas en rocas volcánico-sedimentarias como arenisca, brecha volcánica y andesita de la Formación Guaneros; conglomerados, aglomerados y brechas del Grupo Tacaza, Miembro Santa Rosa; areniscas marrones a gris oscuras fosilíferas y arcosas; aglomerados volcánicos a la base; andesitas profiríticas gris oscuras, que corresponden a la Formación Guaneros miembro inferior; entre otras unidades litológicas volcánico-sedimentarias.

Morfoestructuralmente, se hallan principalmente en las unidades de Llanura Preandina y Cordillera Occidental. Se aprecian en los sectores de San Francisco, Chaparral, entre otros, en el distrito de Chaparra y provincia de Caravelí; en los sectores de Cajapalla/Chañahuaca, Topa, Abandonada, Nequeta, entre otros, que corresponden al distrito de Chachas. También se aprecia en los sectores Huacaña, Humajala, Ancoyo, Anchaca, Chaquille, Capilla, entre otros, así como en el distrito de Choco, provincia de Castilla; entre otras unidades al suroeste y sureste de la región.

### **Relieve de montañas y colinas estructural en roca sedimentaria (RMCE-rs)**

Es una subunidad de superficie abrupta con laderas escalonadas con pendientes que van desde muy fuertes a abruptas (25° a 45° y >45°). Están modeladas en rocas sedimentarias como conglomerados, areniscas, lodolitas y tobas de lapilli en forma de mantos que pertenecen a la Formación Moquegua; areniscas cuarzosas gris blanquesinas, intercaladas con areniscas calcáreas pertenecientes a la Formación Labra.

Morfoestructuralmente, se hallan en las unidades de Llanura Preandina, Cordillera Occidental y Franja de Conos de Volcanes. En la región, está representado en zonas regularmente recurrentes por el centro de la región. Estas sub-unidades se han observado principalmente al sur de la provincia de Castilla, y distritos aledaños. Se observan pequeñas zonas al noreste de la ciudad de Arequipa. Como ejemplo, se tiene los sectores Porvenir, Villa Hermosa Pedregal y gran parte del distrito de Uraca en la provincia de Castilla.

### **Unidad de colinas y lomadas**

Esta unidad está representada por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección. La conforman alineamientos de tipo serranías, de carácter denudativo y

volcánico. La 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, cuya base es aproximadamente circular. Las lomadas presentan similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8 % y 16 % (como se cita en Villota, 2005, p. 64).

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 15.47 % de la superficie total de Arequipa**. Dentro de esta unidad, se tiene las siguientes subunidades (cuyas descripciones ofrecen principalmente información referida al tipo de roca asociado y su ubicación a grandes rasgos):

### **Relieve de colinas en roca metamórfica (RC-rm)**

Es un relieve modelado por rocas metamórficas como facies de gneis/granulitas de Mollendo-Camaná, correspondientes al complejo Basal de la Costa, con laderas generalmente con pendientes fuertes (15° a 25°). Esta subunidad representa el 0.39 % del área total de Arequipa.

Morfoestructuralmente, se halla en la Cordillera de la Costa y Llanura Preandina. Se ha observado en los sectores de los distritos de Quilca y Majes, que pertenecen a las provincias de Camaná y Caylloma (fotografía 4.7).

### **Relieve de colinas en roca sedimentaria (RC-rs)**

Se encuentra conformado por secuencias sedimentarias como areniscas cuarzosas gris blanquesinas, intercaladas calcáreas que pertenecen a la Formación Labra, areniscas y lutitas turbidíticas que pertenecen a la Formación Puente en la Cordillera Occidental y Franja de Conos, con laderas fuertes (15° a 25°).

Representa un porcentaje menor en la región y se sitúa en los sectores Huasamayo, Huaypata, entre otros, en los distritos de Huanca y Lluta en la provincia de Caylloma. Otros relieves se encuentran en los sectores noroeste de Cincha en el distrito Yura, provincia de Arequipa.



Fotografía 4.7 Relieve de colinas en roca metamórfica en el sector Platanal.

#### Relieve de colinas en roca volcánica (Rc-rv)

Localizado principalmente en la Cordillera Occidental en el lado noreste de la región, está conformado por depósitos de flujos piroclásticos de cenizas ricas en cristales, con espesor aproximado de 360 m de la secuencia volcánica Huarinota, de andesitas, calizas volcaneritas, correspondientes al Formación Chocolate; andesitas, tufos y riolitas del Grupo Tacaza; ignimbritas interstratificadas con tobas de la Formación Barroso.

En la región, esta subunidad representa un porcentaje menor y abarca el 0,15 % del área de Arequipa. Se ha observado en los sectores Pacolla, Ccalasaya, entre otros. Se encuentra también en el distrito de Puyca de la provincia La Unión; en los sectores

sur de Huasamayo, en el distrito de Huanca en la provincia de Caylloma; entre otros.

#### Relieve de colinas en roca volcánico-sedimentaria (RC-rvs)

Se identificó cuatro manifestaciones de esta subunidad que sigue una dirección suroeste-noreste, en la provincia de La Unión. Se encuentra modelada por una secuencia volcánico-sedimentaria de la Formación Alfabamba, con laderas con pendiente fuerte (15° a 25°).

En la región, representa un porcentaje menor en los sectores Pampa Cullana, Lloco, Calitre, correspondientes al distrito de Huaynacotas; en el distrito de Puyca, en los sectores oeste de Ccanchallani. Todos corresponden a la provincia de La Unión (fotografía 4.8).



Fotografía 4.8 Colinas en rocas volcánico-sedimentarias en el cerro Amanterani, parte superior del río Yura.



### Relieve de colinas estructurales en roca sedimentaria (RCE-rs)

Se trata de una subunidad con laderas escalonadas y generalmente fuertes ( $15^\circ$  a  $25^\circ$ ), modeladas en rocas sedimentarias como areniscas arcillosas, lodolitas y limolitas marrón rojizo con niveles de yeso irregularmente distribuidos pertenecientes a la Formación Sotillo; lutitas muy deleznales, areniscas calcáreas con nódulos calcáreos que pertenecen a la Formación Cachios y calizas en capas delgadas con intercalaciones de lutitas y areniscas calcáreas de la Formación Arcurquina.

Estas subunidades representan un porcentaje menor en la región (0.24 %). Se han observado en los sectores noreste de Cincha en el distrito Yura (provincia de Arequipa); en los sectores este de Alto La Barranca, La Pampa, Morrillos, entre otros, pertenecientes al distrito de Aplao (provincia de Castilla); en los sectores de Cataucancho y Allasura en el distrito de Callali y en el sector Posuma en el distrito de Tisco, ambos en la provincia de Caylloma (fotografía 4.9).

### Relieve de colinas y lomadas en roca intrusiva (RCL-ri)

Son elevaciones de terreno, cuyas cimas son subredondeadas con pendientes suaves a moderadas ( $5^\circ$  -  $15^\circ$ ). En sus vertientes,

se observan bloques sueltos y depósitos de degradación de la roca, conformados por los intrusivos del Plutón Siete Toldos, diorita con hornblenda de la Super Unidad Yarabamba, granitos del Batolito Atico-Camaná, tonalitas, granodioritas grises con hornblenda y biotita de la Super Unidad Tiabaya, monzonitas de la Super Unidad Linga, entre otras unidades intrusivas. (fotografías 4.10 y 4.11).

Se tiene exposiciones reducidas de esta subunidad en las unidades a lo largo de La Cordillera de la Costa, Llanura Preandina, Cordillera Occidental y Franja de Conos Volcánicos. Como en las áreas costeras de la región con más recurrencia en el sur y noroeste, algunos ejemplos se tiene en los sectores La Encañada, Cuestachaque, Crucero, Parara, en el distrito de Quicacha provincia de Caravelí; en las zonas aledañas al sur y sureste de la ciudad de Arequipa, sectores Aurífera, Tronquitos, Mina Cerro Verde; en la margen izquierda del río Chili, desde la zona suroeste de la ciudad de Arequipa, Cerro Verde, Uchumayo, en dirección noroeste de La Joya. Representa tan solo el 2.18 % del área total de la región.

Esta unidad es susceptible a la ocurrencia de erosión de laderas, derrumbes y caída de rocas, que principalmente se da por causa del factor antrópico (cortes de talud inadecuados).



**Fotografía 4.9** Colinas estructurales en ambas márgenes del río Colca. Vista aguas arriba de la represa de Condoroma.



**Fotografía 4.10** Colinas y lomadas en roca intrusiva de la Unidad Linga, en Loma Alto Bombón, en la margen derecha de la quebrada Corral Peña.



Fotografía 4.11 Sector suroeste de la ciudad de Arequipa; colinas alargadas intrusivas ocupadas por la expansión creciente de la ciudad en el distrito de Jacobo Hunter.

### Relieve de colinas y lomadas en rocas metamórfica (RCL-rm)

Se tiene esta subunidad en el extremo suroeste de la región, en el límite con la región Ica. Son relieves suaves de pendientes moderadas, menores a 300 m de altura. Presentan laderas con pendientes de hasta 25° y abarcan el 0.81 % de la superficie total de la región. Están conformadas por gneis migmatíticos del Complejo Basal de la Costa, metavolcánicos y metaintrusivos del Complejo Santa Rita, facies de gneis y granulitas de Mollendo-Camaná del Complejo Basal de la Costa, entre otras unidades metamórficas.

En la región, esta subunidad representa un menor porcentaje y está localizada principalmente en las zonas costeras de la región Arequipa. Algunos ejemplos se tiene en los sectores Sombrerillo, Campamento Abandonado, entre otros, en el distrito de Lomas, provincia de Caravelí, en los sectores Saya, Aquada de Lomas. En el distrito de Bella Unión, provincia de Caravelí; se encuentra en los sectores oeste de Sonay, Pillistay, Socso Chico, entre otros- También se muestra en el distrito de Nicolás de Piérola, provincia Camaná; entre otros sectores. Está asociada esta unidad a caída de rocas y derrumbes en forma de canchales.

### Relieve de colinas y lomadas en roca sedimentaria (RCL-rs)

Son relieves suaves y de pendiente moderada (5°-15° y 15°-25°) y de desniveles de hasta 300 m. Exhibe surcos de erosión y un sistema dendrítico de drenaje. Las colinas y lomadas presentan cumbres subredondeadas producto de la erosión en los valles de los ríos Tambo, Quilca, Camaná, entre otros. Son geoformas asociadas a rocas sedimentarias (conglomerados, areniscas, lutitas, limoarcillitas, calizas y diatomitas).

Se presentan en toda la región y abarcan el 3.91 %, en pequeñas zonas y poco recurrentes. Algunos ejemplos de estas unidades están en los sectores Pedregal, Gramadal, Hacienda Lacantera, entre otros, en el distrito y provincia de Caravelí. Se aprecia asimismo en los sectores de La Cruz, Pampa Las Chilcas, Pano, Bajada de Pez, entre otras, en el distrito de Quilca, provincia de Camaná; y en los sectores de Queñua Pampa, Rayuscapampa,

Puquihuayjo en el distrito de Quicacha, provincia de Caravelí. Geodinámicamente, se encuentran asociados a derrumbes, erosión en cárcavas y huaicos.

### Relieve de colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv)

Las geoformas de este tipo corresponden a afloramientos de rocas volcánicas del Jurásico modeladas por procesos denudativos. Se encuentran conformando grupos de colinas (tobas, piroclásticos, lavas andesíticas) distribuidos en pequeñas áreas a lo largo del territorio arequipeño; con laderas menores a 25° de pendiente. Presentando formas subredondeadas producto de la erosión, y se observan surcos o cárcavas en sistema dendrítico. Representan el 3.61 % de su superficie total.

Se tiene algunos ejemplos en los sectores Acochaca, Aquira, Pusca Pusca, Acohuito, Canchacasa, Chilpa, Apartaña, Ancamani, Huarichancara, Quese Quese, entre otros, en el distrito de San Antonio de Chuca, provincia de Caylloma. Están asociados geodinámicamente a caída de rocas, derrumbes, deslizamientos, huaicos y erosión de laderas.

### Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánico-sedimentaria (RCL-rvs)

Son terrenos moderadamente abruptos con laderas erosionadas (cárcavas), de forma subredondeadas. Están conformados por areniscas, limos, tobas retrabajadas y calizas; conglomerados y brechas volcánicas; tobas con niveles de areniscas y calizas y lutitas. Aparecen cubiertos por delgadas capas de material eólico al noroeste de la región.

Se observan principalmente en el sur y suroeste de la región. Ejemplos de ello se ven en los sectores de Soraccota, Alcamarini, Paracayco, Iromocco, Sorahuma, Pachio, entre otros, en el distrito de San Antonio de Chuca, provincia de Caylloma. También se aprecian en los sectores este del distrito de Cocachacra, provincia de Islay; y en los sectores Sauricay, Lacta, Pampa Utaña, Acolloco, Huascuta, en los distritos de Pampamarca y Huaynacotas en la provincia de La Unión. Abarcan el 0.94 % de la superficie total de la región.



#### **Relieve de colina y lomada disectada en roca intrusiva (RCLD-ri)**

Es una geoforma que generalmente se presenta con pendientes menores a 25°. Está modelada en rocas intrusivas como granitos de Tambo-Jahuay, tonalita-diorita de la Super Unidad Ilo, intrusivos dioríticos, entre otras unidades litológicas intrusivas. Estas formas se encuentran suavemente disectadas por cárcavas que forman sistemas de drenaje dendrítico por aguas superficiales estacionarias.

En la región, representa un porcentaje menor. En la provincia de Arequipa, estas geoformas están presentes al lado noroeste del sector La Bodega en el distrito de Atico, provincia de Caraveli; al norte del sector La Cantuta en el distrito de Vitor; al sur de la Mina Cerro Verde, en el distrito de Yarabamba, al suroeste de la ciudad de Arequipa.

#### **Relieve de colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs)**

Son relieves notablemente disectados por la erosión y ligeramente cubiertos por depósitos eólicos en los fondos de valles, laderas de pendiente suave a moderada con cumbres subredondeadas. Litológicamente, están conformadas por rocas areniscas, conglomerados y lutitas muy deleznales.

En la región, esta subunidad se localiza entre la Llanura Preandina y el flanco occidental de la Cordillera Occidental. Entre los que más destacan, están los sectores Pailogen, Mina San José, Cambaya, entre otras, en el distrito de Polobaya, provincia de Arequipa. En los sectores norte de Huacán, se aprecia al este de Llucila, Betancurt, entre otros, en el distrito de Lluta, provincia de Caylloma.

#### **Relieve de colina y lomada disectada en roca volcánico-sedimentaria (RCLD-rvs)**

Se trata de relieves suaves, disectados por múltiples cárcavas. Presentan suaves pendientes (5°-15°), de forma subredondeada producto de procesos erosivos. Están modelados en rocas volcánico-sedimentarias conformadas por riolitas de textura porfírica, areniscas cuarzosas y tobáceas, correspondientes a la Formación Guaneros.

Su distribución es muy restringida al sureste de la región. Entre los ejemplos más representativos, se tiene en los cerros Mirador, Cales, ambas márgenes del río Tambo en el distrito de Cocachacra, provincia de Islay.

### **4.3.2 Geoformas 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.

En la región, estas geoformas comprenden el 27.35 % del área total. Están conformadas por estructuras y depósitos de origen volcánico que evidencian su actividad en el pasado. El volcán Misti forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes y es uno de los siete volcanes activos del sur del Perú. El edificio volcánico se emplazó en el borde oeste de la Cordillera Occidental de los Andes, que limita por el sureste con el estratovolcán extinto Pichu Pichu, por el noroeste con el complejo volcánico Chachani, hacia el norte y este con la altiplanicie Puna y por el suroeste con la cuenca sedimentaria de Arequipa, donde se halla la ciudad del mismo nombre. El volcán Nevado Sabancaya (5980 m s. n. m.) es el volcán más joven y activo del complejo Ampato-Sabancaya, y está conformado principalmente por secuencias de flujos de lava de composición andesítica y dacítica, con limitados depósitos piroclásticos.

#### **Cráter / Caldera volcánica (C/cal-v)**

Algunas calderas se forman como resultado de grandes y súbitas explosiones volcánicas. En su mayor parte, son semicirculares, sus paredes están constituidas de flujos de lavas y material piroclástico de regulares dimensiones que corresponden a un gran cráter erosionado, del que quedan hoy en día solo extremos circundantes, localizados en la cima o cumbre del volcán que corresponde a la parte más alta del cono. Algunos presentan una morfología glaciar típica, la nieve se deposita en época de invierno (diciembre a marzo). Los cráteres volcánicos son más pequeños en tamaño y bastante circulares. Generalmente, se forman dentro de las calderas. Según el inventario de volcanes (Fidel *et al.*, 1997) en la región se tiene 163 volcanes, de los cuales 5 se encuentran activos y potencialmente activos (Ampato, Chachani, Coropuna, Misti y Sabancaya).

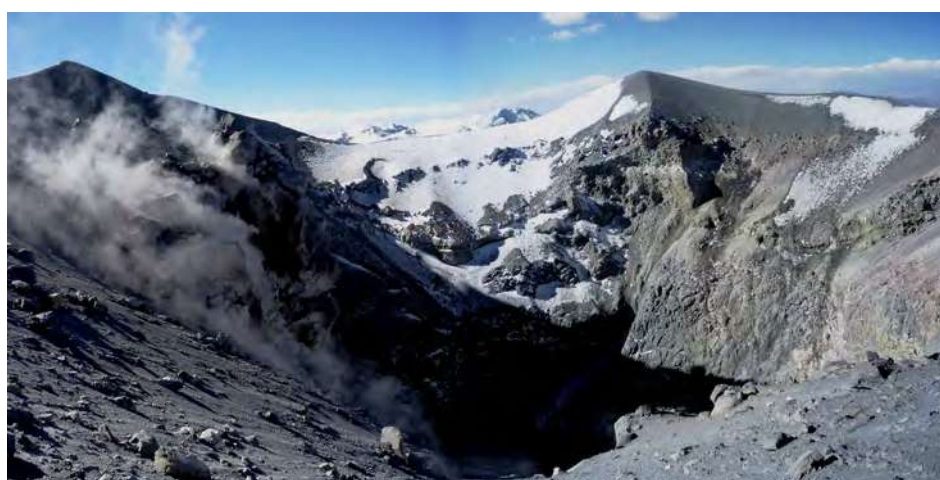
En el caso del cráter del volcán Misti, es de forma elongada en dirección SE-NO. Posee un diámetro mayor y menor de 935 y 690 m, respectivamente y presenta una profundidad de 150 m. La forma actual de dicho cráter se originó durante la erupción subpliniana de hace 2050 años (Thouret *et al.*, 2001). Dentro del cráter, y en su extremo sureste, se emplaza un pequeño

cono intracrático, cortado por un segundo cráter, que en promedio posee un diámetro de 530 m y una profundidad de 200 m, en cuyo piso se emplaza un domo de lava de 100 m de diámetro (figura 4.3). La cima del volcán Misti alcanza una altura de 5822 m s. n. m., y el piso del cráter está a 5550 m s. n. m. Posee una profundidad de 200 m y en el piso se emplaza un cuerpo de lava de 100 m de diámetro (tapón de lava), por cuyas fracturas emanan fumarolas que se disipan a poca altura (Mariño *et al.*, 2016).

El volcán Sabancaya presenta un cráter activo, de forma semicircular, con un diámetro máximo de 384 m y una profundidad de más de 200 m (fotografía 4.12). Las paredes están constituidas de flujos de lavas frescas, como también de flujos de lavas hidrotermalizadas, muchas veces fracturadas. Estas lavas están cubiertas por depósitos de caídas de ceniza emitidos durante los últimos cientos de años. Desde el borde del cráter, entre el 2011 y el 2012, se presentó actividad fumarólica es casi constante y permanente (Rivera *et al.*, 2016).



Figura 4.3 Caldera del volcán Misti de 935 m de largo y 150 m de alto en las paredes. En el extremo sureste, se ubica el cráter anidado de 530 m de diámetro. Fotografía aérea tomada en dirección norte (Servicio Aerofotográfico Nacional, 1943).



Fotografía 4.12 Cráter del volcán Sabancaya con pequeñas emisiones de fumarolas tenues (Rivera *et al.*, 2016).

### **Coladas y campo de lavas basalto-andesíticas (Ca-La)**

Se trata de una subunidad que configura paisajes de forma de lenguas alargadas, relativamente estrechas y delgadas, con varios lóbulos frontales empinados (frentes de lava), cuya altura está en función de la viscosidad y volumen de la lava. Está asociado a estrato volcanes y monogenéticos: Normalmente el desarrollo vegetal casi es nulo y están presentes en altitudes mayores a 2 500 m.

Constituyen los últimos episodios de actividad volcánica andina Pliocena-Holocena, de origen fisural y tectónico. Se exponen principalmente en el lado central y sureste de la región (franja de conos volcánicos); cubren relieves preexistentes, así como también rellenan valles fluvio-glaciares. En conjunto, representan el 3.36 % de la superficie total de la región.

Este tipo de subunidad ha sido identificado principalmente en el noreste de la región. Algunos ejemplos se tiene en los sectores Antacocha, Rumi Rumi, Ticlaymarca, Lacta, Huancancamac, entre otras en el distrito de Huaynacotas y Pampamarca, en la provincia de La Unión. Se encuentran relleno tanto los valles de Sora, Andahua, cerca de Orcopampa, Huambo, Chachas y las que rellenan el valle del Colca entre Canocota y Coporaque. Por su antigüedad y grado de erosión, suelen formar algunos cañones o cauces estrechos como resultado de la erosión postrepreseamiento de los valles, caso Andahua y Colca. Algunos frentes de lavas han condicionado por enfriamiento el fracturamiento o diaclasamiento. Cuando estos frentes son de regular altura, suelen apreciarse caídas de rocas y derrumbes de bloques de diferente dimensión. También se exponen en los alrededores del volcán Misti y Chachani.

### **Colina y lomada ignimbrítica (CL-ig)**

Subunidad caracterizada por presentar un terreno ondulado de baja altitud, conformado por materiales volcánicos ignimbríticos de edades Mioceno-Plioceno. Estas ocupan el 0.32 % de la superficie total de la región.

En la región Arequipa, fueron identificadas estas subunidades al este y sureste de la región, y representan un porcentaje menor. Ejemplos de ellas se tiene en el distrito de San Juan de Tarucani, en los sectores Estagunero, Coline, Huerta, Pucatac, Say Ojo, entre otros, que corresponden a la provincia de Arequipa. Son susceptibles a la ocurrencia de erosión de laderas, derrumbes, caída de rocas y deslizamientos.

### **Complejo volcánico (Co-v)**

El complejo volcánico abarca un conjunto de geoformas de centros eruptivos, ocupados por derrames lávicos que se depositaron en las inmediaciones de los cráteres. Algunas de

estas lavas son de composición andesítica, traquiandesíticas porfíricas, entre otros. Algunas áreas exhiben zonas de alteración hidrotermal supérgena.

También conocidos como volcanes compuestos, se forman por la migración de la fuente eruptiva o de emisión, lo que da lugar a un área o franja de evidencias volcánicas.

En la región, estas evidencias volcánicas se han observado, en el noreste y sureste del territorio en la Franja de Conos Volcánicos y Cordillera Occidental, en sectores como Unchahui, Cala Cala, Huancarcala, entre otras, en el distrito de Cayarani provincia de Condesuyos. Se han detectado también en los sectores entre la ciudad de Arequipa y la Laguna Salinas, en la provincia de Arequipa. Ejemplos de ello se tiene en el complejo volcánico (estrato-volcán y domos) del Coropuna, del Ampato-Sabancaya, entre otros (fotografía 4.13).

### **Campo de cenizas volcánicas o manto de piroclásticos (Ca-cv)**

Está conformado por depósitos de cenizas o piroclastos, y normalmente muestra pseudoestratos. Estas áreas están conformadas por depósitos de pómez, lapilli, pómez y cenizas, entre otras unidades litológicas. Durante la era cristicana, el volcán Misti ha presentado por lo menos tres erupciones: en 1784 d.C., 1778 d. C. y mediados del siglo XV (Mariño *et al.*, 2016). Alrededor del cono del volcán Misti, hay una formación de una secuencia de depósitos piroclásticos de escoria, caída de ceniza, bombas y bloques, y balísticos. Se aprecian asimismo depósitos que descansan sobre los flancos del volcán Misti constituidos por depósitos de caída piroclástica de ceniza oscura del siglo XV.

### **Domo volcánico (Do-v)**

Son gGeoformas con superficies convexas o cóncavas ubicadas en la cima de complejos volcánicos u estrato volcanes y cadenas de montañas de rocas volcánicas, formadas por el enfriamiento de lava viscosa de composición andesítica originadas en el Neógeno. Esta lava es extruida por un conducto central de forma lenta, con lo cual se comba y extiende a modo de un balón en expansión, lo cual origina un cuerpo cupular semejante a un domo, que puede ser independiente o estar anidado en la caldera de volcanes más grandes y de distinto tipo. La viscosidad de la lava no permite que fluya demasiado lejos de su centro de emisión (cráter o fisura), antes de solidificarse y originar formas convexas.

Estas geoformas están dispersas en el territorio norte y este de la región en la Franja de Conos Volcánicos y Cordillera Occidental. Algunos ejemplos se tiene observan en los sectores de Huayta, Achao, Chañahuacca, Challahuire, Esquina, etc., pertenecientes al distrito de Chachas y provincia de Castilla. Otros ejemplos



poco comunes de estas geoformas en la región, de cuerpos dómicos, se les atribuye a lavas dacíticas o riolíticas expuestas en los flancos este y oeste del volcán Chachani, y alcanzan extensiones desde 4 a 9 km, ubicadas cerca del aeropuerto de Arequipa, al este del Misti (figura 4.4). También se distinguen tres domos de lavas de forma cónica e irregular en el volcán

Sabancaya emplazados en diversos periodos de hasta 1 km de diámetro. En el complejo volcánico Chachani, se han identificado 12 domos del volcán Chachani.

Este tipo de estructura está relacionado a procesos de erosión de laderas, flujos y avalancha de detritos, derrumbes y caída de rocas desde los bordes de pendiente escarpada.



**Fotografía 4.13** El Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya, a 70 km al NO de la ciudad de Arequipa, en la provincia de Caylloma.



**Figura 4.4** Domos y domo-coladas del Chachani, que se levantan sobre la planicie ignimbrítica que ha sido cubierta parcialmente por flujos de lavas del volcán Chachani y por donde se encuentra el Aeropuerto Internacional Rodríguez Ballón, en la ciudad de Arequipa (imagen del Google Earth).

### Estratovolcán (Es-v)

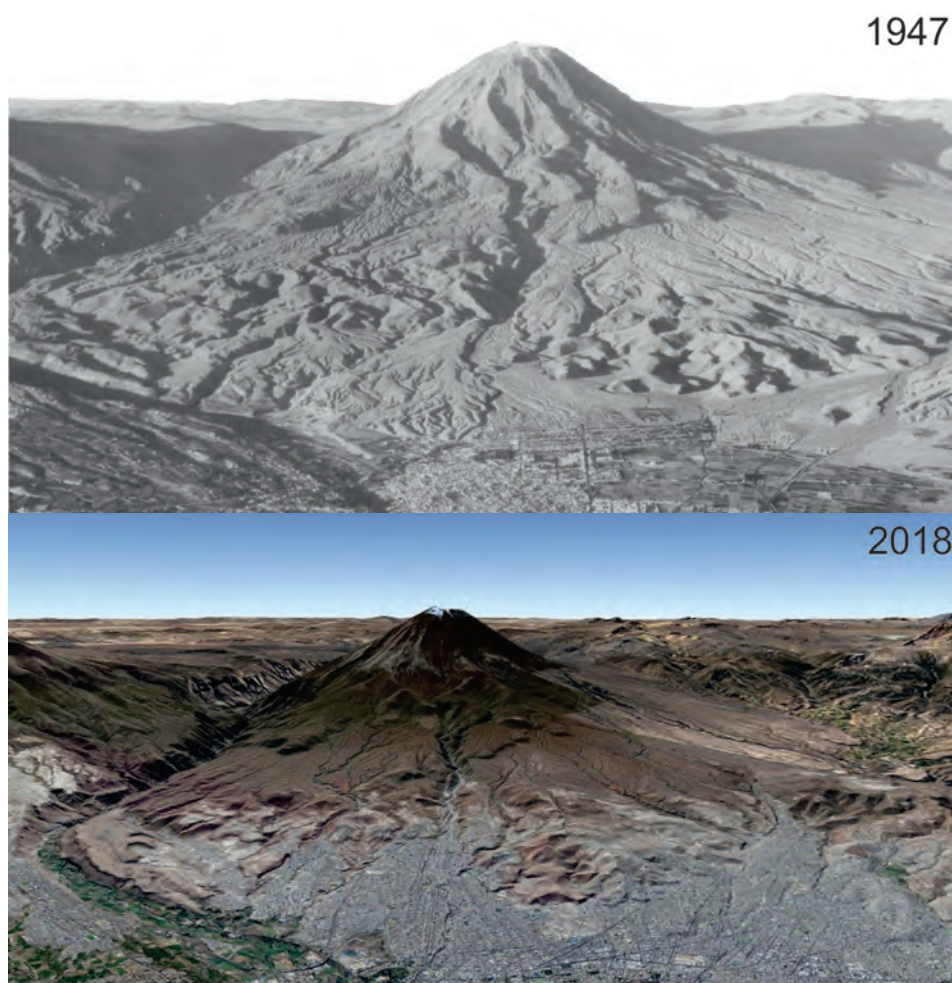
Corresponde al paisaje de mayores dimensiones y de estructura más compleja dentro del grupo de geoformas volcano-denudativas. Presenta formas cónicas, a veces casi perfectas, con laderas de aspecto cóncavo, más empinadas en la parte media y más suaves hacia su falda. El patrón de drenaje de estas geoformas es radial centrífugo.

Estos volcanes muestran en su estructura una cierta estratificación producida por la alternancia, generalmente irregular, de coladas de lava y mantos de piroclastos consolidados o no, cuya disposición y espesores son testimonio de la ocurrencia de periodos alternos o simultáneos de erupciones tranquilas y otras de carácter explosivo. Tanto las capas de lavas y piroclastos de un mismo estrato volcán son variadas en su composición, ya sea andesítica, riolítica o basáltica; e igualmente distintas en el tamaño y consistencia de los piroclásticos (cenizas, lapillis o tobas y brechas).

Ejemplos de esta estructura volcánica en la región Arequipa se tiene en el Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya, que

se encuentra a 6299 m s. n. m., que presenta al menos tres conos sucesivos, superpuestos entre sí y orientados en dirección suroeste a noreste, y constituidos esencialmente por un empilamiento de flujos de lavas y depósitos limitados de flujos piroclásticos. El estratocono superior del volcán Misti se extiende entre los 4400 y 5822 m s. n. m., posee mediana a fuerte pendiente y un drenaje radial. Está conformado por flujos de lava que son parcialmente cubiertos por depósitos de caídas piroclásticas históricas, donde nuevos asentamientos humanos se han desarrollado al noreste y norte de la ciudad, en los distritos de Alto Selva Alegre, Miraflores, Paucarpata, Mariano Melgar y Chiguata, que se hallan a menos de 12 km del centro de emisión. La diferencia altimétrica entre la ciudad y la cima del volcán es de 3.5 km aproximadamente (figura 4.5).

Geodinámicamente, esta estructura está asociada a la ocurrencia de procesos de erosión de laderas, cuya incisión puede alcanzar a formar quebradas por donde discurren flujos y avalancha de detritos, deslizamientos, movimientos complejos y derrumbe o colapso de flancos del cono volcánico.



**Figura 4.5** Vistas del estratovolcán Misti situado al noreste de la ciudad de Arequipa, donde se puede observar el avance acelerado de viviendas (1947-2018) sobre la planicie ignimbrítica.



### Cono de escoria monogenético (CoE)

Paisajes cónicos truncados con acumulación de material piroclástico suelto (escorias, cenizas y bombas), a partir de un conducto central o cráter con actividad volcánica de tipo estromboliana, caracterizan a esta unidad. Presentan alturas entre 50 a 300 m, con laderas de pendiente moderada a fuerte. Los conos de escoria ideales, son individuales, empinados, con laderas rectas a ligeramente convexas y con un cráter en el tope. Los montículos de escoria son volcanes menores que aparentemente carecen de cráter y asemejan a montículos convexas (figura 4.6).

Los conos de escoria anidados son los que se forman en el interior de los cráteres y calderas o sobre las laderas de estratovolcanes, frecuentemente producidos como la última fase de erupción.

En función a la distribución de flujos o coladas de lavas del tiempo Andagua, se asocian con las zonas con conos volcánicos monogenéticos cuya edad corresponde al Pleistoceno y Holoceno. Se tiene como ejemplos el valle de los volcanes de Andagua, donde se diferencian 17 conos piroclásticos y 45 áreas de cráteres o domo-lavas; en el valle de Sora, en la Cordillera de Shila; entre Huambo y Cabanaconde, entre los sectores Montel y Sutanay en el distrito de Huambo, provincia de Caylloma. Otro ejemplo que podemos mencionar es el volcán Nicholson, cerca de Arequipa. Su antigüedad es de más de un millón años, es decir, de reciente formación (cuaternario). Entre sus componentes geológicos, tenemos: basaltos, andesitas, materiales piroclásticos. Las acumulaciones de cenizas, escorias y lavas escoriáceas son susceptibles a erosión de laderas.

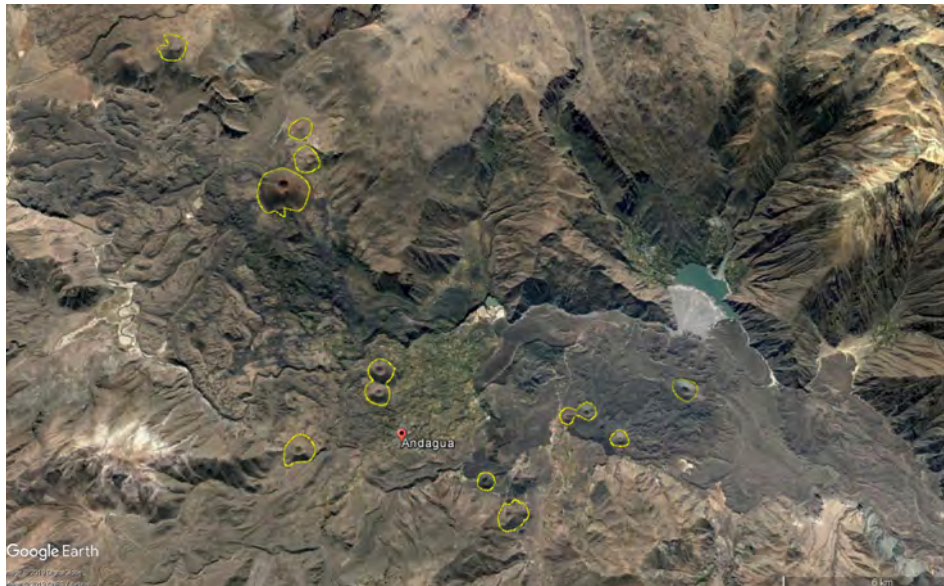


Figura 4.6 Vista del valle de Andagua, donde sobresalen los conos volcánicos monogenéticos (Imagen del Google Earth).

### Meseta ignimbrítica (M-ig)

Son superficies elevadas casi planas en algunas zonas regularmente extensas. Están conformadas principalmente por ignimbritas.

En la región, se han observado porcentajes menores, principalmente al noroeste del territorio arequipeño, en menor importancia en el sur y noreste; por ejemplo, en sectores norte de los distritos de Bella Unión, Quicacha, Cahuacho, correspondientes a la provincia de Caravelí. Esta subunidad solo representa el 0.17 % de la superficie de la región. Se pueden presentar en los bordes de la meseta procesos

de caídas de rocas y derrumbes, hasta deslizamientos de diferentes dimensiones.

### Meseta volcánica lávica (M-vl)

Se trata de una superficie elevada y de relieve predominantemente llano, aunque puede presentar ligeros ondulamientos y está conformada por secuencias de rocas volcánicas.

Las secuencias lávicas que constituyen esta subunidad son de edad Mioceno-Plioceno y fueron reconocidas al noroeste del territorio arequipeño, en menor importancia en el sur y noreste; por ejemplo, en sectores norte de los distritos de Bella Unión, Quicacha, Cahuacho, correspondientes a la provincia de Caravelí.

Esta subunidad representa tan solo el 0.03 % de la superficie de la región. Se pueden producir caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos en roca de diferentes dimensiones en los bordes de la meseta.

#### **Superficie con flujo piroclástico (Spf)**

Es una subunidad resultante de la depositación de flujos incandescentes de piroclastos (nubes ardientes, flujos de bloques, de pómez, de cenizas) descargados de las calderas masivas de estratos volcanes durante erupciones de tipo vulcaniano y pliniano. Debido a que los flujos de piroclastos se desplazan casi como un líquido, ellos se extienden sobre grandes distancias, y conforman capas de varios metros de espesor. Se mueven por gradientes muy bajas y aún fluyen cuesta arriba por cortas distancias; llenan hoyos, depresiones; y fluyen alrededor de obstáculos. Cuando se detienen y estabilizan, presentan una

superficie plana y regular a pesar de que el terreno preexistente haya sido rugoso.

La soldadura o consolidación de las ignimbritas tiene lugar después del emplazamiento, mientras la temperatura es aún alta (unos 600° C para un depósito de 10-40 m de espesor). La acumulación de flujos piroclásticos sucesivos incandescentes forma altiplanos de ignimbritas.

La región Arequipa, presenta buen porcentaje de estas subunidades, que se halla casi en todo el territorio y disminuyen en las zonas con cotas bajas y costeras. Las encontramos en los sectores este de la provincia Caravelí y al norte de las provincias de Arequipa, Caylloma, Castilla, entre otros sectores de la región, y representan el 11.51 % de la superficie total de la región (fotografía 4.14).



Fotografía 4.14 Superficie con flujo piroclástico en el sector Cuesta de Bombón, provincia de Caravelí, con vista al Sureste.

#### **Superficie con flujos piroclásticos disectados (Sfp-d)**

Es una subunidad que presenta el mismo origen que la superficie con flujos piroclásticos, pero diferenciada porque ha sufrido los efectos de la denudación, y se encuentra con un alto grado de disección, con cortes a lo largo de cursos de quebradas y torrenteras que configuran un drenaje paralelo a subparalelo. Esta subunidad se encuentra distribuida en la Cordillera Occidental y representa el 1.23 % de la superficie total de la región.

En la región, representa un porcentaje menor. Se tiene como ejemplos en los sectores San Juan, Pampa Colorado, Loma Negra en la provincia de Caravelí; y en los sectores de los cerros Huarco, Sillapata, Chajue, Huanaco Huanaco, Trotira, Andamayo, entre otros, en la provincia de Caylloma.

Geodinámicamente, se pueden generar flujos de detritos que discurren por las quebradas que disectan la superficie piroclástica, así como derrumbes y caída de rocas en los frentes escarpados de esta subunidad.

#### **Vertiente o piedemonte volcanoclástica (V-vcl)**

Se trata de zonas de acumulación de material fragmentario de origen volcánico, compuesto por vidrios, pómez, arenas volcánicas cementada por cenizas. Están dispuestas en capas generalmente potentes de color gris blanquecino.

En la región, se observa en los sectores Jumica y Viscachani en la provincia de Arequipa.

### **4.3.3 Geoformas de carácter depositacional y agradacional**

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía y los glaciares, los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados. Dentro de la región, ocupa el 23.30 % de área total.

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

#### Unidad de piedemontes

En la región, comprende el 12.77 % del área total, y está constituida por depósitos convexos de residual acarreado y depositado en vertientes o laderas bajas y medias. Engloba **orígenes variados, asociados a la gravedad, aguas superficiales**, etc. y a la pendiente, como una condición determinante para su movilidad y acumulación de los materiales sueltos. Corresponde al tiempo geológico del Cuaternario.

#### Abanico de piedemonte (Ab)

Es común encontrar en la región depósitos aluviales o proluviales dispuestos en forma de abanicos, con ligera pendiente hacia el valle (desde suave 2° hasta 10-15°), relacionados enteramente a la ocurrencia de flujos de detritos. Son acumulaciones heterométricas y heterogéneas de material clástico en la desembocadura de quebradas o ríos tributarios.

Sus principales exposiciones se encuentran en los sectores de Huayculle, Trapiche, Pichirhua, correspondientes a la provincia de La Unión; también en sectores de Peña Blanca en la provincia de Caravelí, en la margen derecha del río Majes, entre el río

Capiza y Aplao, en el valle de Orcopampa y Andahua, y algunos abanicos aguas arriba de Tuti (fotografía 4.15).

En esta unidad, sobresale el cono de deyección del río Camaná, cuya **superficie casi plana se extiende desde San Gregorio hasta el mar**, y se ensancha progresivamente y adopta una forma triangular, con extremos separados aproximadamente en 12 km. Sobre esta geoforma, se asienta la ciudad de Camaná y poblaciones vecinas de San José, El Cardo, etc; así como también gran parte del valle agrícola, con sembríos principalmente de arroz y cebolla. El río Camaná discurre pegado hacia el noroeste encausado por defensas ribereñas, principalmente en la margen izquierda.

Localmente, se puede diferenciar en la parte terminal colindante al mar que corresponde a la ribera marina, con una orientación ONO-ESE, con una longitud de 12 km y un ancho de playa con cantos de hasta 70 m. Se localiza también en barras litorales compuestas de material grueso (arenas y gravas), dispuestas transversalmente al cauce, originadas en la interfase río-mar. También encontramos pequeñas albuferas producto de la **infiltración de las aguas de regadío y napa freática superficial**.

Pueden ser afectadas por inundaciones o desbordes, erosión fluvial; por ejemplo, un tramo de este abanico fue afectado también por el tsunami del 23 de junio del 2001.



Fotografía 4.15 Abanico de piedemonte en la desembocadura de la quebrada que confluye en la margen derecha del río Chaparra, sector Convento.



### Morrenas (Mo)

Comprende geoformas convexas suaves y alargadas producidas por la acumulación de materiales depositados por acción glaciar durante el Pleistoceno-Holoceno. Las morrenas son acumulaciones de material heterométrico, y se tiene observan gravas con formas angulosas, bloques, guijarros y arena, dispuestas sin estratificación en abundante matriz de limo y arcilla.

Existen varios tipos de morrenas, clasificadas de acuerdo con su posición en un glaciar: morrena de fondo es la que se sitúa debajo en contacto con el lecho; morrena lateral es la que se sitúa en las orillas o bordes del lecho glaciar; morrena central es la formada por la unión de morrenas laterales en la confluencia de dos glaciares en un mismo valle; y morrena frontal o terminal es la que se sitúa en la zona de deshielo del glaciar.

Las áreas principales de morrenas en la región Arequipa se ubican a lo largo de valles glaciares labrados en la Cordillera Occidental de los Andes y abarcan el 1.51 % de la superficie total de la región. En la región, se localizan en el norte y noreste del territorio. Se tiene muestras de ellas en los sectores Quesine, Irupata, Japutane, Sayhua, Añacaña, en la provincia de Caylloma, entre otros.

### Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Conforman planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de estribaciones andinas o de los sistemas montañosos, formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, que pueden formar abanicos debido al movimiento lateral-cíclico del

curso de los ríos o quebradas que los originan. La pendiente de estos depósitos es de suave a moderada ( $1^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ). Sobre estos abanicos, se pueden depositar también materiales provenientes de flujos torrenciales, comúnmente conocidos como huaicos.

Esta geoforma representa el 0.95 % de la superficie total de la región Arequipa. Ejemplos de esta subunidad pueden ser observados en en las zonas costeras y en los flancos altos de la Cordillera Occidental. Algunos ejemplos se aprecian en los sectores Pampa Bella Unión, Cerro Batidero, Pampa San Francisco, en la provincia de Caraveli, entre otros.

### Vertiente o Piedemonte aluvio-lacustre (P-al)

Son depósitos lacustres antiguos, generalmente con pendientes suaves, asociados a lagunas, que en muchos casos han desaparecido.

En la región, destacan en esta subunidad principalmente en las sierras altas de la Cordillera Occidental. Vemos estas vertientes en los sectores Umachulco, Cuchrancho, Marcanipampa en la provincia de Condesuyos, en las localidades del valle del Colca emplazadas sobre los depósitos aluvio-lacustrinos, de este a oeste: Tuti, Chivay, Yanque, Achola, Ichupampa, Lari, Madrigal y Maca. La característica de estos materiales hace que sean muy susceptibles a los deslizamientos (fotografía 4.16).

Geomorfológicamente, siendo una unidad localizada y emplazada en el valle del Colca, presenta una alternancia de materiales aluviales, proluviales y lacustres acumulados en el "paleolago Colca", y presenta la mayor acumulación de procesos de movimientos en masa en la cuenca (deslizamientos, derrumbes, huaicos y movimientos complejos), y erosión de laderas (Zavala *et al.*, 2014).



**Fotografía 4.16** Acumulación de depósitos de piedemonte aluvio-lacustre (paleolago Colca), en la margen derecha del río Colca, frente a Achoma (Zavala *et al.*, 2014).

### Vertiente o Piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Se trata de planicies entre inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas al pie de los sistemas montañosos o estribaciones, formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, en la mayoría de los casos activadas usualmente durante el fenómeno El Niño, y que dejan una expresión de surcos o canales en el trayecto del evento. Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas.

En la región Arequipa, tienen buena distribución y abarcan el 2.76 % de su superficie. Ejemplos de estas geoformas pueden ser observados principalmente en los flancos occidentales de la Cordillera Occidental. Se encuentran en los sectores Pampa Majes, Pampa Alto Huacan, Pampa Matorrales, en la provincia de Caylloma, entre otros (fotografía 4.17).

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



Fotografía 4.17 Piedemonte aluvio-torrencial, compuesto por una superposición de abanicos proluviales de quebradas secas activadas con lluvias excepcionales en quebrada del Cerro Santo en la margen derecha del río Atico.

### Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Se trata de una unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, que se encuentran interestratificados y no es posible separar como unidades individuales. Estos materiales se encuentran acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles.

Los depósitos coluviales se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, son sueltos sin cohesión, conforman taludes de reposo poco estables. Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, derrumbes y vuelcos.

Los depósitos deluviales se caracterizan por estar conformados por capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, que se depositan y cubren las laderas de los cerros, con taludes suaves a moderados. Estos depósitos han sido removidos por la esorrentia formada por precipitaciones pluviales, la cual no

se encuentra encauzada o ha sido transportada por torrentes de corto recorrido. Los principales agentes formadores son los procesos de erosión de suelos, la gravedad, las lluvias y el viento.

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en toda la región Arequipa y abarca el 1.56 % de su superficie. Estas geoformas se pueden asociar geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo movimientos complejos, reptación, avalancha de detritos y flujos de detritos.

### Vertiente coluvial de detritos (V-d)

Se forma al pie de acantilados, escarpes y laderas muy empinadas, con escasa o nula presencia de suelos y vegetación, por la acumulación de fragmentos de roca (entre 50 y 80 %) de variado tamaño (gravas a bloques), resultantes de la meteorización física por gelifración o termofración de los materiales que los constituyen. Estos fragmentos, deprendidos de los escarpes, se desplazan en caída libre o rodando cuesta abajo, y van formando aglomeraciones de bloques sueltos que adoptan una forma semicónica, por lo cual se les denomina "conos". Se presentan como un depósito único y talud de detritos cuando hay varios conos acomodados de forma sucesiva. Los



materiales coluviales acomodados al pie de acantilados o laderas tienen un ángulo de reposo de  $35^\circ$  aproximadamente. Por otro lado, cuando los fragmentos presentan tamaños variados, estos se disponen en un patrón selectivo, con los bloques de mayor tamaño hacia la base debido a su mayor momento y a su facilidad para rodar, y los fragmentos más pequeños hacia el ápice del depósito. Estos depósitos se consideran inestables ya que no existe cohesión entre sus fragmentos; por ello, es fácil que un sobrepeso (caída de nuevos bloques) produzca deslizamiento de

parte de los materiales. Cuando el talud o vertiente de detritos es relativamente antiguo y el clima es propicio, se puede desarrollar suelo y cobertura vegetal estabilizadora (Villota, 2005).

Esta subunidad no ha sido representada en gran número en el mapa geomorfológico de Arequipa (fotografía), debido a que la mayoría de sus exposiciones no son cartografiables para la escala de trabajo que se adoptó en este estudio. Su escasez en el mapa, sin embargo, no determina su ausencia en el terreno (fotografía 4.18).



**Fotografía 4.18** Canchales de detritos en laderas del cerro Molle del Gato, en la margen derecha del río Atico.

#### **Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)**

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, prehistóricos, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo de deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente, su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados. Son depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles. Su morfología es usualmente convexa y su disposición es semicircular a elongada en relación a la zona de

arranque o despegue del movimiento en masa. En la región, esta subunidad fue identificada principalmente en la Cordillera Occidental (fotografía 4.19).

Estas acumulaciones se relacionan con rocas de diferente naturaleza litológica, ya que es posible encontrarlas comprometiendo todo tipo de rocas. Geodinámicamente, se asocian a reactivaciones en los materiales depositados por los movimientos en masa antiguos, así como por nuevos aportes de material provenientes de la actividad retrogresiva de eventos activos.



**Fotografía 4.19** Depósitos de deslizamiento en el sector Madrigal (Zavala, *et al.*, 2014).

### Vertiente glacio-fluvial (V-gfl)

Es una subunidad geomorfológica 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, y 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 substrato rocoso. En la región Arequipa, esta subunidad ha sido identificada en las zonas altas de la Cordillera Occidental asociada a una morfogénesis de origen glaciar o periglacial, y abarca el 5.16 % de la superficie total de la región. Su distribución está restringida a altitudes superiores a los 4400 m s. n. m. Sin embargo, algunos depósitos, como en el caso de la zona de Viraco se tienen en la falda sur del Coropuna, se sitúan entre 2000 y 3600 m s. n. m.

Son materiales fáciles de erosionar y remover con lluvias, lo que genera avalanchas o flujos de detritos y cárcavas.

### Vertiente glacial o de gelifración (V-gl)

Se trata de una subunidad geomorfológica formada por la acumulación gravitacional de detritos al pie de las paredes de un valle glaciar o en laderas montañosas afectadas por el retroceso glaciar, producto de la meteorización mecánica (gelifración) del substrato rocoso que conforman las paredes del valle. Son depósitos recientes que suelen cubrir los depósitos preexistentes o superficies abrasionadas por glaciares, que, por la escala de trabajo, no son visibles en algunas de sus geoformas en el mapa.

Estos materiales pueden encontrarse formando un solo cono o formando talud de detritos, de granulometría variada; y su pendiente es muy fuerte, y puede sobrepasar los 30° (figura 4.7).

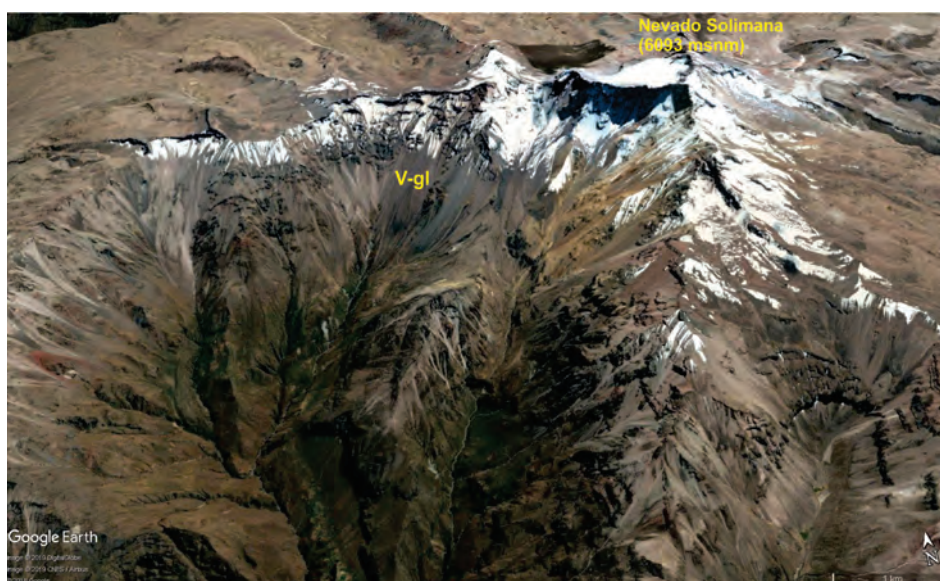


Figura 4.7 Vertiente de gelifractos acumulados al pie del nevado Solimana afectada por el retroceso glaciar; distrito de Chichas, provincia de Condesuyos.

### Unidad de planicies, depresiones y otros

Estas unidades están asociadas a depósitos aluviales, aluviales antiguos y fluvioglaciares, limitados en muchos casos por altiplanicies, bofedales, depósitos antropógenos, faja litoral, mantos de arena, terrazas y valles. Se encuentran sujetas a modificaciones físicas constantes o recurrentes, desarrolladas normalmente en cuencas, llanos andinos, Faja Costera. Ocupan una superficie de 10.53 % del área de la región. Para una mejor descripción, se individualizaron las siguientes subunidades:

### Altiplanicie sedimentaria (AP-s)

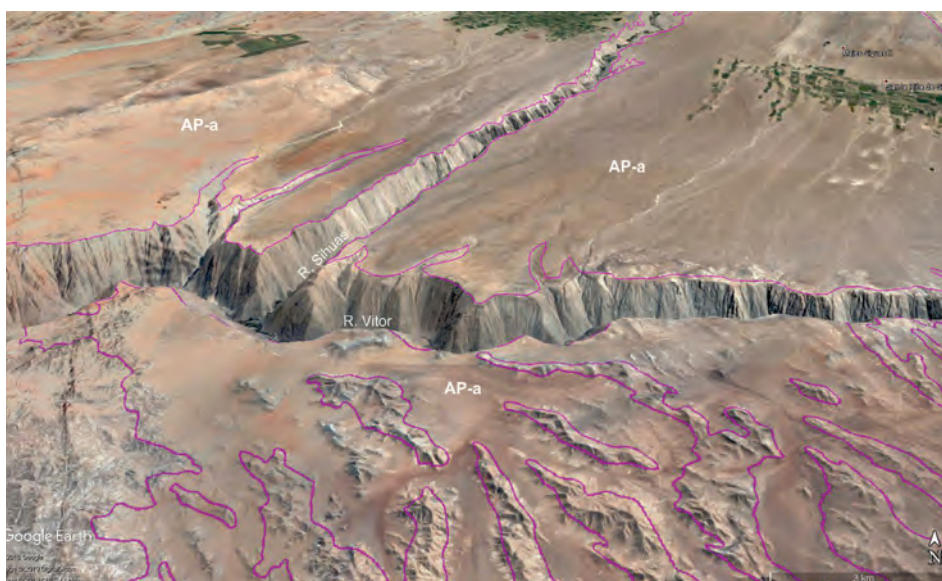
Es una subunidad caracterizada por presentar un relieve predominantemente llano, donde los procesos de agradación superan a los de degradación (erosión) y se pueden encontrar elevados con respecto a los terrenos circundantes por efectos de la erosión diferencial o por efecto tectónico. Pueden asimismo presentar ligera inclinación; y estar conformados por secuencias de rocas sedimentarias.

Fueron reconocidos en el extremo suroeste de la región Arequipa. Algunos ejemplos se tiene en los sectores de Pampagrande, Lomas Altas, Pampas del Cenizal, La Yesera, Blanca, Bellavista, Negromuerto, Piedras Paradas, Sihuas, Pedregosa, de Camarones, en las provincias de Camaná y Caylloma. Abarca el 5.70 % de la superficie de la región (figura 4.8).

#### **Bofedales (Bo)**

Terrenos planos cóncavos anegados, con formaciones vegetales en un ambiente edáfico orgánico; con una condición hídrica

de saturación permanente. Se localizan en las cabeceras de valles de toda la región Arequipa, donde se acumulan las aguas de precipitación pluvial y de surgencias de aguas subterráneas (fotografía 4.20). Muchas de estas subunidades no se representan en el mapa geomorfológico de la región Arequipa, por factores de escala, ya que por sus dimensiones no son cartografiables. Algunos ejemplos son Bofedales de Pucuncho, en la provincia de Condesuyos, en los sectores de Sural, Santa Rosa, en los sectores de Llallahuani, en los sectores de Chapiocco, en los sectores de Japuocco, entre otros, en la provincia de Arequipa.



**Figura 4.8** Terrenos planos en ambas márgenes del río Sihua y Vitor, en los distritos de Quilca, Santa Rita de Sigas y Majes, provincias de Camaná y Caylloma.



**Fotografía 4.20** Vista de bofedales en el sector Cachimayo, confluencia de la quebrada Cachimayo y río Hornillos, distrito de Sibayo, provincia de Caylloma.



### **Campo de dunas (C-d)**

Subunidad conformada por la acumulación de arena que fue transportada por actividad eólica. La dirección de movimiento del viento es del mar hacia el continente y la acumulación de arena llega a formar dunas.

Las dunas son montículos de arena móvil, de diversas formas y tamaños, debido a los diferentes tipos de sedimentación eólica. Los campos de dunas se presentan como una serie de lomas en las planicies costeras o como dunas trepadoras detenidas en las laderas de colinas y montañas.

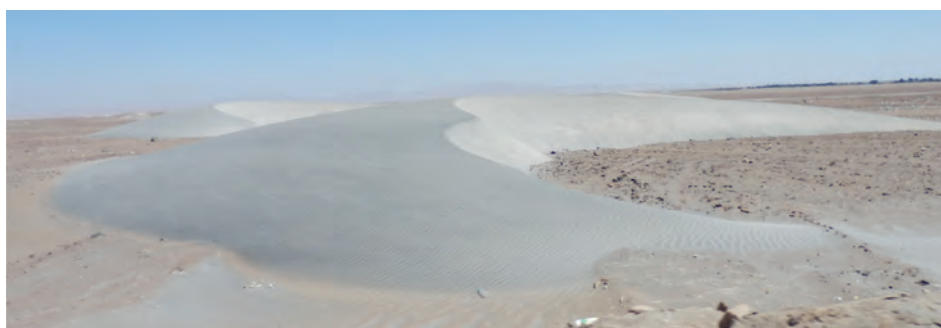
En la región Arequipa, esta subunidad fue reconocida al noroeste de la región, en Cerro Blanco, Cerro Cachiloma,

Pampa Pajayuna, Pampa Romerillo, en la provincia de Caravelí. Al suroeste de la región, se tiene los sectores de Cerro Azul, en la provincia de Camaná; y los sectores San Isidro, La Joya Nueva, entre otros, en la provincia de Arequipa (fotografías 4.21 y 4.22).

Durante el avance de estos campos de dunas, las arenas invaden y cubren campos de cultivo, carreteras, viviendas y todo tipo de infraestructura que se encuentra en su dirección de avance, a los cuales pueden llegar a inutilizar. En el caso de las carreteras, esta migración de arena puede dificultar e incluso cortar el tránsito de vehículos por periodos importantes de tiempo.



**Fotografía 4.21** Dunas trepadoras y manto de arena en el cerro Azul, en la margen derecha de la quebrada Yerbabuena, con vista hacia el Norte.



**Fotografía 4.22** Campo de dunas en la pampa San José, con vista hacia el Oeste.

### Faja o borde litoral (F-l)

Se denomina faja litoral a una delgada franja con un ancho máximo de 80 metros, que aparece en algunos sectores en la costa de la región Arequipa donde se desarrollan playas de arena y acantilados costeros, y que, por la escala de trabajo, no se ven reflejadas algunas 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.

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, producto del levantamiento tectónico o 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 las playas Catarindo, La Punta, Cardones, Quilca, entre otras (fotografías 4.23 y 4.24).

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 como en el tramo comprendido entre Mollendo y el Puerto Matarani, Inclán, Punta de Lobos, entre otros. Estos efectos son mayores cuando ocurren movimientos sísmicos.



Fotografía 4.23 Playa Catarindo en el sector Mollendo, con vista al Oeste.



Fotografía 4.24 Acantilado en el puerto Matarani, distrito y provincia de Islay, con vista al Noroeste.



### Laguna y cuerpos de agua (Lg/ca)

Dentro de esta unidad, se reúne a todos los cuerpos de agua de origen natural (lagunas) y artificial (represamientos), los cuales tienen dimensiones representables a la escala de trabajo. Ejemplos de esta subunidad en la región Arequipa se identificaron en los sectores denominados la Laguna Salinas, Embalse El Frayle, Laguna Pampa Blanca, Laguna Peñane,

Laguna Cochapata, entre otros, en la provincia de Arequipa; así como la represa de Angostura a 4220 m s. n. m., en la provincia de Caylloma. También se considera dentro de esta subunidad a uno de los humedales más importantes de la costa peruana, las Lagunas de Mejía, consideradas como Santuario Nacional y ubicadas en la provincia de Islay, a escasos metros del mar (figura 4.9).



Figura 4.9 A) Vista de la presa Angostura. B) Lagunas de Mejía, ubicadas en el distrito de Dean Valdivia, provincia de Islay.

### Llanura o planicie aluvial (PI-al)

Se trata de una geoforma que se extiende desde el borde litoral hasta las estribaciones andinas y posee un relieve plano-ondulado cuya pendiente es menor a los 5°. Se encuentra cubierta en muchos sectores por depósitos eluviales, piedemontes aluvio-torrenciales y aluviales que descienden de las estribaciones andinas. Se encuentra conformada por materiales de las formaciones Pisco (lodolitas biogénicas con delgados niveles de areniscas de grano grueso) y Millo (conglomerados polimícticos, con limos y areniscas), ambos del Neógeno-Cuaternario.

Se identificó esta subunidad en el lado occidental de la región Arequipa; y tiene como una de sus más representativos ejemplos el curso entre el río Amaná y la quebrada Jahuay, sector San Isidro, así como la playa Yauca, margen izquierda del río Acarí.

Geodinámicamente, puede ser afectada por flujos de lodos y detritos que discurren por los escasos cursos secos de quebradas que cortan la planicie costera. Estos eventos son poco frecuentes y están asociados a precipitaciones pluviales extraordinarias, que pueden estar asociadas al fenómeno El Niño.

### Llanura o planicie inundable (PI-i)

Son superficies bajas, con pendientes suaves adyacentes a los fondos de valles principales y el mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sea estacionales o excepcionales en máximas avenidas. Morfológicamente, se distinguen como terrenos planos compuestos de material no consolidado y removible con cada subida estacional del caudal del río. Se tiene ejemplos en los tramos de los ríos Acarí, Camaná, Quilca, Tambo, entre otros (fotografía 4.25).



Fotografía 4.25 Llanura inundable en ambas márgenes del río Quilca, aprovechado para uso agrícola, con vista al Sur.

### Mantos de arena (M-a)

Se trata de una geoforma conformada por la acumulación de arenas eólicas a manera de mantos, los cuales se encuentran cubriendo terrenos planos a plano ondulados de la planicie costera. Dentro de los mantos de arena, se pueden encontrar alineamientos de dunas que siguen la dirección del viento. También es posible encontrar acumulaciones de arena en laderas de montañas, colinas o lomadas las cuales sirvieron de trampas que favorecieron la acumulación de la arena

(fotografías 4.26 y 4.27). Preferentemente, se localizan aledañas al litoral, suelen tener permanencia durante varios años, y son características de ambientes desérticos.

Dentro de la región, esta subunidad ocupa una superficie importante, que llega alcanzar el 2.44 % 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.



Fotografía 4.26 Mantos de arena en Loma La Yesera, distrito de Ocoña, provincia de Camaná.



**Fotografía 4.27** Mantos de arena en el sector Cerro de Arena, en las Lomas Agua Blanca, en el distrito de Atico, provincia de Caravelí.

#### **Terraza aluvial (Ta) y Terraza alta aluvial (Ta-al)**

Son porciones de terreno plano que se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río. La altura a la que se encuentran estas terrazas representa niveles antiguos de sedimentación fluvial, donde las terrazas más antiguas están a mayor altura. Estas geoformas han sido disectadas por las corrientes fluviales como consecuencia de la profundización del valle. Sobre estos terrenos, se desarrollan

actividades agrícolas. Se diferenciaron dos niveles de terrazas: las denominadas “terrazas aluviales” (T-al) y la “terrazza alta aluvial” (Ta-al) a lo largo de los valles de los ríos Acarí, Yauca, Majes/Camaná, Chili, Ocoña, Tambo, Orcopampa, Cajabamba, etc. (fotografías 4.28 y 4.29).

Sobre estos terrenos, se desarrollan extensas zonas de cultivos y redes viales. Están sujetos normalmente a erosión fluvial.



**Fotografía 4.28** Valle de la quebrada Pescadores, sector Pescadores. Se aprecia un valle encajonado en donde se puede diferenciar su cauce o llanura de inundación y amplias terrazas aluviales en ambas márgenes, ocupadas por terrenos agrícolas.





Fotografía 4.29 Terrazas aluviales en ambas márgenes de la quebrada Huarangal, sector Balcones de Chilina.

#### Terraza indiferenciada (T-i)

Son valles de ríos estrechos que discurren cortando la Cordillera Occidental, donde no ha sido posible cartografiar de forma diferenciada el fondo de valle, las terrazas y la llanura de inundación, debido a la escala de trabajo. Ocupan un área de 0.11 % de la superficie total de Arequipa.

Algunos ejemplos se observan en las quebradas de Chala, Carbonera, tramos superiores de los ríos Ocoña, Ojoruro, Chichos, entre otros. Se presentan procesos como derrumbes, deslizamientos, una de cuyas causas principales el proceso de erosión fluvial.

#### Terraza marina (T-m)

Las terrazas marinas se forman por el proceso de abrasión marina, y por procesos de levantamiento y hundimiento de las costas, que dan lugar a la presencia de terrazas en el frente litoral, en las costas de levantamiento o terrazas sumergidas en las costas de hundimiento (Dávila, 1999). En otras palabras, son el resultado de los numerosos cambios del nivel del mar a lo largo del Cuaternario, así como por la deformación del continente.

Actualmente, la neotectónica (movimientos tectónicos actuales) trata de recuperar el equilibrio isostático. Además, intenta explicar el levantamiento de ciertas playas. Otros movimientos, como la flexión continental, también provocarían el ascenso o descenso de la línea de costa, lo que implicaría transgresiones y regresiones marinas. Una regresión implica el progresivo abandono de playas, que quedan colgadas, y el aumento del

poder erosivo de los ríos que va minando las terrazas. Una transgresión, por el contrario, implica la formación de terrazas al reducir el poder erosivo de los ríos (Zavala, 2009).

En la región, se presenta esta subunidad al noroeste en los sectores de Yanyarina, Pampa resbaladero en la provincia de Caravelí, playas Chala-Peña Colorada, Millo-Tres Palos; al sur de la región en el tramo Punta Playuelas-Mollendo, El Horno-Playa Las Cuevas, entre otros (fotografía 4.30).

#### Valle glaciar (VII-gl)

Es el paisaje actual heredado del labrado que ocasionan los glaciares en las altas cumbres de montañas que se pueden encontrar desde los 4 000 m s. n. m. El principal agente modelador son los glaciares, aun cuando han contado con el concurso de la meteorización física y la escorrenría.

En la parte alta, los fondos de valle son más abiertos, tienen sección transversal en "U", con topografía aplanada y pendientes que van de 2 a < 8 %. Al pie de las paredes del valle glaciar, se encuentran constituidos por vertientes de gelifracción, las cuales son producto de la meteorización mecánica del substrato rocoso que conforman las paredes del valle. Pueden contener un glaciar activo o encontrarse en otra etapa de desarrollo, con corrientes fluviales que pueden estar removiendo y transportando materiales depositados por el glaciar. Dentro de un valle glaciar, se pueden distinguir las siguientes geoformas: Circo glaciar, artesa, olla glaciar, conos de derrubios de gelifracción, morrenas y drumlins.





Fotografía 4.30 Terraza marina en el sector Playa Las Cuevas, en el distrito de Punta de Bombón, provincia de Islay, con vista al Noroeste.

Esta subunidad fue reconocida en la Cordillera Occidental y abarca el 0.10 % de la superficie de la región Arequipa.

#### 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.

#### Depósito antrópico: actividad minera, canteras, entre otros (Dan)

Dentro de esta subunidad, se ha 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 depositación de la actividad minera, que son cartografiables a la escala de trabajo del presente estudio y generan cambios en el relieve, por remoción del suelo mediante excavaciones subterráneas o de tajo abierto (figura 4.10). Abarca el 0.06 % de la superficie de la región.

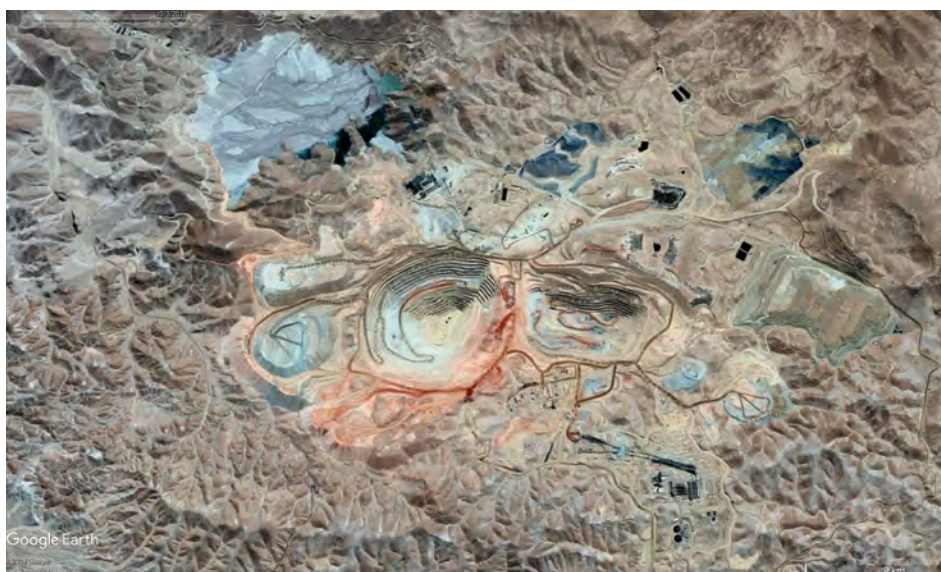


Figura 4.10 Imagen Google Earth, vista panorámica del tajo abierto y área de operaciones mineras de Cerro Verde.



# CAPÍTULO V

## ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

### 5.1 GENERALIDADES

Un mapa hidrogeológico muestra los aspectos más relevantes de las diferentes formaciones geológicas que afloran en cualquier territorio, generadas por procesos de formación diversos y sometidos con posterioridad a modificaciones exógenas o endógenas, que configuran las características referentes a la infiltración, almacenamiento, o a la facilidad de flujo de las aguas subterráneas que lo atraviesan, así como la evolución química e isotópica por interacción del terreno. Con el fin de zonificar las formaciones geológicas más favorables al almacenamiento y circulación de aguas subterráneas, los principales parámetros hidrogeológicos para elaborar un mapa hidrogeológico son la porosidad y la permeabilidad de las rocas que afloran en el área de estudio.

Durante los últimos años, en la región Arequipa se han desarrollado numerosos estudios hidrológicos e hidrogeológicos con un objetivo específico: captación de aguas subterráneas, recarga artificial de acuíferos, aumento de disponibilidad hídrica, etc., ya sea con fines agrícolas, domésticos o de zonificación.

Arequipa es la segunda región más industrializada del Perú y una de las más pobladas, y una de sus principales actividades económicas es la agricultura. A nivel nacional, Arequipa es la primera en producción de cebolla y tercera en arroz, trigo, frijol y otros productos, lo que evidencia una alta demanda hídrica en esta región, lo que hizo evidente la necesidad de grandes obras hidráulicas como el proyecto Majes-Siguas.

Los ríos que recorren la región de Arequipa llegan desde la región interandina, y son los principales los siguientes: Ocoña, Tambo, Quilca-Vítor-Chili, Camaná-Majes-Colca, Caravelí, Chala, Atico, entre otros.

El Ingemmet, dentro de sus funciones, ha elaborado los mapas hidrogeológicos de las cuencas de los ríos Quilca-Vítor-Chili, Camaná-Majes-Colca, Caravelí, Tambo y Ocoña, zonificando las rocas y suelos con características para almacenar y transmitir aguas subterráneas.

El análisis de la litología y materiales inconsolidados, así como la presencia de fallas y estructuras existentes en la región,

permiten interpretar que existen condiciones favorables para encontrar estratos permeables o acuíferos que almacenan agua subterránea, principalmente en depósitos cuaternarios (aluviales, fluvioglaciares, fluviales, etc.), en depósitos paleo-neógenos (Formación Moquegua), en rocas mesozoicas fracturadas (Formación Socosani, Grupo Yura), así como en rocas volcánicas lávicas y piroclásticas (Grupos Tacaza, Barroso), entre otras.

El régimen de escurrimiento en la región es constante (alta en épocas de lluvia y baja en épocas de estío), con vertientes principales de carácter permanente, con agua clara en épocas de lluvias, principalmente en la parte alta, la misma que es utilizada para la agricultura, riego de vegetales, consumo humano, industrias, recreación, balneológico, piscicultura, etc. Así mismo, la existencia de fuentes de aguas termales y minerales en el área indica la presencia de acuíferos profundos.

Para la elaboración del mapa hidrogeológico se ha seguido la guía de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (I.A.H), denominada "Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend" (Struckmeier, & Margat, 1995), el cual ha sido adaptado por el Ingemmet para la elaboración de mapas hidrogeológicos por cuencas hidrográficas en el territorio peruano. Su clasificación estuvo basada en el componente litológico mayoritario de la formación geológica. La caracterización hidrogeológica considera a las formaciones geológicas, de acuerdo con sus características litológicas-estructurales y su comportamiento permeable o impermeable, como acuíferos, acuitardos y acuífugos, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en el Mapa hidrogeológico de la región Arequipa (mapa 5).

### 5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REGIÓN AREQUIPA

El mapa hidrogeológico se elaboró en base a la caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas, y se puso énfasis en aquellas que tienen las condiciones necesarias para almacenar y transportar aguas subterráneas con potencial para su prospección y explotación como acuíferos.

Asimismo, esta caracterización nos permite determinar cuáles unidades de roca o depósitos superficiales retienen o dejan transmitir el agua subterránea a fin de evaluar qué medios geológicos favorecen una mayor susceptibilidad a los procesos de ocurrencia de movimientos en masa. Las unidades hidrogeológicas se diferencian entre sí por un color característico de acuerdo al grupo al que pertenecen. Su caracterización se realizó teniendo en cuenta la geomorfología y geología como medios de circulación. Se han considerado también las propiedades hidráulicas de los materiales como la transi- tividad, la porosidad y la disposición estructural de las diferentes litologías, que afloran en este sector.

Los acuíferos en la región Arequipa están conformados principalmente por acuíferos porosos no consolidados, seguidos por los acuíferos fisurados volcánicos, sedimentarios y volcánico-sedimentarios, acuitardos intrusivos, sedimentarios, subvolcánicos, volcánicos y volcánico-sedimentarios, y acuífugos metamórficos. La secuencia estratigráfica que presenta la región Arequipa está constituida por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, con rangos cronológicos comprendidos desde el Paleozoico hasta el Cuaternario reciente, cuyas características hidrogeológicas son también influenciadas por la edad de las formaciones rocosas y el aspecto estructural (cuadro 5.1).

Cuadro 5.1

## Unidades hidrogeológicas presentes en la región Arequipa

Unidad	Clasificación
Hidrogeológica	
Acuífero	Poroso no consolidado
	Fisurado sedimentario
	Fisurado volcánico
	Fisurado volcánico sedimentario
	Sedimentario
Acuitardo	Intrusivo
	Sedimentario
	Subvolcánico
	Volcánico
	Volcánico sedimentario
Acuífugo	Metamórfico

Sobre la base de 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) y las unidades hidrogeológicas encontradas se detallan a continuación:

### 5.2.1 Acuíferos

Son unidades hidrogeológicas que están 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. Confor- man la unidad hidrogeológica con regular exposición (49.67 % del

área total de la región) y se clasificaron los siguientes tipos de acuíferos:

#### 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 que se extienden desde la superficie del terreno hasta la base del acuífero, con mayor exposición en la región (23.12 %). Este tipo de acuífero se le conoce como acuífero no confinado o libre. La recarga se produce debido a una infiltración vertical a través de la zona no saturada. También se puede producir a través de flujo subterráneo lateral o desde estratos inferiores. Están compuestos por depósitos aluviales, fluviales 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 en la planicie costera. También se encuentran en esta unidad depósitos de movimientos en masa, así como depósitos de remoción heterogéneos y depósitos de bofedales de altiplanicie cuya estructura de salida consiste en materiales granulares sin cementar. Su porosidad varía de 5 % en arenas a 50 % en gravas fluviales; y su permeabilidad, de 1 a 100 m/día con un promedio de 35 m/día. La conductividad hidráulica de este tipo de acuífero está básicamente condicionada por la magnitud y disposición geométrica de su porosidad intergranular primaria.

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.

### b) 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, comprenden a 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, las que constituyen generalmente importantes acuíferos, areniscas cuarzosas, calizas, con algunos niveles delgados de conglomerados y lutitas. Su porosidad primaria se incrementa por el grado de fisuración a las que están expuestas, lo que puede incrementar la percolación y el almacenamiento de las aguas subterráneas. Las formaciones geológicas que fueron consideradas como acuíferos fisurados sedimentarios en la región son:

- Los **acuíferos Labra, Hualhuani y Puente**, que pertenecen al Grupo Yura y comprenden areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas, que poseen porosidad primaria y secundaria (fracturas abiertas) e interconexión entre ellas.

En el acuífero Labra, se observan pocas evidencias de agua subterránea, cuyas surgencias se dan en contacto con acuíferos fisurados volcánicos y/o acuíferos detríticos, con bajo caudal. Los valores de porosidad y conductividad hidráulica son de 5 a 20 % y 10-2 a 102 m/día (Gregory & Walling, 1990).

Para el acuífero Hualhuani, la permeabilidad calculada mediante los ensayos de infiltración es de 0.109 m/día. Las

evidencias de agua subterránea son escasas, afectadas por fallas o estructuras y contacto con otros acuíferos.

Y por último, para el acuífero Puente, en la región se comporta como acuífero fisurado discontinuo de extensión local y baja productividad sin evidencias importantes de agua subterránea.

- El **acuífero Murco** está compuesto por areniscas intercaladas con limolitas, lodolitas y limoarcillitas de coloraciones rojizas. Se evidencian surgencias de agua subterránea de bajo caudal, en el contacto con otros acuíferos. Son acuíferos discontinuos, alargados y de baja productividad.
- El **acuífero Arcurquina** está compuesto de calizas masivas de color gris. Los ensayos de infiltración realizados en el campo dieron una conductividad hidráulica baja de 0.058 m/día. En extensión es muy reducido y de baja 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 mismas 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. De este acuífero, se originan algunas de las fuentes de buen caudal, como los manantiales Yumina (Q=300 L/s) y Ojo del Milagro 1 y 2 (Q=140 y 110 L/s). En este acuífero, se encuentran también numerosos manantiales con caudales superiores a 10 l/s.

- El **acuífero Frontal** está compuesto de lavas traquiandesíticas, de extensión local, y presenta buena permeabilidad por la presencia de fracturas abiertas.
- El **acuífero Matalaque** está compuesto por lavas andesíticas. Este acuífero es minoritario en la región y no se encontraron evidencias de surgencias de aguas subterráneas.
- El grupo Tacaza corresponde a una unidad volcánico-sedimentaria. La parte volcánica está compuesta de andesitas basálticas y estas conforman el **acuífero Tacaza**, que es de extensión local y de baja productividad.

#### d) Acuíferos fisurados volcánico sedimentarios (AFVS)

La mayoría de los acuíferos volcánico-sedimentarios constituyen grandes reservorios de aguas subterráneas. Sin embargo, en zonas donde no existe precipitación pluvial se consideran acuíferos de baja productividad. Son secuencias volcano-sedimentarias, compuestas por rocas volcánicas hacia el techo y rocas sedimentarias en la base. En estos materiales, la permeabilidad de las rocas queda circunscrita a los planos de estratificación en las rocas sedimentarias.

En la región, agrupa a secuencias principalmente de flujos andesíticos, piroclásticos, con intercalaciones de conglomerados, areniscas, conglomerados y lodolitas de los Grupos **Mitu** y **Toquepala**, y de la Formación **Guaneros**. Estos acuíferos son de extensión local y de baja productividad.

#### e) 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**, el cual se encuentra ampliamente distribuido en la región. Este acuífero tiene un alto potencial hidrogeológico pero moderada productividad, debido a la poca precipitación que se da en la zona donde aflora, por lo cual es restringida su recarga, aunque pozos profundos confirman la existencia de agua subterránea en este acuífero, que es, sin embargo, de mediano interés hidrogeológico.

### 5.2.2 Acuitardos (AT)

Los acuitardos con mayor exposición conforman un 44.76 % del área total de la región Arequipa. Corresponden a formaciones rocosas, diaclasadas y hasta con esquistosidades menores y fracturas cerradas, que 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. De acuerdo a la amplia exposición de acuitardos en la región, se han clasificado de la siguiente forma:

#### 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 **Punta Coles**, **Ilo**, **Incahuasi**, **Linga**, **Patap**, **Yarabamba**, de los Batolitos **San Nicolás**, **Atico-Camaná**, e intrusivos pérmicos, cretácicos y paleoeneógenos. Litológicamente, están compuestos por granitos, granodioritas, dioritas, gabros, sienitas, microdioritas, tonalitas, monzonitas, cuarzomonzodioritas y diabasas, que pueden presentar fracturas

muy superficiales y albergar algo de agua, pero muy superficial, lo que hace que no se lo considere como acuífero.

#### b) Acuitardo sedimentario (ATS)

Litológicamente, corresponde a secuencias de arcillas, limos y yesos semiconsolidados del **acuitardo Chilcane**, conglomerados intercalados con niveles de margas y calizas, limolitas cálcneas y margas del **acuitardo Socosani**, areniscas cuarzosas intercaladas con limolitas y lutitas de **acuitardo Ambo**. Estos materiales tienen carácter impermeable y se encuentran en reducida extensión.

- El **acuitardo Pisco** está compuesto por areniscas tobáceas blanquecinas, limolitas, niveles de conglomerados y coquina. A una escala más puntual, las areniscas pueden constituir buenos acuíferos, aunque en general predominan las limolitas, y son de extensión reducida en la región.
- Los conglomerados y megabrechas calcáneas del **acuitardo Ayabacas** tienen una extensión muy limitada y son de escaso interés hidrogeológico.
- El **acuitardo Camaná** está compuesto por lutitas bentónicas, intercaladas con arenas de grano medio a fino, areniscas, lutitas y limolitas y arcosas con lentes de coquinas, el **acuitardo Cachíos**, de lutitas negras con abundantes restos de plantas y areniscas, y el **acuitardo Cabanillas**, por una intercalación de areniscas y lutitas micáceas. Estos acuitardos tienen extensión localizada y poco interés hidrogeológico.

La intercalación de material conglomerádico y arenas arcillosas de los depósitos de bofedal, por lo general, evidencian la presencia de algunos manantiales, que son condicionantes de las surgencias de agua subterránea.

- El **acuitardo Huanca** está constituido por conglomerados rojos semiconsolidados, envueltos en una matriz limolítica con cemento calcáreo. También tenemos el **acuitardo Chonta**, constituido por calizas micríticas y bioclásticas intercaladas con margas y limoarcillitas. Estos materiales son semiimpermeables, y de extensión local.
- Las calizas y lutitas del **acuitardo Tarma** y la intercalación de calizas grises de grano fino del **acuitardo Gramadal** corresponden a materiales semiimpermeables, que, en zonas localizadas, se pueden encontrar con fracturas abiertas y albergar agua subterránea. En general, se les considera como acuitardos.

#### c) Acuitardos subvolcánicos (ATSV)

Agrupa a una serie de unidades subvolcánicas de composición andesítica, 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.

#### d) Acuitardos volcánicos (ATV)

Esta unidad hidrogeológica se caracteriza por su baja permeabilidad y puede almacenar agua subterránea pero de percolación muy lenta. No tienen condiciones para generar acuíferos productivos. Los acuitardos volcánicos son formaciones geológicas que están compuestas principalmente por rocas piroclásticas, lavas ácidas e ignimbritas.

- Se consideran las tobas riolíticas y riodacíticas, ignimbritas intercaladas con arcosas del **acuitardo Huaylillas**, los cuales actúan de condicionante de las surgencias de aguas subterráneas del acuífero Barroso.
- También entre los acuitardos volcánicos tenemos los flujos piroclásticos, tobas, bombas, lapilli, cenizas, aglomerados volcánicos andesíticos, brechas piroclásticas del acuitardo y conglomerados **volcánico Barroso**, los bloques volcánicos, cenizas, depósitos piroclásticos, caída de tefras, bloques, arenas, arcillas y depósitos de avalancha del **acuitardo Frontal**. Corresponden a materiales semiimpermeables de moderada extensión en la región. También se comportan como condicionantes de los flujos subterráneos.
- El **acuitardo Casma**, compuesto de flujos piroclásticos soldados, corresponde a materiales impermeables de reducida extensión, sin importancia hidrogeológica.

#### e) Acuitardos volcánico-sedimentarios (ATVS)

Están compuestos por secuencias volcánicas intercaladas con secuencias sedimentarias. Agrupan a los volcanoclastos sedimentados, algunos calcáreos, lavas y conglomerados de los acuitardos Puno, Chocolate y Tacaza. Son materiales impermeables, de gran extensión en la región, pero sin importancia hidrogeológica.

### 5.2.3 Acuífugos (AGM)

Los acuífugos son formaciones que no tienen condiciones para almacenar ni transmitir aguas subterráneas. Esto sucede en materiales totalmente impermeables. En la región, los acuífugoacuífugos corresponden al complejo Basal de la Costa, de exposición muy reducida (5.57 %).

#### a) Acuífugo Acuífugos metamórficos:

Corresponden a materiales de baja a nula permeabilidad, sin interés hidrogeológico y de extensión regional. Incluye a los gneis, esquistos, y rocas metavolcánicas del **Complejo basal de la Costa y del Complejo Santa Rita**.

## 5.3 IMPACTO DE LAS IRRIGACIONES DE MAJES-SIGUAS

La costa de Arequipa contiene numerosas formaciones sedimentarias marino-continenciales de edad Paleógeno y del Pleistoceno. Estas formaciones, por su morfología suave, ligeramente ondulada, se les conoce como "pampas", y son cortadas por numerosos cursos de agua o quebradas secas que descienden de las partes altas, dentro de las cuales resaltan las existentes en la cuenca del río Colca-Majes-Camaná y la cuenca vecina Quilca-Vitor-Chili (subcuenca de Sihuas).

Sobre las pampas de Majes y Sigwas, fue concebido el Proyecto Majes-Siguas como un proyecto de desarrollo regional de propósitos múltiples basado en la regulación y derivación de recursos hídricos de las cuencas altas de los ríos Colca y Apurímac, para su uso racional en la irrigación de 65,000 hectáreas de tierras nuevas en las pampas. La primera etapa, ya realizada, fue la habilitación de las pampas de Majes con 20,000 has.

El valle del Sihwas, ubicado adyacentemente al de Majes, discurre con un desnivel de aproximadamente 150-250 m respecto a las pampas suprayacentes de Majes. La irrigación está ubicada en las pampas contiguas al río Sihwas, en la margen derecha.

Este gran proyecto de irrigación, desde su adjudicación e inicio en 1982, viene produciendo una serie de impactos hidrológicos y ambientales en el valle vecino de Sihwas. Estos impactos, al parecer, no fueron identificados durante la fase de planeamiento y construcción de obras, manifestándose después de muchos años de operación. Un impacto significativo es el deterioro progresivo de la calidad del agua superficial del río, debido principalmente a la lixiviación (lavado) de las sales contenidas en los estratos terciario-cuaternarios, de los perfiles geológicos expuestos en las márgenes del valle, sales que están disueltas en las aguas de retorno de las irrigaciones<sup>1</sup> (Zavala *et al.*, 2014).

<sup>1</sup> El proyecto Majes-Sihuas fue concebido considerando un módulo de riego de 0.57 m<sup>3</sup>/Ha/día. Sin embargo, desde el año 1983 en el que se desarrolla la primera etapa del proyecto con las primeras 3000 hectáreas en la sección A, se genera un descontrol en la aplicación de éste módulo de riego por parte de los conductores de los predios, llegando a un máximo de 0.97 m<sup>3</sup>/Ha/día, que para el suelo y condiciones del lugar excede la cantidad de agua de absorción y evaporación consideradas en el diseño, lo que provocó la sobresaturación del suelo (Toledo & Ticona, 2007).

Asimismo, un impacto importante lo constituyen los deslizamientos de los taludes, que se están produciendo en un tramo de 9 km comprendido entre el Zarzal, Pachaqui y Santa

Ana (fotos 121 y 122), en la margen derecha del río Sihuas. Estos deslizamientos tuvieron sus primeras manifestaciones en 1996<sup>2</sup>, y se reactivaron en los años 1999, 2003 y 2004 (Pachaqui, La Ramada, Santa Ana) y 2005 (Santa Ana y El Zarzal).

---

<sup>2</sup> En noviembre de 1996, se dieron las primeras manifestaciones de filtración en la zona de Pachaqui. En abril de 1999, se produjo el primer deslizamiento en el mismo sector. En junio del 2003, se produjo un gran deslizamiento en la margen derecha del anexo Pachaqui que produjo el embalse del río. Desde entonces, fueron sucediendo deslizamientos en el Zarzal y Pachaqui, que ocasionaron la destrucción de viviendas, la interrupción de la carretera al valle bajo de Sihuas, represamientos del río y daños a terrenos de cultivo. En Santa Ana, se produjeron eventos similares en junio y octubre del año 2005, mientras que en el Zarzal se dieron en agosto de ese mismo año.



# CAPÍTULO VI

## PELIGROS NATURALES

### 6.1 GENERALIDADES

A nivel mundial, según datos estadísticos, los peligros naturales desde 1970 han causado la muerte de 3.3 millones de personas en el mundo, lo que hace una cifra de 82 500 muertes al año, con **grandes fluctuaciones de año a año y sin tendencias temporales** pronunciadas. Las sequías son las más mortales de las cuatro categorías de peligros naturales, y los terremotos, inundaciones y tormentas son las otras. Se presume que los movimientos en masa están inmersos dentro de estas estadísticas como peligros detonados por terremotos y tormentas. La ausencia de una tendencia alcista del número de muertos causados por peligros naturales, a pesar de que la exposición a los peligros crece, sugiere que se viene llevando un trabajo de prevención efectiva. Los daños a la propiedad derivados de todo tipo de peligros naturales entre 1970 y 2008 alcanzaron los 2.3 billones de dólares (en dólares del 2008). Estos daños son variables en función de los peligros naturales, y son los terremotos y las tormentas los que ocasionan mayores daños. Asimismo, los daños son desproporcionadamente más elevados en países de renta media; en los países pobres, con pocos activos, incurren en un daño escaso, y en los países ricos (con más capital) se previenen los daños de forma efectiva (The World Bank, 2011).

En los últimos decenios del siglo XX, 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, lo que permite que los grupos sociales se tornen vulnerables a la más mínima manifestación de las fuerzas de la naturaleza (Ayala-Carcedo, 2002).

En el Perú, debido a su ubicación geográfica y específicamente en la región Arequipa, se tiene principalmente peligros geológicos por movimientos en masa y sismos. Asimismo, las tendencias de expansión urbana, procedente de la migración

rural o extranjera a la capital, han traído como consecuencia asentamientos no legales (invasiones) de emplazados.

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 no simplemente responder ante la crisis.

La prevención vale la pena, pero no es necesario pagar siempre más por la prevención. Una medida relativamente fácil y efectiva es que los gobiernos difundan de forma fácilmente accesible la información sobre los riesgos y los peligros (como mapas de llanuras que pueden ser inundadas o fallas sísmicas). Kofi Annan, Secretario General de las Naciones Unidas (ONU) en 1999, en la Memoria sobre la labor de la ONU, señala que la **adopción de estrategias de prevención eficaces no sólo permitirá ahorrar miles de millones de dólares, sino también salvar cientos de millones de vidas**. Kofi Annan también reconocía 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-Carcedo *et al.*, 2002).

Para tal efecto, la información que se consigna en este capítulo se basa en la recopilación de información de peligros existentes (informes técnicos, boletines, tesis, etc.), así como información **tomada en campo basada específicamente en un inventario de peligros geológicos de movimientos en masa, peligros geohidrológicos y cartografía geodinámica a escala 1:50 000, sobre una base topográfica actualizada del IGN, con la ayuda de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales**. Toda esta información temática sobre peligros, generada como cartografía básica para cualquier análisis integral del medio físico

en la región, se expresa en términos de susceptibilidad y tiene como objetivo ayudar a las autoridades nacionales, regionales, provinciales, distritales y otras en el conocimiento de los peligros geológicos existentes en la región Arequipa.

## 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:

El “**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)”.

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 período 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 AREQUIPA

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 resulta importante conocer eventos pequeños, sobre todo aquellos de recurrencia periódica<sup>3</sup>.

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

A lo largo de su historia, la región Arequipa 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 (1995-2013), 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 (1962-2014). Se debe tener presente que estos eventos involucraron volúmenes variables de material desplazado, y si cuentan con un registro de fecha, es porque representaron un alto peligro en el momento que se produjeron, lo que llevó a que se realice una evaluación puntual a cada uno de ellos; tanto por empresas públicas como privadas. En cuanto a la historia sobre acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, esta ha sido descrita con detalle por Silgado (1978). Toda la información se consigna en forma resumida en el cuadro 6.1.

<sup>3</sup> Pocas son las referencias de eventos históricos en la región; la gran mayoría corresponden a reportes periodísticos o estadísticas hechas por INDECI.

Sin embargo, como veremos más adelante, dentro de la región han sido identificados un gran número de eventos por medio de la interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales de alta resolución y cuya existencia fue certificada con los trabajos de campo. Estos eventos no han sido considerados en la elaboración del cuadro 6.1, y 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 por movimientos en masa realizado en la región Arequipa, sea siempre utilizado en los trabajos de evaluación de peligros.

Cuadro 6.1

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

Fecha	Evento y descripción
1440-1470 D.C.	<b>Caída de cenizas del Misti:</b> Capa negra y escoriácea de ceniza $\leq 10$ cm de espesor, andesítica (ubicada debajo de la ceniza blanca del Huaynaputina) es testigo de la última erupción del Misti, la que provocó daños en la ciudad incaica de Cayma (sector occidental de la localidad de Arequipa). Simkin & Siebert (1994) indican una actividad en el año 1454, de tipo central, explosiva, con un I.E.V. de 3, que ocasionó daños. Murúa (1925, en Suni, J.A., 1999) la describe como "grandes llamaradas de fuego y una nube oscurísima"
22/01/1582	<b>Sismo en Arequipa:</b> (Barriga, 1951 en "Los Terremotos de Arequipa" y relatos del Párroco de Cayma Dr. J. Flores en la publicación de Ballón (1900)). El terremoto arruinó la ciudad de Arequipa, y no quedaron más templos que los de San Francisco y La Merced; guanacos, vicuñas, venados y zorros bajaron despavoridos a la ciudad; hubo colapso de acequias. Se hallaron sepultados 30 personas y otras tantas heridas.
28/03/1677	<b>Actividad del volcán Misti:</b> Evento explosivo freático (?) y sísmico moderado, con I.E.V.=2 ocurrido el 02-05-1677 (Simkin & Siebert (1994), Thouret <i>et al</i> , (1999)). Ballón (1900) refiere que después de la tragedia de 1582 vio salir del volcán gran cantidad de humo que alarmó a la población. Barriga (1952) relata que acaeció el 28-03-1677.
128/07/1787	<b>Actividad del volcán Misti:</b> Evento freático. Barriga (1951), describe un gran humo aliginoso y denso que puso en consternación a la ciudad. En octubre de ese año, tras una expedición que fue a realizar un levantamiento topográfico del volcán, continuando el relato dice: "...por espacio de 6 horas que en el centro de ella salía impelido un gran trozo de vapor grueso de más o menos 9 cuadras, unas veces en forma de pirámide, y otras en la de nube, siempre prolongada, y continuando, sin embargo, de forma hacia arriba en su dilatación diversas figuras y promontorios globosos, según el impulso de la expulsión, de la gravedad y la dirección del aire...". Mas adelante indica: "...la columna de vapor no obstante de ser de tan grande corpulencia, no llenaba toda la oquedad de la expresada boca, y que salían unas veces, por un lado, y otras por otro tomando diversas direcciones...". Simkin & Siebert (1994) mencionan una actividad explosiva, con un I.E.V. de 2.
2/14/1911	<b>Inundaciones en Arequipa:</b> Graves destrozos en fincas y sembríos. Destruído parcialmente quedó el muro de defensa a la altura del vecindario del camal. Viviendas inundadas en esta parte de la ciudad. Interrumpido el tráfico entre Arequipa y Mollendo.
2/1/1920	<b>Inundaciones en Camaná:</b> Grandes avenidas provocaron inundaciones, y ocasionaron serios daños en la agricultura de la hacienda Characato y otras.
1/31/1920	<b>Inundaciones en Camaná:</b> Grandes avenidas del río Camana inundaron los cultivos y la localidad. Calles y casas cubiertas por el lodo.
1/31/1925	<b>Inundaciones y huaicos en Arequipa:</b> Año bastante lluvioso, asociado a un evento de El Niño. Los días 29, 30 y 31 de enero de 1920, se activaron las torrenteras en proporciones alarmantes y causaron destrozos en el servicio de agua potable y servicio eléctrico de Arequipa. Inundaciones en diferentes puntos de la ciudad. La torrentera Chullo hizo su ingreso inundando ese sector. Las torrenteras de San Lázaro (Primera, Segunda y Tercera) crearon zozobra en la ciudad durante varias horas. Por la intensidad de las lluvias y la activación de torrenteras, hubo pérdidas materiales y nueve muertes. Se declaró en emergencia a la ciudad.
2/13/1925	<b>Inundación en Arequipa:</b> El río arrastra el puente de Sabandía, ocho personas muertas, vía del ferrocarril destruida.
2/21/1932	<b>Inundaciones en Arequipa:</b> Se registra, después de ocho años, una precipitación con características torrenciales (8 horas); se activaron torrenteras que inundaron y produjeron derrumbes en diferentes sectores de la ciudad de Arequipa. Fuertes pérdidas materiales.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
2/28/1935	<b>Inundación en Huasacache:</b> Fuertes lluvias en los meses de enero y febrero. El 28 de febrero el pueblo de Huasacache quedó inundado completamente a consecuencia de la entrada de la torrentera de ese lugar.
3/1/1938	<b>Inundación en Arequipa:</b> Fuertes lluvias; derrumbamiento de casas de precaria construcción por efecto de inundaciones. Un muerto y fuertes pérdidas materiales.
1/18/1939	Intensa precipitación pluvial trajo como consecuencia la fuerte entrada de torrenteras. Pérdidas materiales por derrumbes o desplomes como el de la "Alameda de San Lázaro.
1/4/1942	<b>Inundación en Arequipa:</b> Copiosas lluvias en las partes altas de la ciudad de Arequipa. Inundaciones en las partes bajas de la ciudad. La torrentera de San Lázaro se llevó el puente ubicado a un costado del "Parque Selva Alegre". Ingreso de primera y segunda torrenteras obstaculizaron el tránsito peatonal.
2/16/1943	<b>Inundación en Arequipa:</b> Fuertes lluvias en la zona comprendida entre el Misti y el Pichu Pichu originaron la fuerte entrada de las torrenteras. La torrentera de San Lázaro se desbordó a la altura del puente Arnao, pasaje Goyeneche, y produjo derrumbamientos en varios sectores e inundó el Cuartel Salaverry. Testigos presenciaron arrastre de grandes bloques y se destruyó por completo una fábrica de ladrillos. Murió un niño. Se declaró en emergencia a la provincia de Arequipa y hubo varios millones de soles en pérdidas económicas.
2/10/1944	<b>Inundación en Arequipa:</b> Fuertes lluvias activaron torrenteras, que se desbordaron en varios puntos de la ciudad. Se inundó un colegio y la Urbanización María Isabel. El sector del balneario de Jesús quedó aislado.
2/2/1946	<b>Inundación en Arequipa:</b> Ingreso de la quebrada Chullo inundó viviendas y terrenos de cultivo en este sector.
3/23/1949	Fuerte tempestad ocasionó entrada de torrenteras. Se registraron derrumbes a consecuencia de inundaciones en la parte noreste de la ciudad; hubo varios heridos.
2/2/1953	<b>Inundación y flujo de lodo en Arequipa:</b> Inundaciones y flujo de lodo tras fuertes lluvias (14,5 mm; estación Corpac), que activaron la torrentera Chullo. El barro alcanzó un espesor de hasta 1 m; afectó 40 topos de áreas de cultivo.
3/5/1954	<b>Inundación en Arequipa:</b> Copiosa lluvia originó el ingreso de las torrenteras San Lázaro, Primera y Segunda Torrentera. Cuantiosos daños materiales.
1/13/1955	<b>Inundación en Arequipa:</b> Ingreso de la cuarta torrentera ocasionó destrozos, cortó canales de regadío, interrumpió fluido eléctrico. 30 familias en peligro de quedar sin techo.
1/16/1958	Un día después de producirse un terremoto en Arequipa, fuertes lluvias incrementaron los daños materiales producidos por el sismo.
Feb-61	<b>Inundación en Arequipa:</b> Lluvias de enero y febrero de 1961 ocasionaron muchos desastres en la ciudad de Arequipa. Destaca la muerte de dos hombres al ser sepultados por el derrumbe de una pared de sillar remojada. Muchos barrios resultaron inundados, lo que determinó pérdidas materiales a las familias afectadas; así como el hundimiento de pistas. Además, en este ciclo de lluvias, el caudal del río Chili aumentó a 27,381 Lts. / seg. Y esto a pesar del cierre de las compuertas de la represa El Frayle, ya que el volumen de las aguas determinó las continuas descargas de las torrenteras de dicho río. Entre otros daños, ocasionó el derrumbe parcial del Puente Izcuchaca, con lo que la ciudad de Arequipa resultó aislada de los poblados de la costa norte y sur de la República. Precipitaciones pluviales intensas ocasionaron la caída de huaicos, que destruyeron vías públicas, viviendas rústicas y canales de regadío en la zona de Characato, con pérdida significativa de cultivos. En esta fecha, la torrentera de San Lázaro hizo una espectacular entrada que se producía, según los pobladores de esta zona, después de 5 años. Igualmente, la torrentera de Ichuza registró una violenta entrada que dejó a su paso destrucción y pérdidas materiales. En febrero del mismo año, la ciudad de Arequipa soportó una fuerte y alarmante tempestad (con rayos, truenos, granizo y violenta lluvia). Provocó que por segunda vez en un mismo año se produzca la entrada de las torrenteras, el aumento del caudal del río Chili, inundación de numerosas casas de las zonas bajas de la ciudad y peligro de inundación de las Urbanizaciones que se encontraban relativamente cerca de la ribera del río.
1/4/1962	<b>Inundaciones en Aplao, Huancarqui y Corire:</b> Aplao quedó aislado debido a inundaciones que cortaron la carretera. Un millar de personas aisladas, escasez de alimentos. 100 hectáreas de cultivo de caña, yuca y frutales fueron arrasadas.



Continuación...

Fecha	Evento y descripción
1/17/1962	<b>Inundaciones en el valle de Majes</b> : 2000 personas en peligro al desbordarse el río Majes. Aislado el pueblo de Elionte. Peligro de ser arrasados distritos de Huancarqui y Corire y poblados de Uraca y Camezana.
1/21/1963	<b>Granizada e inundación</b> : Granizadas e inundación por desbordes del río Polobaya arrasaron con viviendas y terrenos de cultivo.
Mar-63	<b>Deslizamiento en el cerro Quehuisha: Lari</b> : Destrucción de 3 has de cultivos de alfalfa y cebada, tres bocatomas de acequias de regadío, sepultó algunas reses y 44 alpacas (García, W., 1966). La zona deslizada abarcó una superficie de 4 000 m <sup>2</sup> y se estimó un volumen de material desplazado de 10 000 m <sup>3</sup> . Se atribuyó como causa de la ocurrencia del fenómeno a la saturación del material detrítico existente, originado por las filtraciones de aguas desde las partes altas. En esta inspección realizada por García, se menciona la ocurrencia de un derrumbe de dimensiones considerables en el área de Madrigal, originado tras un sismo. En esa fecha, se reconocieron rajaduras paralelas al borde de la escarpa generada por este derrumbe, que distaban del pueblo unos 50 m.
2/2/1967	<b>Inundación en Arequipa</b> : Las torrenteras pusieron en peligro de ser arrasados, veinte barrios marginales. Se produjo inundaciones en diversas viviendas ubicadas en la parte baja de la ciudad, en las que el agua alcanzó un metro de altura. Se produjo, además, la interrupción del servicio eléctrico, que paralizó de este modo las actividades de la ciudad y distritos.
2/9/1967	<b>Huaico en el río Chili</b> : La caída de un huaico en el lecho del río Chili cortó el suministro de agua en la Planta n° 4 de la Central Eléctrica y dejó a oscuras la ciudad. En el distrito de Characato, se registraron lluvias y vientos fuertes que ocasionaron la pérdida de las cosechas de los pobladores.
2/9/1968	<b>Inundaciones en San Vicente y San Lorenzo</b> : El río Majes destruyó 10 has de cultivos. Hubo 30 viviendas arrastradas por las aguas, 120 familias damnificadas.
01/01/1972 01/02/1972	<b>Inundación en Arequipa</b> : En el período lluvioso, se registraron desbordes en las torrenteras que ocasionaron graves daños en diversas urbanizaciones. En la torrentera de San Lázaro, el agua alcanzó una altura de 8 metros. Al igual que en otros años, se produjo la inundación de viviendas en el sector bajo de la ciudad. También hubo caída de huaicos que amenazaron dejar la ciudad sin energía eléctrica.
1/9/1973	<b>Inundación en Arequipa</b> : Torrentera Mariano Melgar inundó y arrastró todo lo que encontraba a su paso. Destruyó una granja y ahogó 5000 pollos. Los días 10, 11 y 12, ingresaron otras torrenteras. Hubo derrumbes en varios puntos de la ciudad; peligro en el pueblo joven 15 de Agosto, Jorge Chávez y Juan Pablo Vizcardo y Guzmán
1/9/1974	<b>Deslizamiento de Pie de Cuesta (valle de Vitor)</b> : Filtraciones de agua de las irrigaciones en La Joya (iniciadas desde 1956), aparentemente coincidentes con un sismo en Arequipa. El colapso o derrumbe mayor ocurrió el 9 de enero de 1975, casi simultáneamente con otro deslizamiento menor en la quebrada de Gallinazos, cercana a Pie de Cuesta. El deslizamiento sepultó la escuela, varias viviendas, y se detuvo en el lugar donde está la iglesia. Cubrió, además, unas seis hectáreas del área irrigada del valle. Interrumpió y dejó inoperable el antiguo canal de irrigación La Cano, el cual conducía aguas superficiales tomadas del río Vitor
1/29/1974	<b>Inundación en Arequipa</b> : Ingreso de la torrentera Mariano Melgar, tras persistentes lluvias. Inundaciones y dificultades en varios pueblos jóvenes; sobre todo en las partes altas de Miraflores y Mariano Melgar.
3/4/1975	<b>Inundación en Arequipa</b> : Lluvias excepcionales activaron torrenteras (Alto san Martín, Santo Domingo) que cruzaron la ciudad. Derrumbes de numerosas viviendas y 12 muertos al generarse flujo de detritos o aluvión. Pérdidas cuantiosas en los pueblos jóvenes.
Jan-76	<b>Inundación en Arequipa</b> : Entrada de torrenteras originaron inundaciones y derrumbes en varios pueblos jóvenes. Hubo cuantiosos daños en Miraflores y Mariano Melgar.
3/12/1977	<b>Inundación en Arequipa</b> : Ingreso de la Segunda Torrentera destruyó 60 viviendas. Pueblo Joven 9 de Octubre fue el más perjudicado.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
1979	<b>Deslizamiento en Lari:</b> Una gran masa de suelo deslizada en forma lenta afectó extensas zonas de cultivo, y las inutilizó. En el mes de abril de ese año, tuvo lugar un máximo desplazamiento (Yanqui, C., 1983). Yanqui describe escarpas casi rectas este-oeste, con desplazamientos verticales de hasta 7 m de altura y horizontales entre pocos mm hasta 2 m; abombamientos en el terreno y depresiones. Se registró basculamiento general del área asociado a un deslizamiento rotacional, así como terrenos escalonados. Las causas las asocia a un nivel de flujo de agua subterránea, en base a las observaciones de manantiales, lagunas y bofedales existentes. Define dos zonas o acuíferos en el área, tanto en el lado este como oeste que delimitan las zonas removidas.
1984	<b>Deslizamiento en la Cossio (Valle de Vitor):</b> En 1978, en el sector La Cossio del valle de Vitor, comenzaron a humedecerse los taludes y a producirse pequeños deslizamientos, los que fueron seguidos en 1984 por el colapso mayor.
1/21/1986	<b>Inundación en Arequipa:</b> Desborde del río Chili inundó 100 hectáreas de cultivos. Pérdidas cuantiosas en el agro. Se inundó la parte baja de la ciudad.
Abril de 1987	<b>Deslizamientos en Madrigal:</b> Dávila, S., reconoce un deslizamiento antiguo donde describe una corona de deslizamiento en suelos poco coherentes con un salto promedio de 20-25 m de altura, donde se produjeron grietas de contorno y derrumbes. Entre el pie y corona del deslizamiento, reconoce algunos hundimientos y agrietamientos. Las depresiones formadas acumularon aguas de filtraciones y aguas pluviales en diferentes dimensiones y volúmenes. En el sector de Punco, reconoce deslizamientos recientes de pequeña magnitud que en su evolución afectaron viviendas y terrenos de cultivo. En Chicra, reconoce deslizamientos antiguos pequeños y derrumbes recientes. Las características similares de terreno con depresiones, humedales y zonas expuestas a riego indiscriminado originaron movimientos locales del terreno.
2/8/1989	<b>Inundaciones en Arequipa:</b> Fuerte precipitación (37.7 mm / h; medida en la Estación Characato y la Estación de Pampa de Arrieros) provocó que todas las torrenteras hicieran su ingreso. A causa de ello, el caudal del río Chili aumentó considerablemente su volumen y debido a algunos obstáculos que existían en su cauce se produjo la inundación del Barrio Obrero. Los pobladores perdieron todas sus pertenencias materiales. En el sector de Chilina, la entrada de una torrentera cobró una vida. El canal de la Tomilla fue rellenado por material de arrastre, lo que ocasionó que toda la ciudad estuviera sin servicio de agua durante 20 días. La red de desagües en su mayoría fue averiada; y, a causa de todo esto hubo brotes de epidemias en algunos sectores de la ciudad. El sistema de canales para el regadío del sector agrícola fue destruido y generó de este modo, en los meses siguientes, un desabastecimiento de productos de pan llevar.
1988-1990	<b>Erupción del volcán Sabancaya,</b> de tipo vulcaniano y freato-magmático.: Las primeras señales de reactivación del volcán fueron indicadas en 1981, por habitantes de Cajamarcana-Huacachiguero situados al pie del Sabancaya. En 1985, se registró la salida muy débil y esporádica de fumarolas, ruidos y sismos de baja intensidad. En noviembre de 1986, precedida de una débil sismicidad local, se inició una intensa actividad fumarólica en el cráter. Las fumarolas se elevaron entre 500 y 1000 de altitud con respecto a la cumbre del volcán, y se hicieron visibles a varias decenas de kilómetros a la redonda. Inquietud de los pobladores de Chivay, Cabana Conde, <b>Huanca, Lluta</b> , entre otras localidades. Esta actividad disminuyó progresivamente en el primer semestre de 1987, pero retomó brutalmente el 7 de agosto del mismo año. Lugareños del Huacachiguero fueron afectados por los gases (H <sub>2</sub> S) que salieron abundantemente del cráter. Las fumarolas eran cada vez más abundantes, con intervalos de 20 a 30 segundos y a veces de 1 minuto, los colores variaban del blanco al gris claro y amarillento. En 1989 y los primeros meses de 1990, esta actividad permaneció casi regular, pero los días 9 y 10 de mayo de 1990 los habitantes de Cajamarcana y en Maca escucharon ruidos y pequeños sismos en forma casi continua. La actividad eruptiva se incrementó notoriamente entre el 28 de mayo y 5 de junio de 1990 (Bull. SEAN). Durante esta época, una columna de gas y cenizas se elevó a 5000 m encima del cráter. Las cenizas fueron dispersadas hasta 10 km aproximadamente. Esta leve actividad fue en constante aumento hasta fines de 1990. Las columnas eruptivas originadas por las explosiones freato-magmáticas alcanzaron una altura promedio de 0.5 a 3 km, y estuvieron separadas por lapsos de 10 minutos a una hora. Durante el día, se produjeron entre una a dos explosiones fuertes con una doble magnitud. Según Thouret <i>et al.</i> (1995), proyectiles balísticos (bloques >64 mm) fueron emitidos hasta 500 m del cráter, los lapilli (>2mm) llegaron hasta 3-4 km, las cenizas (<2mm) hasta 10 a 25 km y el polvo (<1/16mm) hasta 30 km en la dirección predominante del viento. Las cenizas llegaron a medir hasta 5 cm de espesor cerca al volcán, por lo que tuvo que ser evacuado el poblado de Sallalli.
7/23/1991	<b>Sismo de Maca:</b> El sismo produjo intensidades máximas del orden de VIII (MM) concentrados en las localidades de Maca y Lari (Antayhua <i>et al.</i> , 2002). Magnitud 5.4 mb y profundidad de 3.6 m (IGP). Produjo la muerte de 14 personas y numerosos heridos.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
1991a2011	<b>Reactivación y avance del deslizamiento de Maca:</b> Después del sismo de Maca del año 1991, el movimiento complejo que afecta el poblado de Maca, así como la carretera Chivay-Cabanaconde, ha tenido una fuerte evolución, retrogresiva hacia el sector de Chacaña, lo que ha afectado áreas de cultivo. Como evolución progresiva, ha provocado el hundimiento de la plataforma de la carretera, producido por las lluvias anuales. Las filtraciones de las vertientes han generado basculamientos, fuertes agrietamientos, formación de bofedales y escarpas de salto de terreno. El movimiento en masa es activo.
2/1/1992	<b>Sismo de Sepina:</b> Intensidades de VI en las localidades de Huituhuasi y Layuni. Foco superficial y magnitud de 5 mb. Numerosos desprendimientos de roca a lo largo del valle del Colca. Las localidades más afectadas fueron Maca, Sahuana, Huituhuasi y Cabanaconde.
1994	<b>Deslizamiento en el sector Santa Rosa (valle de Vitor):</b> En 1985, el sector Santa Rosa experimentó los mismos problemas. En el sector Punillo, los humedecimientos comenzaron en 1986, y luego en noviembre de 1994 se produjo un gran derrumbe que ocupó el cauce del río Vitor, que se desbordó hacia los terrenos de cultivo de la margen derecha.
1/12/1995	<b>Inundación en el distrito de Lluta,</b> provincia de Caylloma. Se registró 60 damnificados y 25 viviendas destruidas.
26 y 27/01/1995	<b>Inundación y huaicos en los distritos de Caravelí, Huanuahuano, Quicacha y Arequipa,</b> en las provincias de Caravelí y Arequipa. Debido a lluvias intensas se generaron huaicos y en algunos casos desborde de los ríos. En Caravelí, se registraron 200 damnificados y 40 viviendas afectadas; en Huanuahuano 700 damnificados y 150 viviendas afectadas; en Quicacha 135 damnificados y 27 viviendas afectadas y en Arequipa 30 damnificados y 5 viviendas afectadas.
3/7/1995	<b>Huaicos en los distritos de Viraco y Aplao,</b> en la provincia de Castilla. En Aplao, se registró 30 damnificados y 5 viviendas afectadas mientras que en Viraco 1000 damnificados, 30 viviendas destruidas y 170 afectadas.
6/25/1996	<b>Deslizamiento de Santa Isabel de Sigüas:</b> Se produjo un deslizamiento en el sector La Cruz, entre los anexos de Tintín y Sandor en la provincia de Arequipa. Se registró 1800 personas damnificadas, 300 viviendas afectadas, 250 has de cultivo afectadas, dos canales de regadío afectados. La carretera de trocha carrozable que comunica los anexos de San Basilio, Tintín, Sandor Quilcapama y Putay quedó interrumpida.
1/25/1997	<b>Inundación en los distritos de Mariano Melgar, Uchumayo, La Joya, Alto Selva Alegre, Polobaya, Chiguata, Punta de Bombón y Quicacha,</b> en las provincias de Arequipa, principalmente, Islay y Caravelí. En la provincia de Arequipa, se registraron 595 damnificados, 8 fallecidos, 265 viviendas destruidas y 399 viviendas afectadas. En la provincia Islay, hubo 60 damnificados y 148 viviendas afectadas. En Quicacha, 25 damnificados y 5 viviendas destruidas.
3/5/1997	<b>Inundación en los distritos de Caravelí, Vitor, José Luis Bustamante, Paucarpata, Arequipa, Socobaya,</b> en las provincias de Caravelí, Vitor y Arequipa. Debido a las intensas lluvias, se generaron desbordes de ríos. En el distrito de Caravelí, se registraron 60 damnificados, 1 fallecido, 10 viviendas destruidas y corte de carretera. En Vitor, 111 damnificados, 11 fallecidos y 35 viviendas afectadas. En la provincia de Arequipa, 525 damnificados, 4 fallecidos, 105 viviendas destruidas y 911 viviendas afectadas.
7/30/1997	<b>Derrumbe del cerro Carigua y embalse del río Colca:</b> Derrumbe en el sector de Carigua, Cerro Filayoc (frente a Ayo), que represó el río Colca y formó una presa natural de aproximadamente 400 m de longitud, 90 m de ancho y 90 m de altura, y una laguna o cola de embalse de 3 km de longitud.
1/11/1998	<b>Deslizamiento de Ucuchacas:</b> Deslizamiento en el anexo de Ucuchacas, distrito de Choco, Arequipa, que dejó un saldo de 4 muertos, 6 damnificados y una vivienda destruida.
1/23/1998	<b>Huaico de Iquipi:</b> En el distrito de Río Grande, provincia de Condesuyos, debido a lluvias intensas, se generó un huaico que dejó como saldo 20 damnificados, 4 viviendas destruidas y 2 fallecidos.
1/27/1998	<b>Huaico en el valle Chorunga:</b> En el distrito Yanaquihua, provincia de Condesuyos, debido a lluvias intensas, se generó un huaico que dejó como saldo 175 damnificados, 35 viviendas destruidas y 8 fallecidos.
1/29/1998	<b>Huaico de Choco:</b> En el río Chalza, margen derecha del río Colca, ocurrió un huaico de gran magnitud, que afectó el poblado de Choco, Arequipa, y ocasionó 9 muertes, 19 personas desaparecidas, 46 viviendas destruidas, 7 heridos y 225 damnificados.

Continuación...

Fecha	Evento y descripción
2/11/1998	<b>Huaico de Huastiapilla:</b> En el distrito de Aplao, se produjo un huaico que afectó el poblado Huastiapilla. Ocasionó 2 fallecidos, 75 familias damnificadas y 18 viviendas destruidas.
3/15/1998	<b>Huaicos en las provincias de Condesuyos y Caraveli:</b> Se generaron huaicos en los sectores San Juan Chorunga, sector Cerro Colorado, Yause, Toranza, Quiscayoc, Chacca, Chococa, Potrero, San Antonio, La Barrera, Cahuacho y Caraveli, debido a las intensas lluvias.
4/12/1998	<b>Sismo de Cabanaconde:</b> Epicentro del sismo a 9 km al Sur de la localidad de Cabanaconde y 13 km al NE de Huambo sobre la traza de la falla Solarpampa-1, que junto a las fallas Trigal y Solarpampa forman parte del sistema de fallas Huambo-Cabanaconde. Magnitud 5 mb y profundidad hipocentral de 5.2 km. Su mecanismo fue de tipo normal con eje T orientado en dirección N-S y P, prácticamente vertical, coherente con la geometría de las fallas del sistema Huambo-Cabanaconde.
1/19/1999	<b>Inundaciones en el sector Seccha Puica:</b> En los distritos de Mariano Valcárcel, Urasqui y Ocoña, debido a las intensas lluvias, se produjo el desborde del Río Grande, y colapsó el puente peatonal, lo cual aisló los anexos de Seccha y Puica, y dejó como saldo 1000 damnificados, 200 viviendas destruidas y el colapso del puente Andaribel.
29/04/1999 19/07/1999	<b>Deslizamiento de Pachaqui (Valle de Sigwas):</b> Aparición de filtraciones iniciadas en noviembre de 1996. Se intensificaron paulatinamente y los terrenos de cultivo en el valle dejaron de cultivarse por la presencia de sales y exceso de humedad. Aparición de grietas en la carretera por un lapso de tres años. El 29/04/1999 se produjo el primer deslizamiento (anexo Pachaqui) en un tramo de la carretera entre La Ramada y Cornejo, que aisló estas localidades.
16/06/2003 11/12/2004	El 19/07/1999, se produjo otro deslizamiento en una longitud de 600 m, que enterró dos viviendas, el canal, carretera. Las filtraciones se incrementaron. El 16/06/2003, a las 4 de la madrugada, se produjo el gran deslizamiento del talud, que originó el embalse del río Sigwas: el volumen de tierra y escombros alcanzó el otro flanco del valle y lo cerró (Ancho: 300 m; 500 m de longitud; altura entre 2 y 4 m (2.5 promedio). Se perdieron 20 ha. de cultivos enterrados. Hubo inundación de predios aguas arriba del embalse generado e inutilización de la carretera a los anexos de Candia, la Ramada, Pachaquí y Santa Ana, lo cual aisló a 36 familias.  El 11/12/2004: Se produjo un nuevo deslizamiento de gran magnitud. Se desprendió un farallón de la ladera. El volumen del material deslizado se estimó en 1 400 000 m <sup>3</sup> (350 m de ancho x 860 m de largo y una altura que llega a los 25 m). El embalse alcanzó un mes después un volumen de agua de 397 2230 m <sup>3</sup> , con una altura promedio de 7.32 m. 5 km de trocha colapsaron y hubo 6 km de canales destruidos.
1/26/2000	<b>Huaico en el sector de Cossos:</b> En el distrito de Aplao, lluvias intensas produjeron huaicos en el sector Cossos, lo cual interrumpió la vía de acceso a Aplao en un tramo de 80 m y provocó la rotura de cañería de agua potable que conduce agua a Aplao.
3/13/2000	<b>Deslizamiento de cerro Calera:</b> En el distrito de Chivay a 4 km del cerro denominado Calera, ocurrió un deslizamiento que causó el asentamiento y agrietamiento de terrenos de cultivo. Dejó destruidas 2 viviendas y 10 has de terrenos de cultivo. Un camino de herradura que conduce al anexo Conacota quedó interrumpido y un canal de regadío de autoridad Autónoma de Majes (Autodema) en peligro.
3/5/2001	<b>Huaico en Choco:</b> Caída de un huaico tras fuertes lluvias en la zona dejó 20 viviendas destruidas, 15 afectadas y 165 damnificados. Afectó terrenos de cultivo, canales de regadío y bocatomas.
6/23/2001	<b>Sismo en el sur del país:</b> Dejó como resultado daños en el centro histórico de Arequipa (inmuebles de sillar, iglesias, colegios antiguos), daños en tabiquería de ladrillo de diversas edificaciones (universidad nacional, hospitales y otros). Provocó igualmente daños en carreteras, canales de irrigación y derrumbes en los taludes de carretera, así como agrietamientos en las plataformas de vías (sectores de relleno mal compactados). <b>Tsunami en Camaná:</b> La observación de las marcas de Tsunami y el testimonio de los pobladores coincidieron en que se presentaron tres inundaciones consecutivas, de las cuales la tercera fue la más destructiva y alcanzó una altura de 7 m en las partes norte y central del valle de Camaná, y entre 6 y 5 m de altura en la parte sur hacia los balnearios. En la parte central del valle, el mar ingresó aproximadamente 1 km, y dañó áreas de cultivo en una franja de 23 km a lo largo de la costa, y se reportaron 4 agricultores muertos. En el sector sur del valle, entre la costa y la carretera Panamericana, en el área de los balnearios de La Punta, La Católica, Cerrillos y Las Cuevas, densamente poblada (hoteles, restaurantes y casas de playa), el tsunami penetró hasta la carretera Panamericana; y resultaron dañadas 2000 edificaciones, que quedaron prácticamente destruidas. Se reportaron 25 muertos y 62 desaparecidos. <b>Derrumbes y deslizamientos planares en el sector de Ambraja:</b> De grandes proporciones, obstruyeron la vía Aplao-Viraco durante 20 días.



Continuación...

Fecha	Evento y descripción
2002	<b>Heladas en Arequipa:</b> En los meses de mayo, junio y julio, se presentaron heladas que causaron daños en San Antonio de Chuca, Chihuata, San Juan de Tarucani, San Juan de Sigüas, Arequipa, Pócsi. 10 864 personas damnificadas en toda la región.
1/30/2002	<b>Inundaciones en valle de Sigüas:</b> Intensas lluvias originaron el esborde del río Sigüas; y se vieron afectadas varias comunidades de los distritos de Santa Isabel de Sigüas y San Juan de Sigüas. Se afectaron viviendas, bocatomas y defensas ribereñas.
2/24/2002	<b>Sismo en Choco:</b> Movimiento sísmico de 4,5 de magnitud en la escala de Richter, con intensidad de III-IV en Choco y una profundidad hipocentral de 20 km. Originó rajaduras en paredes de 17 viviendas y afectación en los anexos de Ajuyo, Pampuyo, Sihuincha (colegios), Ucuchaca (seis viviendas), Llanca (seis viviendas).
06 y 07/07/2002	<b>Friaje en el sur del Perú, con nevadas en varios distritos de las provincias de Arequipa y Cailloma:</b> En la primera semana del mes de julio, se registraron temperaturas por debajo de los valores normales, y se formaron capas de nieve muy poco comunes en nuestro país (principalmente Puno, Cusco, Moquegua, Huancavelica, Arequipa, Apurímac, Tacna, Ayacucho y Junín). Las fuertes nevadas afectaron muchos caseríos de distritos ubicados en la cuenca, lo que causó daños en viviendas, con mayores consecuencias en San Juan de Tarucani, Lluta y San Antonio de Chuca (905, 493 y 318 viviendas, respectivamente). El consolidado de daños por el friaje incluye la afectación de un total de 2994 y 3830 personas en las provincias de Arequipa y Cailloma, 12475 personas afectadas en San Juan de Tarucani (anexos de Paty, La Yunta, Cancosani, Chaclaya, Condori, Huayllacucho, salinas Huito), 1479 en Lluta, 954 en San Antonio de Chuca, 447 en Yanahuara (anexos de Sumbay, Tambo Cañahuas).
7/12/2002	<b>Nevadas en los distritos de Tapay, Achoma, Lari, Chivay, Yanque, Coporaque, Tuti, Callalli, Sibayo, Tisco:</b> Afectaron muchos anexos de estos distritos, de los cuales los más afectados fueron Tisco, Sibayo (Sibayo Pueblo, Concorcuyo, Tres Estancias), Callalli, Yanque (anexos Chalhuanca, Toca y Pulpera). Dos muertos en Chivay.
Junio y Julio 2004	<b>Fuertes heladas en la región sur del país:</b> Como consecuencia de bajas temperaturas registradas en la zona sur del país, entre junio y julio fueron afectadas poblaciones de 47 distritos de la región Arequipa. Se originaron heladas, lluvias intensas y caída de algunos huaicos. En la provincia de Cailloma, se vieron afectadas varias comunidades ubicadas en la cuenca (San Juan de Tarucani, Carmen Chaclaya, Salinas Huito, La Yunta, Pacasaya, Apu, Condori, Cancosani y Huayllacucho).
29/06/2005 01/10/2005	<b>Deslizamiento en Santa Ana (Valle de Sigüas):</b> 750 000 m <sup>3</sup> de material desplazado embalsó otro tramo del río Sigüas, y afectó 2,5 hectáreas de cultivos. El 01/10/2005, se produjo un segundo deslizamiento, que esta vez enterró 14,5 hectáreas de cultivos y murieron 20 cabezas de ganado vacuno y 20 ovinos.
8/10/2005	<b>Deslizamiento en El Zarzal (Valle de Sigüas):</b> Se inició con una imperceptible grieta que apareció encima del talud, con aberturas de 3 a 8 cm y longitudes de 80 a 800 m, que aumentaron progresivamente hasta 1 200 m en el mes de noviembre del mismo año. El proceso geodinámico se acrecentó y dio origen a un deslizamiento rotacional que continúa en avance retrogresivo hasta la actualidad. Ha afectado 40 hectáreas de terrenos eriazos; compromete la infraestructura de la Subestación de SEAL, un tramo del Canal Madre de Majes (Sección D y pampa Baja) y un tramo de la carretera Panamericana Sur. Se determinó un volumen de 1350000 m <sup>3</sup> de material comprometido.
27 y 28/02/2007	<b>Fuerte granizada y nevada en el distrito de Lluta:</b> Fuertes precipitaciones pluviales causaron daños en las poblaciones de Taya y Querque que afectaron viviendas.
4/15/2007	<b>Fuerte granizada en los distritos de Chachas y Chilcaymarca:</b> Fueron afectadas las comunidades de Tolconi (Chachas) y los anexos de Chapacoco, Chilcaymarca y Huilluco (Chilcaymarca).
Jul-07	<b>Deslizamiento en el sector Punillo-La Cano (valle de Vitor):</b> En julio del 2007, se produjeron pequeños deslizamientos en la zona del valle de Vitor vecina al sector La Cano. Estos deslizamientos eran de tamaño pequeño, pero de una regularidad que invita preocupación. Según los pobladores de la zona, la intensa actividad geodinámica comenzó a mediados de junio de 2007.

Fecha	Evento y descripción
Aug-07	<b>Deslizamientos en Yacmes:</b> En el mes de agosto del 2007, se produjo en el anexo de Yacmes, sector de Uto, distrito Tipán, provincia de Castilla, un derrumbe que afectó terrenos de cultivo, destruyó caminos peatonales y cubrió la bocatoma de un canal de riego, además de represar la quebrada Tumpullo o Sihuarpo. La evaluación hecha por Vilchez <i>et al.</i> , reconoce tres sectores afectados: 1) El Morro y El Blanco, con deslizamientos de tipo rotacional y traslacional, derrumbes, procesos de reptación y flujos de detritos; (los deslizamientos son eventos antiguos-reactivados); 2) Capellania, con deslizamientos de tipo traslacional antiguo y reactivaciones en su cuerpo, a manera de deslizamientos rotacionales y derrumbes, que vienen produciendo actualmente el asentamiento de terreno; 3) El Sauce y Mulliyoc, donde se presentó el evento más importante y el de mayor actividad, un deslizamiento traslacional, que produjo un fuerte asentamientos de terrenos. El empuje de la masa deslizada ha producido derrumbes en el pie del deslizamiento, sector de Uto, de los cuales el último evento ha repesado la quebrada Sihuarpo.
2008	<b>Bajas temperaturas y heladas a nivel nacional:</b> Entre enero y octubre del 2008, se registraron bajas temperaturas y heladas en 17 departamentos del país (606 022 personas afectadas en las zonas altoandinas de Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica). En la región Arequipa, se reportaron 43 emergencias. El consolidado de daños arrojó 36334 personas afectadas, 35 hectáreas de terrenos destruidos y otras 21 afectadas.
Junio-Julio 2008	<b>Deslizamiento en Lari:</b> El sector denominado Juanca-Lari presentó un deslizamiento rotacional con desplazamiento de una sola masa, con basculamientos y agrietamientos en el terreno desplazado. Se diferenciaron dos sectores con características particulares: una escarpa principal oeste con un salto de 2,50 a 3,00 m, mientras que en el lado este alcanza un salto de hasta 30 m de altura. Afectó terrenos de cultivo.
10/3/2011	<b>Derrumbe en Tuti:</b> Pequeño derrumbe en un ladera rocosa cerca de la localidad de Tuti afectó un tramo de 50 m de canal y originó cuatro muertos.
02/02/1967 1972 08/02/1989 08/02/2013	<b>Huaicos en torrenteras de la ciudad de Arequipa:</b> En 1967, las torrenteras hicieron su entrada y pusieron en peligro de ser arrasados veinte barrios marginales. Además, se produjo inundaciones en diversas viviendas ubicadas en la parte baja de la ciudad, en las que el agua alcanzó 1 m de altura. Se produjo asimismo la interrupción del servicio eléctrico, lo que paralizó de este modo las actividades de la ciudad y distritos. En 1972, se registraron desbordes en las torrenteras que ocasionaron graves daños en diversas urbanizaciones. En la torrentera de San Lázaro, el agua alcanzó una altura de 8 m. Al igual que en otros años, se produjo la inundación de viviendas en el sector bajo de la ciudad. También se generaron huaicos que dejaron la ciudad sin energía eléctrica. El 08/02/1989 se produjo una precipitación 110.5 l/m <sup>2</sup> (estaciones Characato y Pampas de Arriero), lo que ocasionó que todas las torrenteras hicieran su ingreso y a causa de ello el caudal del río Chili aumentó considerablemente su volumen y debido a algunos obstáculos que existían en su cauce se produjo la inundación del Barrio Obrero, en el que los pobladores que allí tienen sus hogares, perdieron todas sus pertenencias materiales. En el Sector de Chilina, la entrada de una torrentera del sector cobró una vida humana. El canal de la Tomilla fue rellenado con material de arrastre, lo que ocasionó que toda la Ciudad estuviera sin servicio de agua durante 20 días. La red de desagües en su mayoría fue averiada y a causa de todo esto hubo brotes de epidemias en algunos sectores de la ciudad. Por otro lado, el sistema de canales para el regadío del sector agrícola fue destruido, lo cual generó, en los meses siguientes, un desabastecimiento de productos de pan llevar. El evento ocurrido el 08 de febrero del 2013, a las 4:30 pm, se originó como resultado de intensas lluvias que se concentraron en las cabeceras de las torrenteras San Lázaro, Venezuela y Los Incas. El material fue arrastrado pendiente abajo por estas torrenteras, tras 4 horas de intensas precipitaciones pluviales según el registro de precipitaciones del SENAMH (124.5l/m <sup>2</sup> ).

Fuente: Elaboración propia de la base de datos de Ingemmet, con datos de Cornejo, J., 1990; Rojas, R., (1978); Valdivia (V., 1978) PREDES, Zavala *et al.* (2016) y compendios estadísticos de INDECI (2006-2013).

## 6.4 PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

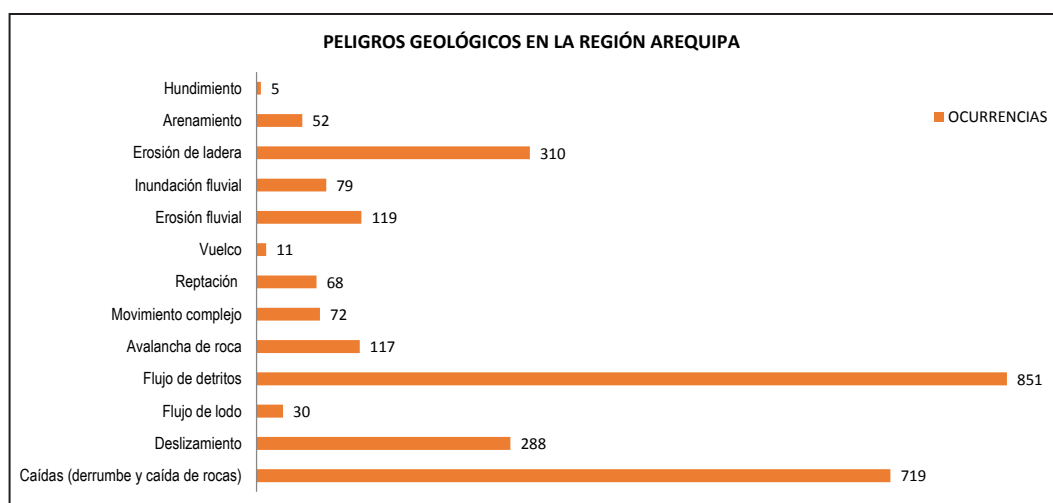
Los peligros geológicos por movimientos en masa, los peligros geohidrológicos (erosión fluvial e inundaciones) y los denominados otros peligros geológicos (erosión de laderas, hundimientos, arenamiento entre otros) fueron identificados utilizando los mapas topográficos del IGN, e inventariados utilizando una "ficha o formato de inventario" donde se consignan datos morfométricos, geomorfológicos, geológicos, geotécnicos y de evaluación del peligro, de forma adecuada y fácil llenado.

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), y permitió a la vez la actualización del banco de datos de peligros geológicos del Perú así como efectuar análisis estadísticos sobre frecuencia y ocurrencia. Cada ocurrencia adicionalmente tiene una o más fotografías ilustradas.

Durante los años 2000 y 2002, el Ingemmet desarrolló los estudios de Riesgos Geológicos de la Franja N°1 y N°2, entre los paralelos 14°00' - 16°00' y 16°00' - 18°00' de latitud sur, en cuya parte suroeste se encuentra la región Arequipa. En el año 2013, se realizó el Estudio Mapa de Riesgos Geológicos por Regiones: Arequipa y Moquegua, cuyos trabajos de campo se

realizaron durante el año 2013, en las regiones mencionadas, y se acumularon un total de 75 días de trabajos de campo.

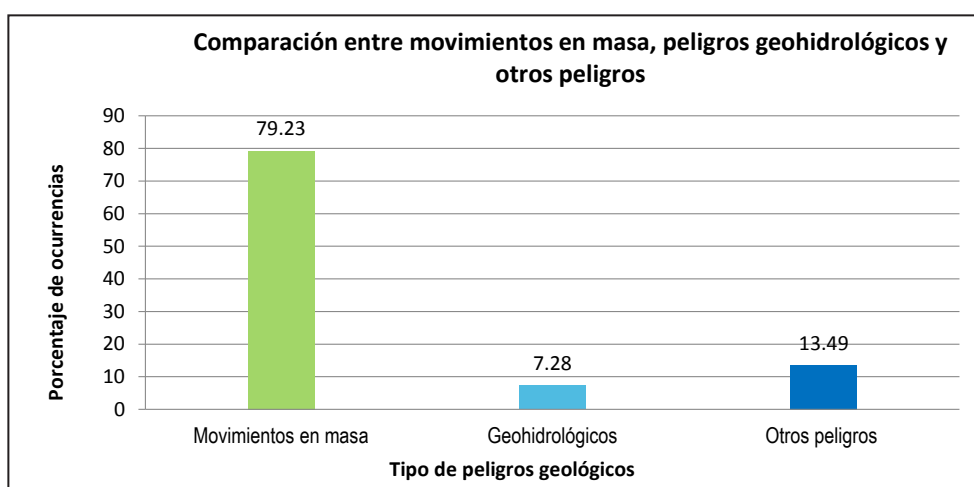
La conjugación de los datos existentes de los estudios mencionados registró un total de 2721 procesos geológicos (gráfico 6.1).



**Gráfico 6.1** Inventario de peligros geológicos en la región Arequipa. Elaboración propia.

Cabe precisar que la cartografía de estos eventos, representada en el mapa geomorfológico de la región, muestra 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 según su origen de la región Arequipa: por movimientos en masa representan la mayor cantidad de ocurrencias con un total de 2156 eventos, que representa el 79.23 % del total; peligros geohidrológicos con 198 ocurrencias, lo que representa el 7.28 % del total; y finalmente, los denominados otros peligros geológicos tienen 367 ocurrencias, lo que representa el 13.49 % del total.



**Gráfico 6.2** Ocurrencia de peligros geológicos en la región Arequipa. 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 (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. Así, se tiene *landslides*, lo que describe una variedad amplia de procesos que causan el movimiento hacia abajo y hacia afuera de materiales que forman la ladera, incluyendo roca, suelos y relleno artificial, o una combinación de estos.

Por sus características geomorfológicas y climáticas, estos episodios se encuentran expuestos a la ocurrencia de movimientos en masa identificados por medio de la interpretación de fotos aéreas, imágenes satelitales y con ayuda del Google Earth, las cuales fueron verificadas en campo. Muchos se encuentran activos, por lo que se recomienda 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.

Los movimientos en masa identificados en la región Arequipa 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). Allí se diferencian procesos activos y antiguos<sup>4</sup> (algunos reactivados). Los tipos más comunes de movimientos en masa son descritos a continuación:

#### Caidas

**Caída de rocas:** Ocurre en laderas de montañas y colinas de pendiente moderada a fuerte, frentes rocosos escarpados, montañas estructurales asociadas a litologías de diferente naturaleza (sedimentarias, ígneas y metamórficas), sujetas a fuerte fracturamiento, así como en taludes al efectuarse cortes en laderas para obras civiles (carreteras y canales) (figura 6.1).

**Derrumbe:** Es la disgregación generalmente de roca, que forma 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 pendiente moderada a fuerte, por acción de lluvias, movimientos sísmicos y antrópica (cortes de carreteras o áreas agrícolas) (figura 6.2).

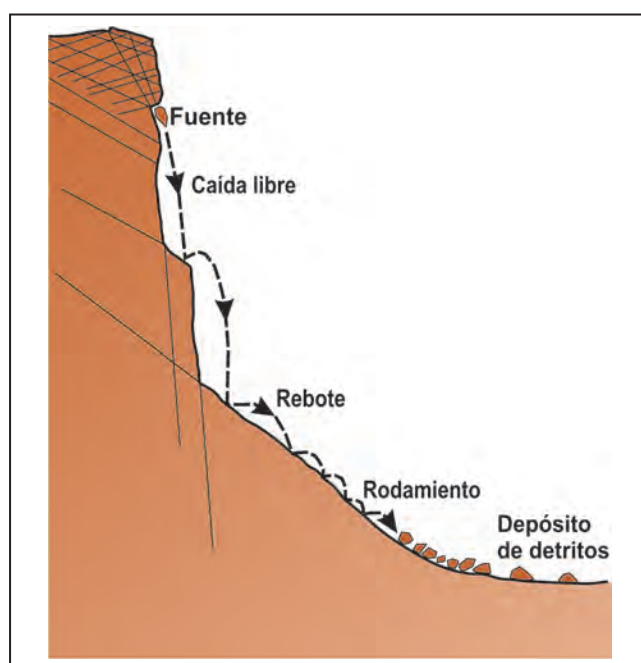


Figura 6.1 Esquema de caída de rocas.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007.

<sup>4</sup> En la estimación de la edad de los movimientos en masa, se emplea las cuatro categorías para edad, sugeridas por McCalpin (1984), la cual 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.



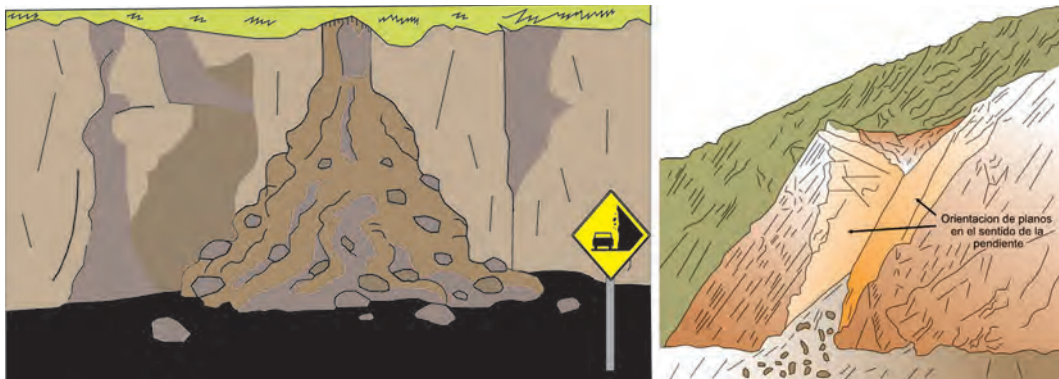


Figura 6.2 Esquemas de derrumbes.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007.

### Flujos

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; y puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos, se origina a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

**Flujos de detritos:** Comúnmente conocidos como "huaicos", son 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 de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurren principalmente confinadas a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada y que se caracterizan por ser

muy rápidas o extremadamente rápidas. 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 que finalmente 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 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.

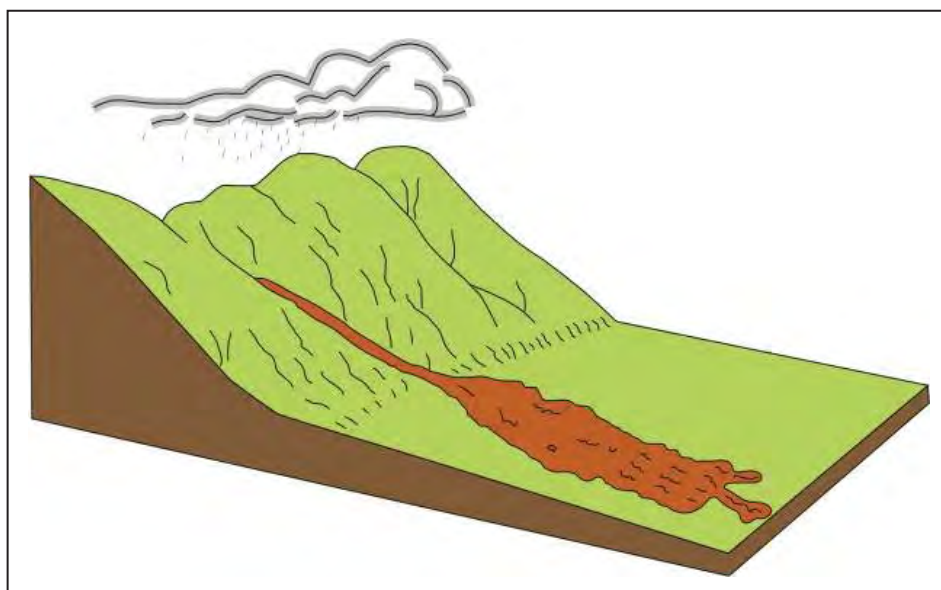


Figura 6.3 Flujo de detritos.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007.

**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 de arcilla 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 y 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

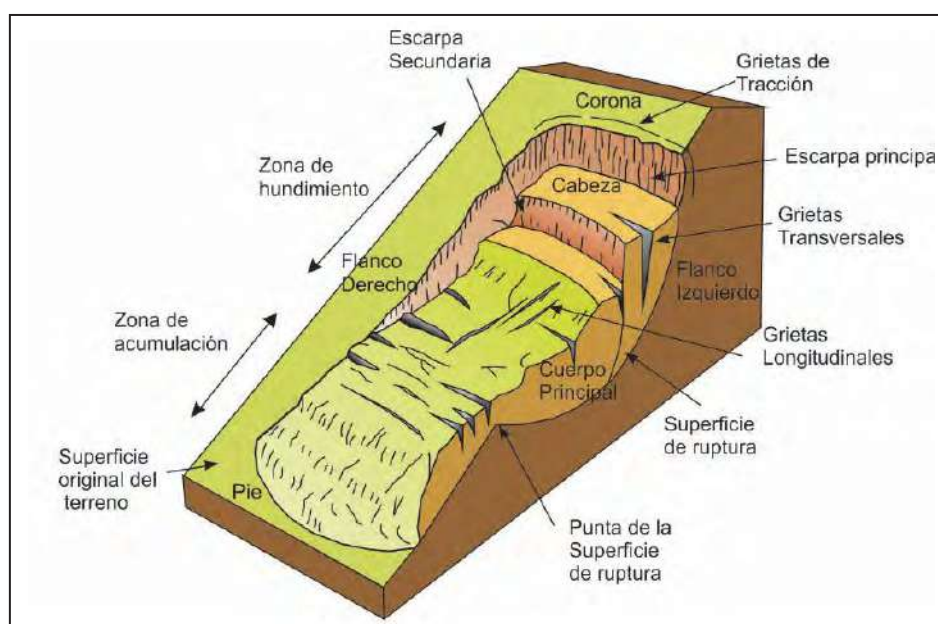
pueden crear una amenaza secundaria asociada al rompimiento o colmatación de la presa. Las velocidades pico alcanzadas por las avalanchas de rocas son del orden de 100 m/s, y las velocidades medias pueden estar en el rango de 30–40 m/s.

### Deslizamientos

Son un movimiento ladero 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: traslacionales y rotacionales. 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 o curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una 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 leve. 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.

Fuente: 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, por ejemplo, los derrumbe-flujos, deslizamiento-flujos u otro movimiento en masa de carácter complejo (figura 6.6).

### Reptación

Algunos procesos de reptación han sido reconocidos sobre terrenos con morfología suave a moderada, caracterizados por la presencia de aguas de infiltración. Su evolución es lenta a muy lenta, a veces no perceptible en el tiempo.

La remoción de cobertura vegetal o suelo en forma aislada, la formación de terracillas aisladas o formas conocidas como "pisada de vaca", inclinación de árboles en dirección de la pendiente, son algunas de las evidencias visuales más notorias (figura 6.7).

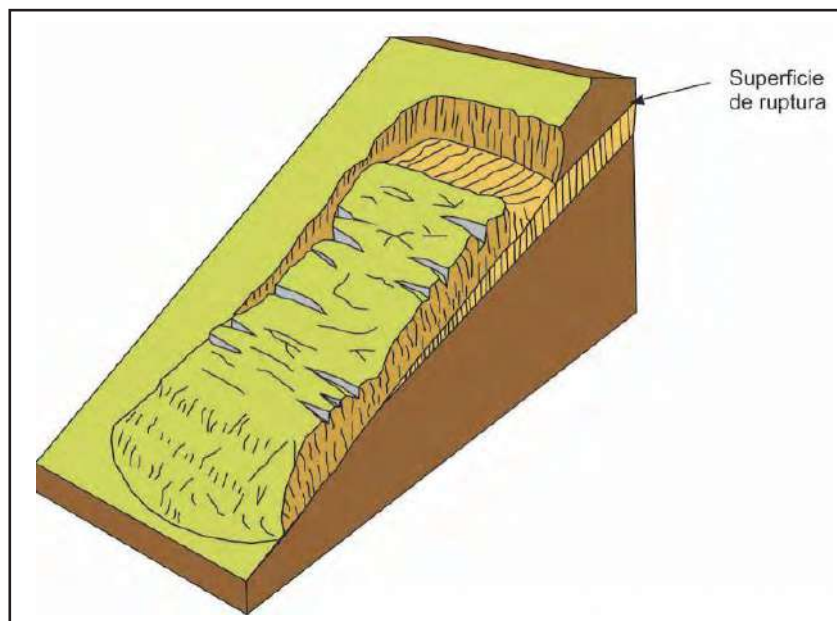


Figura 6.5 Deslizamiento traslacional.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007.

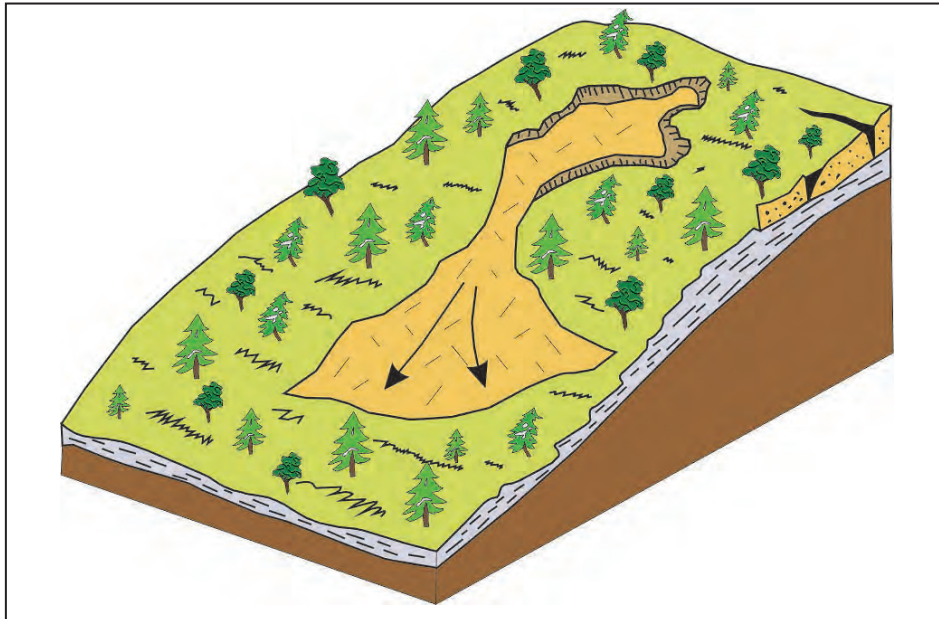


Figura 6.6 Movimiento complejo. Elaboración propia.

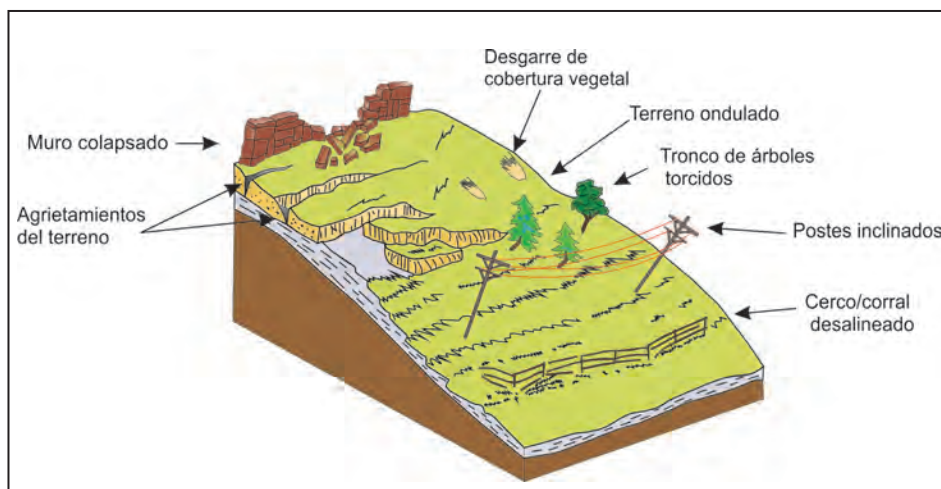


Figura 6.7 Esquema de reptación. Elaboración propia.

### Factores de inestabilidad de las laderas

Los factores que intervienen en la ocurrencia de un movimiento en masa son variados y son agrupados por los distintos autores bajo diferentes categorías. Para 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 tiene 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, que están relacionadas con la morfología de la ladera (pendiente de la ladera y su disposición respecto a discontinuidades geológicas, y la orientación de la ladera), y 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 a toda clase de materiales; no obstante, existen materiales más susceptibles que otros. Esto estará determinado por su grado de cohesión, fricción interna, presencia de fallas, diaclasas, planos de estratificación, de exfoliación, buzamiento de los estratos, discontinuidades litológicas con alternancia de materiales duros y blandos, 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 corrientes fluviales o por olas, las cuales crean frentes libres y las hacen susceptibles a la generación de movimientos en masa.

**Factores climáticos:** Los movimientos en masa también se producen en cualquier clima, y son 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. Ocasionalmente, 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), lo que disminuye 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, y 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 tiene 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 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 y estos suelos pueden ser propensos a la ocurrencia de un movimiento en masa.

**Inventario y Frecuencia de ocurrencia de los movimientos en masa**

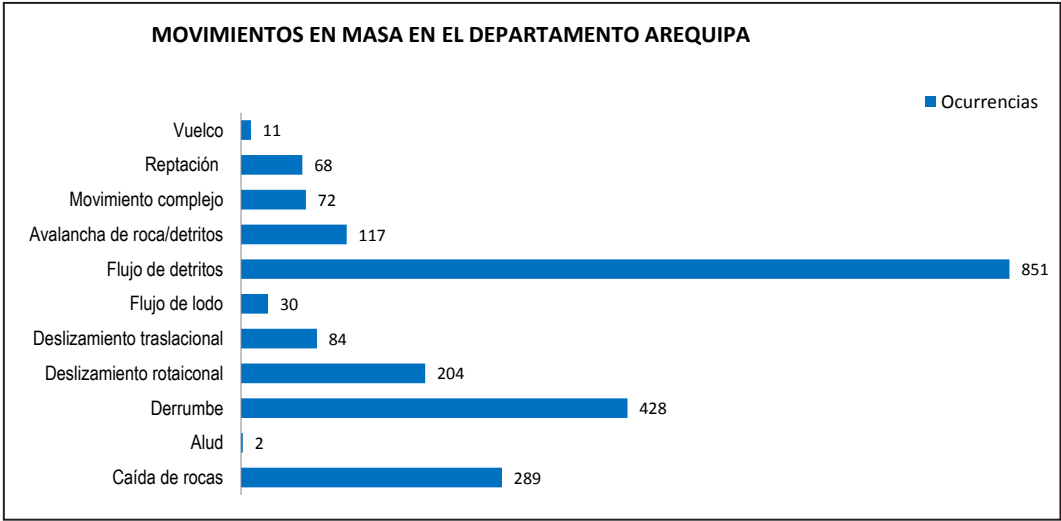
En la región Arequipa, hay registro de un índice moderado a alto de ocurrencia de eventos peligrosos en el período histórico o reciente (movimientos en masa activados por sismos y lluvias). La mayor cantidad de movimientos en masa ocurridos en la región se asocian tanto a eventos extremos hidroclimáticos y movimientos sísmicos.

En años normales, debido a sus características intrínsecas y externas (clima), en la región son también frecuentes procesos de huaicos, que afectan principalmente las carreteras. En estas

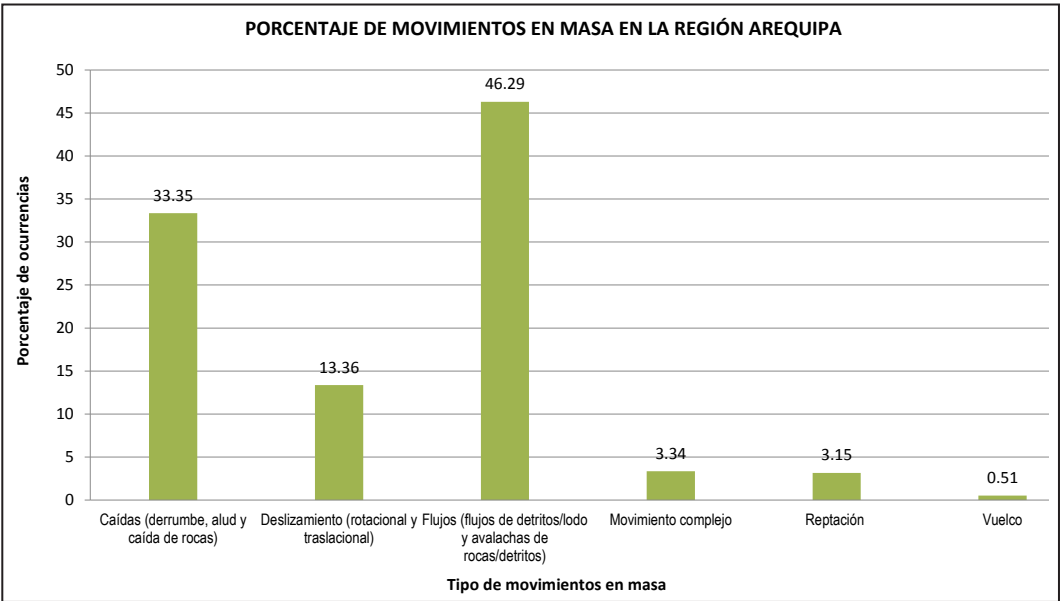
rutas, debido a los cortes inadecuados de los taludes, también son frecuentes los desprendimientos de rocas y derrumbes.

El análisis estadístico de la ocurrencia de movimientos en masa inventariados (2156 ocurrencias) se aprecia en el gráfico 6.3. Este muestra los flujos de detritos en primer lugar (851), derrumbes (428), caídas de rocas (291), deslizamientos (288), avalanchas de rocas/detritos (117), movimientos complejos (72), reptaciones (68), flujos de lodo (30) y vuelcos (11).

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 a la tipología similar que agrupa las ocurrencias en seis tipos.



**Gráfico 6.3** Ocurrencias de movimientos en masa en el departamento de Arequipa. Elaboración propia.



**Gráfico 6.4** Porcentaje de ocurrencias de movimientos en masa en el departamento de Arequipa. Elaboración propia.

**Flujos de detritos, flujos de lodo y avalancha de rocas/detritos (46.29 %):** Constituyen la mayor cantidad de ocurrencias con 998 eventos principalmente en materiales de fácil susceptibilidad a la erosión pluvial (depósitos aluviales y rocas piroclásticas y lahares, tobas andesíticas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados). 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. Se puede encontrar grandes depósitos de abanicos de flujos de detritos en los valles de los ríos Tambo, Colca, Orcopampa, Quilca, Siguas, Camaná, Ocoña, Atico, Caravelí, Chaparra, Yauca, Acari y las quebradas Pescadores, Yarayhuayco, de Guerreros, Caspari, 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 su ocupación antrópica, al existir grandes periodos de calma. Ejemplos de estos flujos se muestran en los sectores Aplao, Caspari, Pescadores, entre otras (fotografías 6.1 y 6.2).

A lo largo de su historia, la ciudad de Arequipa (Cercado y distritos aledaños) ha sido afectada muchas veces por fuertes precipitaciones pluviales, las que causan serias destrucciones materiales y que en muchas ocasiones han cobrado vidas humanas como en los años 1967, 1972, 1989 y 2013. Ellas,

actuando combinadamente con la considerable pendiente topográfica de la región, generan avenidas de las torrenteras como Polanco, San Lázaro, Venezuela, Los Incas y Huarangal que, a su vez, producen inundaciones en asentamientos humanos, vías de comunicación e infraestructuras. Esto 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; lo que genera 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. Este caso particular de la ciudad de Arequipa se debe a su progresivo movimiento de expansión acelerada hacia las cabeceras de las torrenteras sin ninguna planificación urbana. Muchas de ellas se encuentran en pleno cauce de estas torrenteras, las cuales han llevado a su desaparición, y se ha modificado así su cauce. La reducción de las luces de los puentes en las torrenteras, el arrojamiento de desmontes y basura al cauce de estas torrenteras y la presencia de canteras en la cuenca media y alta son otros factores que aceleran que se generen nuevos flujos (figuras 6.8, 6.9 y 6.10).

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 del volcán Sabancaya, Misti y sectores Tuti, Sihuán, Carmen Alta, Antata, Ciudad de Dios, entre otros.



**Fotografía 6.1** Huaico en la margen derecha del río Atico, altura del km 22+250 de la carretera Atico-Caravelí.





Fotografía 6.2 Huaico en la quebrada Pescadores, que cruza la carretera Panamericana Sur y deja aislada a una gran parte del poblado del mismo nombre.



Figura 6.8 Vistas Panorámicas de la Av. Venezuela (09/02/2013).





Figura 6.9 En la izquierda, vista aérea del sector Terminal Pesquero: se observa la reducción del cauce en forma escalonada de 6 a 3 m de ancho. En la derecha, ampliación de la vista: erosión en la margen izquierda de la torrentera Venezuela.



Figura 6.10 Ubicación y trayectoria de las cinco torrenteras que atraviesan la ciudad de Arequipa, en la margen izquierda del río Chili. Elaboración propia usando imagen Google Earth.

**Derrumbes y caída de rocas (33.35 %):** En segundo lugar, se presentan los derrumbes y caídas de rocas con 719 ocurrencias. Las caídas se presentan en muchos sectores de la región, en función del tipo de afectación (substrato rocosa). 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 dan en rocas volcánico-sedimentarias como rocas piroclásticas y lahares, tobas andesíticas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados. Del mismo modo, se presentan en rocas intrusivas como dioritas, tonalitas, granitos, monzogranitos; y en menor proporción en secuencias sedimentarias como intercalaciones de areniscas, conglomerados, limoarcillitas, lutitas y gneis del Complejo Basal. La región también presenta cobertura glaciar que en los últimos años se ha visto disminuida. Esta condiciona la ocurrencia de desprendimientos en forma de avalanchas de detritos 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 Panamericana Sur (km 645+900, km 701-km 705, km 720+500, km 727- km 729, km 730-km 731, km 732+500-km 734, km 746+300, km 756+700-km 759+500, km 761-km764+500, km 917+500, km 951- km 960), y Costanera (km 17). En esta última, en cada período lluvioso, sus valores de precipitación se encuentran por encima de los valores normales, lo que puede producir el colapso de varios kilómetros del talud superior de la carretera, e impedir el paso de vehículos y transeúntes. Estos derrumbes también han sido identificados a lo largo de los tramos Atico-Caravelí, Aplao-Viraco, Cotahuasi-Arequipa, Pedregal-Huambo, Chivay-Tuti, Cañahuas-Imata, variante Uchumayo (km37), Arequipa-Yura, Desvío 48- Mina Cerro Verde. Los principales sectores afectados por caídas son Palcacha, Calihuayoc, Morro en la provincia de Castilla, Pumacocha, Piro, Cachana en la provincia de La Unión, Pescadores en la provincia de Camaná, puerto Matarani en la provincia de Islay, El Zarzal, Villa Ecológica, valle Chilina en la provincia de Arequipa, entre otros (fotografías 6.3 al 6.5).



**Fotografía 6.3** Derrumbes en forma de canchales de detritos en laderas, en playa Las Cuevas, debajo del Faro.





Fotografía 6.4 Derrumbes en forma de canchales de detritos en laderas del cerro Tunush, km 22+320 de la carretera Atico-Caravelí, margen izquierda del río Atico.



Fotografía 6.5 Caída de rocas en la carretera Panamericana Sur km 766+000, sector La Planchada, distrito de Atico.

### Deslizamientos rotacionales y traslacionales (13.36 %):

Con 288 ocurrencias, tiene un área de afectación mayor que otros peligros. Un importante número de procesos son antiguos y otros recientes. Los deslizamientos identificados en el área son antiguos y los que se encuentran involucran en su mayoría formaciones superficiales (aluviales), 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, y se encuentran comprometiendo litologías de todos los tipos, como son sedimentarias (areniscas, lutitas, limolitas y conglomerados), volcánico-sedimentarias (rocas piroclásticas, lavas con intercalaciones de areniscas, conglomerados y lutitas) y volcánicas (secuencia lávica andesítica/dacítica), entre otros. Estos deslizamientos empiezan con poca área y volúmenes comprometidos hasta paulatinamente configurar verdaderos megadeslizamientos, como los que se encuentran en los sectores Llacas, Carmen Alto, Pasquita, Chuquibamba (provincia de Condesuyos), Huarayane, El Carmen, La Capilla,

San Juan de Sigvas, Zarzal, Pie de Cuesta, Pachaqui y Santa Ana (provincia de Arequipa), Accoro, Lauripampa (provincia de La Unión); Maca, Lari, Madrigal, Achoma (provincia de Caylloma), entre otros (fotografía 6.7 y 6.8). En el caso de Sigvas, el cual presenta un comportamiento muy activo por efecto principalmente de las filtraciones de agua del riego desmesuado en el sector Majes (provincias de Caylloma y Arequipa) y factores intrínsecos como (litología, geomorfología e hidrogeológicos), afecta 1.4 km de carretera Panamericana Sur (km 920+000-km 921+400), el canal de irrigación Majes Sigvas I, parcelas de cultivos y la subestación eléctrica de la SEAL (fotografías 6.6, 6.7, 6.8 y figura 6.11).

En su mayoría, son del tipo rotacional (204), que presenta escarpas antiguas semicirculares a rectas del orden de pocas centenas de metros 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.

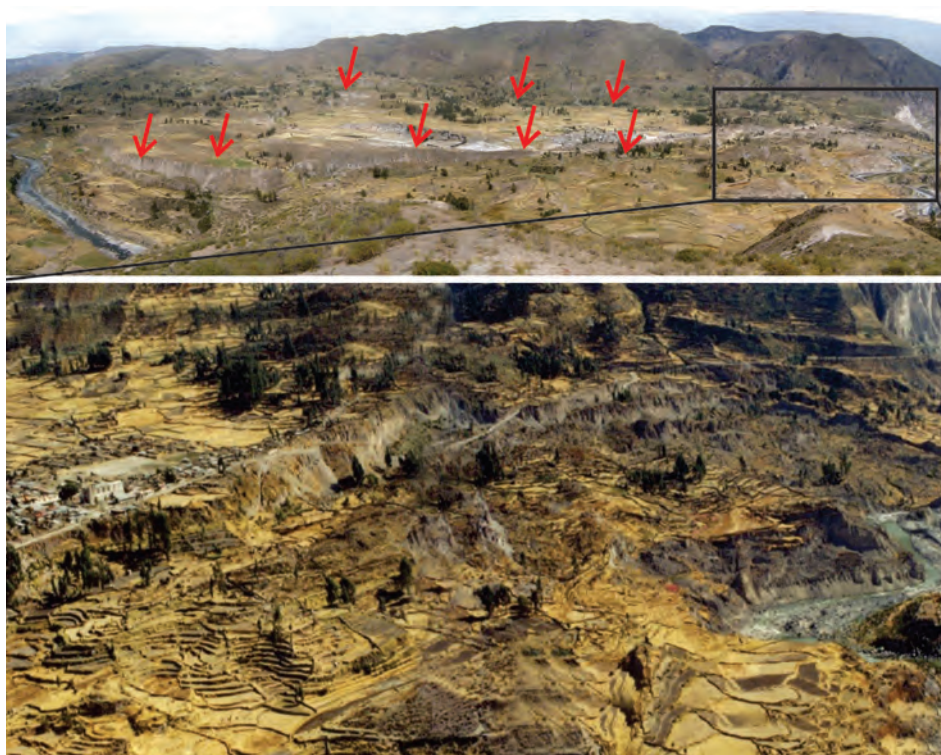


**Fotografía 6.6** Vista Panorámica del deslizamiento de Sigvas (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2020).





**Fotografía 6.7** Vistas del deslizamiento de Pachaqui y Santa Ana que propiciaron el represamiento temporal del río Sihuas.



**Figura 6.11** Arriba) Vista del deslizamiento de Maca en el valle del río Colca. El círculo rojo indica el área con reactivaciones recientes y más críticas, también se indica las escarpas con flechas de color rojo. Abajo) Detalle de la zona reactivada principalmente por la intensa erosión fluvial y los frecuentes movimientos sísmicos (Zavala *et al.*, 2012).



**Fotografía 6.8** Deslizamiento rotacional de Achoma, ocurrido el 18 de junio de 2020, con desplazamiento retrogresivo. La escarpa principal del deslizamiento tiene entre 100 a 150 m de altura, 950 m de longitud y 500 m de desplazamiento. A consecuencia del deslizamiento, un área de 40 hectáreas de terreno de cultivo se deslizó en dirección del río Colca, formando un dique natural de 1140 m de longitud, 75 m de altura, y provocó su represamiento. Podría afectar terrenos de cultivo en las márgenes del río de las poblaciones asentadas aguas abajo del río.

**Movimientos complejos (3.34 %):** Este tipo de proceso está inventariado con 72 ocurrencias en la región. Agrupa las ocurrencias combinadas de eventos de deslizamientos-flujos, derrumbes-flujos, deslizamiento-flujo de tierras, caída de rocas-flujo de detritos u otro movimiento en masa de carácter complejo como los ocurridos en los sectores Luicho, Antabamba, Chusacay en la provincia de La Unión; Pillcull en la provincia de Castilla; Arcata, Chiringay, Salamanca en la provincia de Condesuyos; Pampa Redonda, Mallco en la provincia de Caravelí; Chilcapampa, Ichupampa, Chivay, Achoma en la provincia de Caylloma; Tapay, Parque Ecológico, Totorane, Aji en la provincia de Arequipa, entre otros.

- **Reptaciones (3.15 %):** Se ha identificado en la región 68 ocurrencias, que se encuentran distribuidas a lo largo de zonas de bofedales, altiplanicies y zonas periglaciares. Generalmente, afectan zonas de laderas de pendiente

moderada a suave con pastizales como en laderas de los cerros Cochitaoc, Saytria, Pichuachani, Condorsane, Tambillo, Surahuanusca, Arejocha, Bingorota, Aco-Santa, Topla, Salco, Pisa, Pillone, Condorpillo (fotografía 6.9), entre otros. Al afectar la cobertura de suelos superficiales, pueden constituir el proceso inicial de deslizamientos, derrumbes o movimientos complejos.

- **Vuelcos (0.51 %):** Finalmente, se tiene los procesos de vuelcos con 11 ocurrencias, en los sectores La Huaca en la provincia de Camaná, El Fiscal en la provincia de Islay, Galaxia en la provincia de Arequipa y laderas de los cerros Sauso en la provincia de Castilla, Sillapata y Laucota en la provincia de Caylloma, entre otros. Estos se presentan principalmente en rocas sedimentarias de la Formación Acurquina y las formaciones Puente, Cachíos y Labra del Grupo Yura.





**Fotografía 6.9** Reptación en laderas del cerro Condorpillo en ambas márgenes del río Ichucaña, en la provincia de Caylloma.

#### 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 desencadenantes o catalizadores 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, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes, cualitativos o cuantitativos, de las áreas movidas o alcanzadas. Este análisis se materializa normalmente en forma de un mapa de susceptibilidad y suele suponer que el comportamiento futuro de la ladera seguirá las mismas pautas que hasta el presente (Ayala-Carcedo, 2002).

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), las técnicas de tratamiento de datos (métodos estadísticos y probabilísticos) y mapas obtenidos de datos instrumentales (Corominas, 1987). Los diferentes métodos están agrupados dentro de cuatro grandes grupos principales: determinísticos, heurísticos, probabilísticos y geomorfológicos.

Para determinar los grados de susceptibilidad a los movimientos en masa a escala regional en la región Arequipa, 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, la litología, la hidrogeología (permeabilidad de las rocas), la cobertura vegetal y el uso del suelo.

De acuerdo a las observaciones de campo, a cada factor se le asigna un peso porcentual de forma cualitativa, según como se considera que influyen en la inestabilidad de los terrenos, principalmente sobre la base de la experiencia del geólogo encargado de hacer el estudio de susceptibilidad. Es así que este valor o peso, representa en cuanto 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 Arequipa. La valoración de estos parámetros se han realizado de acuerdo a la influencia beneficiosa de cada subunidad de los mapas-factores en la ocurrencia de movimientos en masa. En el cuadro 6.3, se presentan estos pesos, lo que permitió zonificar la región en cinco rangos de susceptibilidad desde muy alta a muy baja (ver 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 a 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).	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 a 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 acuífugos).	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 y susceptibilidad a los movimientos en masa en el departamento Arequipa**

Factores	Susceptibilidad a movimientos en masa			
	Muy Baja	Baja	Media	Alta
Pendiente	< 1°	1° - 5°	5° - 15° > 45°	15° - 25°
Geomorfología	Altiplanicie sedimentaria Bofedales Campo de dunas Islas Lagunas y cuerpos de agua Llanura inundable Meseta ignimbítica Meseta volcánica lávica Terraza aluvial Terraza indiferenciada Valle glaciar	Cráter y caldera volcánica Coladas y campo de lavas basalto- andesíticas Depósito antropógeno Domo volcánico Superf. con flujo piroclástico Terraza marina Mantos de arena	Montañas en roca intrusiva, metamórfica Montañas y colinas en roca intrusiva, metamórfica Colinas y lomas en roca intrusiva Campo de cenizas volcánicas o manto de piroclastos Complejo volcánico Estratovolcán Superficie con flujo piroclástico disectado Abanico de piedemonte Morrenas Vertiente o piedemonte aluvial Faja litoral Cono de escoria monogenético	Montañas en roca volcánica, sedimentaria -estructural y con cobertura glaciar Montañas y colinas en roca sedimentaria y volcánica Ladera de montaña en roca intrusiva y sedimentaria Colinas y lomas en roca metamórfica, sedimentaria y volcánica Colinas y lomas disectadas en roca sedimentaria y volcánica Colinas y lomas estructurales en roca sedimentaria Colinas y lomas ignimbíticas y piroclásticas Vertiente aluvio-torrencial Vertiente aluvio-deluvial Vertiente glacio-fluvial
		Depósitos fluviales Depósitos lacustrinos/bofedales Depósitos químicos Pórfidos, hipabisales	Depósitos aluviales Depósitos glaciares/fluvioglaciares Depósitos volcánicos y volcanocásticos Granitos y monzogranitos Granodioritas Dioritas, tonalitas, gabrodioritas y gabros Rocas piroclásticas y lavas Secuencia lávica andesítica/dacítica Andesitas basálticas Rocas piroclásticas y lavas dacíticas y andesitas intercaladas con areniscas, lutitas y conglom. R. piroclásticas, lahares y lavas, tobas dacíticas y andesitas con areniscas, lutitas y conglomerados Calizas, lutitas carb., limoarcillas y margas Areniscas, lutitas y limoarcillitas Areniscas cuarzosas Calizas masivas Gneis	Depósitos residuales Depósitos édicos Depósitos marinos Depósitos antropógenos Rocas piroclásticas Pizarras y esquistos
Litología				Depósito coluvio-deluvial, proluvial, glaciar Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas
Cobertura Vegetal y uso de suelo	Desierto costero Plantación forestal Lagunas, ríos y reserv. de agua Actividad minera Áreas urbanas	Loma	Bosque relicto altoandino Pajonal altoandino Periglacial	Agricultura costera y andina Bofedal Matorral arbustivo Glaciar
Hidrogeología			Acuífero poroso volcánico Acuífero fisurado sedimentario y volcánico Acuífero sedimentario y volcánico-sedimentario	Acuífero poroso no consolidado Acuitardo Acuitardo intrusivo, subvolcánico, volcánico y volcánico-sed.
				Acuitardo sedimentario AcuíferoAcuífero 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 10.3 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, el presentar en general una topografía plana algo ondulada con pendientes bajas a muy bajas (<1°-5°). En esta categoría, **se tiene depósitos superficiales de materiales inconsolidados de tipo aluvial, bofedal y eólicos acomodados en terrenos muy planos.** El substrato rocoso se encuentra constituido por rocas **metamórficas del Complejo Basal de la Costa (gneis) y de la Formación Marcona (mármol, cuarcitas), poco fracturadas, duras y resistentes a la meteorización y erosión.** También se tiene granodioritas de la Superunidad Linga-Yarabamba, tobas líticas de la Formación Huaracane y del Grupo Maure.

Constituyen terrenos con laderas de inclinación llana; con morfologías de altiplanicies sedimentarias, mesetas ignimbríticas, terraza aluvial, de llanura o planicie aluvial, **vertiente glaciofluvial, superficie de flujo piroclástico, 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).** Finalmente, se tiene colinas y lomadas modeladas en rocas volcánicas; y en menor porcentaje colinas y lomadas en rocas metamórficas.

Generalmente, se trata de zonas desprovistas de vegetación, correspondientes al desierto costero y también zonas donde se desarrolla agricultura costera y andina, pajonal altoandino y matorral arbustivo. La unidad hidrogeológica es el acuífero

poroso no consolidado. 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, 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 de detritos u otros movimientos en masa, en sus zonas marginales;** así como realizar estudio por licuación de suelos.

Esta área ocupa el 7.89 % 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 Arequipa, cubiertas en grandes extensiones por mantos de arena eólica. En esta zona, se encuentran trazados varios tramos de la carretera Panamericana Sur (entre Sor Ana de Los Ángeles-Estación Cachendo y tramos en la Pampa Sihuas) y de la carretera de acceso a Matarani (San Camilo-Estación Guerrero); la línea férrea del ferrocarril del Sur, tramo La Joya-Puerto Matarani. Allí se asientan poblados importantes como Huchas Santa Rita de Sigwas, Fundo San Miguel, Hunter, entre otros .

### 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, la pendiente de los terrenos.**

Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada con pendientes muy bajas a medias (1° < hasta de 15°) en algunos sectores (laderas de colinas de baja altura). Allí se **tiene observan depósitos de materiales superficiales aluviales, marinos, acumulaciones de arena, volcánico y volcanoclásticos.** El substrato está constituido por rocas volcánicas constituidas por tobas, secuencias lávicas; rocas intrusivas constituidas por dioritas, tonalitas, gabros, granodioritas, granitos y monzogranitos, poco alterados y meteorizados; y gneis del Complejo Basal de la Costa. La cobertura vegetal está

representada por zonas agrícolas, localizadas a lo largo de valles. 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 y los acuífugos principalmente.

Se incluyen a las unidades geomorfológicas de altiplanicie sedimentaria, como piedemonte aluvial, campo de lavas basalto-andesíticas, meseta ignimbrítica, caldera volcánica, 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 a las colinas y lomadas modeladas en rocas metamórfica, volcánica e intrusiva.

En esta zona, se localizan obras de infraestructura vial muy importantes (Panamericana Sur, tramo que pasa por las pampas del Toro y Cincocruces; Chala-Morro Abra de los Chaparrinos, Pampas Mendoza, Yauca y Jahuay, 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. Asociados 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.

Esta área ocupa el 18.61 % 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 Acarí, Camaná; las terrazas de la cuenca media-baja del río Acarí, quebrada de Pescadores, Camaná, Colca, también las terrazas y llanuras inundables correspondientes al valle del río Yauca, Ocoña, Quilca-Vitor, Tambo. Dentro de esta zona, se tiene los poblados La Pampa, Yanacancha, Ancasi, Anonta, Accoma, 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 ( $5^{\circ}$ – $15^{\circ}$ ). Allí se observan depósitos

de material superficial aluvial, coluvial y acumulaciones de arena. El substrato está conformado por rocas sedimentarias, como intercalaciones de conglomerados, areniscas y lutitas (Formación Pisco), intercalaciones de areniscas cuarzosas con areniscas calcáreas de la Formación Labra; conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas (Formación Moquegua); rocas intrusivas conformadas por dioritas, tonalitas, gabrodioritas y gabros, granodioritas de la Superunidad Linga-Yarabamba; granitos, monzogranitos y granodioritas del Batolito Atico-Camaná; monzogranitos de Tiabaya; secuencias volcano-sedimentarias conformadas por tobas, brechas basálticas, lavas y tobas andesíticas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados de las Formaciones Chocolate, Guaneros; rocas volcánicas (flujos de lava y piroclastos), y rocas metamórficas (pizarras y esquistos de la Formación San Juan). En menor proporción, estas rocas se encuentran fracturadas y alteradas (meteorizadas) por efectos del clima. Las unidades hidrogeológicas que favorecen a la susceptibilidad son los acuíferos, acuíferos fisurados, acuitardos y acuífugos.

Se incluyen dentro de esta zona, a las unidades geomorfológicas de montañas, colinas y lomadas, piedemontes, mantos de arena, campos de dunas, complejos volcánicos, campos de lavas y los bordes de la superficie de flujo piroclástico disectado. Se encuentran cubiertas por vegetación de agricultura costera en zonas de valles y abanicos aluviales, matorrales. 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 o periglaciación. 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 colinas y lomadas modeladas en rocas sedimentarias que bordean el litoral, se producen derrumbes y deslizamientos por desestabilización de acantilados a efecto de la erosión marina en la base; como sucede en la zona de Puerto Matarani, Playa Las Cuevas, Punta El Pesquero, entre otros.

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 de estos bordes.

Estas áreas también pueden resultar dañadas por los flujos de lodo y detritos originados en zonas de mayor altitud, durante periodos de lluvia extraordinaria. Hay que 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. Asociados 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 32.99 % de la superficie total de la región y está representada en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con color amarillo. Dentro de esta zona, se ubican las localidades de Cabanaconde, Mina Sincona, Chaviña, Pescadores, anexo Barrera. También se encuentra trazada parte de la carretera Yauca-Laytaruma, tramos de la carretera Atico-Caraveli y algunos tramos de la Panamericana Sur (Puente Yauca, Chaviña, sector Cerro Arena), así como varios tramos de la vía férrea Arequipa-Juliaca y carreteras de penetración a la región 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 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. Esta zona 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 tiene depósitos de material superficial inconsolidado de tipo proluvial, aluvial, eólico y morrénico. El substrato rocoso está conformado por rocas sedimentarias (formaciones Moquegua, Ambo, Hualhuani, Pisco, Labra, Socosani, etc.), rocas volcánicas (Formación Huaylillas), rocas volcánico-sedimentarias (Formación Guaneros), rocas metamórficas (Complejo Basal de la Costa) y rocas intrusivas (granodioritas, granito, monzogranitos, dioritas, tonalitas y gabrodioritas en menor porcentaje) 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 y volcánico-sedimentarias, volcánicas y sedimentarias, montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria, colinas y lomadas disectadas en roca sedimentaria, vertientes o piedemontes coluvio-deluviales y aluvio-torrenciales (incluye abanicos de flujos de detritos), vertientes glaciares y mantos de arena acomodados en laderas de pendiente media a fuerte. Estas se encuentran cubiertas por vegetación de tipo matorral disperso y pajonal altoandino, periglaciario y lomadas. El área restante lo constituye el desierto costero. Las unidades hidrogeológicas comprometidas son los acuíferos, acuitardos, acuífugos y acuíferos porosos no consolidados.

Los procesos de erosión de laderas ocurren principalmente en las laderas de las cabeceras de los valles (tipo surcos). Asimismo, 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 29.02 % de la superficie total en la región y está representada en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con color anaranjado. Dentro de esta zona, se localizan los poblados de Maca, Callalli, Tapay, Puyca, Aplao, Andamayo, Lomas de Mamas, Quicacha, Pirca, Iquipi, Tauria, Ayancay, San Juan de Chorunga, Vilcan 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 Arequipa, así como las torrenteras que pasan por la ciudad de Arequipa. Dentro de esta zona, se tiene varios tramos de la vía férrea Arequipa-Juliaca, la carretera Panamericana Sur, la carretera Corire-Aplao y varias carreteras de penetración hacia la sierra de Ayacucho y Cusco.

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; y 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 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 realizar estudios geotécnicos de detalle.



### Muy alta susceptibilidad

Este tipo de zona presenta condiciones de terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Se concentra donde ocurrieron deslizamientos en el pasado (valle de los ríos Colca, Cotahuasi). También se han registrado ocurrencias recientes, que se encuentran actualmente en un estado de latencia alta.

Estas áreas presentan pendientes fuertes a muy fuertes (>15°). Comprometen suelos coluviales derivados de antiguos movimientos en masa, así como depósitos proluviales y coluvio-deluviales. El substrato está conformado por rocas sedimentarias arenisco-calcáreas con nódulos, lutitas muy deleznales y limoarcillitas de coloraciones rojas (formaciones Puente, Murcos, Acurquina, Ashua, Huallhuani, Labra, Cachíos y Pisco), rocas metamórficas (esquistos de la Formación San Juan), rocas volcánicas (tobas), rocas volcánico-sedimentarias (conglomerados, aglomerados y brechas de la Formación Orcopampa) y rocas intrusivas (granodioritas, tonalitas, granitos, monzogranitos y dioritas). Estas rocas se encuentran muy fracturadas y meteorizadas a suelos de tipo arcillo-limoso y areno-limoso. La meteorización en rocas intrusivas es de tipo disyunción esferoidal y disgregación granular. Las unidades hidrogeológicas comprometidas son principalmente los acuitardos y acuifugos, en menor proporción se tiene los acuíferos fisurados.

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 estructurales en roca sedimentaria; montañas en roca volcánica, piedemontes coluviales, y vertientes de los valles con fuerte pendiente (ríos Colca, Cotahuasi, Sigüas, etc.). También están incluidas las vertientes con depósitos de deslizamiento que incluso llegan a cerrar y cambiar el curso del río Colca, Quilca-Vitor-Chili, entre las localidades de Maca y Lari; las cuales se encuentran descubiertas. La vegetación es escasa, de tipo matorral, pajonal altoandino, que domina el desierto costero 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 es posteriormente acarreado y forma flujos de detritos cuando se presentan lluvias

en estas zonas que permanecen secas por largos periodos. 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 11.49 % de la superficie total de la región y está representada en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con color rojo. En esta zona, se encuentran trazados varios tramos de carreteras que permiten el acceso hacia la sierra de Ayacucho (como las carreteras Charcana-Andamarca, carretera Puyca-Cotahuasi, Tuti-Cabanillas, entre otros).

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 de 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 combinados<sup>5</sup>. En la región Arequipa, representa el 7.28 % del total de peligros inventariados.

#### Erosión fluvial

Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos, que socava 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, y quebradas secas (provocada por flujos de detritos o huaicos) erosiona su lecho y márgenes, y modifica 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.

<sup>5</sup> 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, y es en este caso afectado inicialmente aguas arriba (inundación), y posteriormente aguas abajo cuando se rompe el dique (de forma natural o inducida). En este caso, se produce gran erosión.

La energía cinética del agua determina la intensidad de la erosión y depende de la energía potencial, que se debe a la diferencia de altura entre la zona donde discurre y el nivel del mar. La energía cinética no es uniforme a lo largo del curso del río y es mayor en el tramo alto de mayor pendiente y menor

en la desembocadura. Ello determina una erosión diferencial que modifica el perfil longitudinal del curso del río, y evoluciona hacia un modelo teórico, el denominado perfil de equilibrio, en el que cada punto del mismo recibe por sedimentación la misma cantidad de materiales que pierde por erosión (figura 6.12).

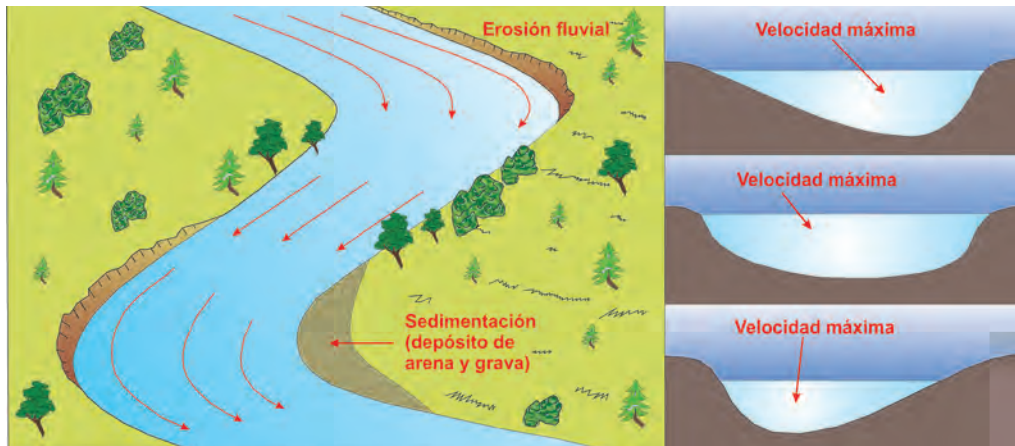


Figura 6.12 Esquema de erosión fluvial. Elaboración propia.

### 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. Estas zonas, principalmente adyacentes a los ríos y cursos de aguas, son conocidas como "llanura de inundación".

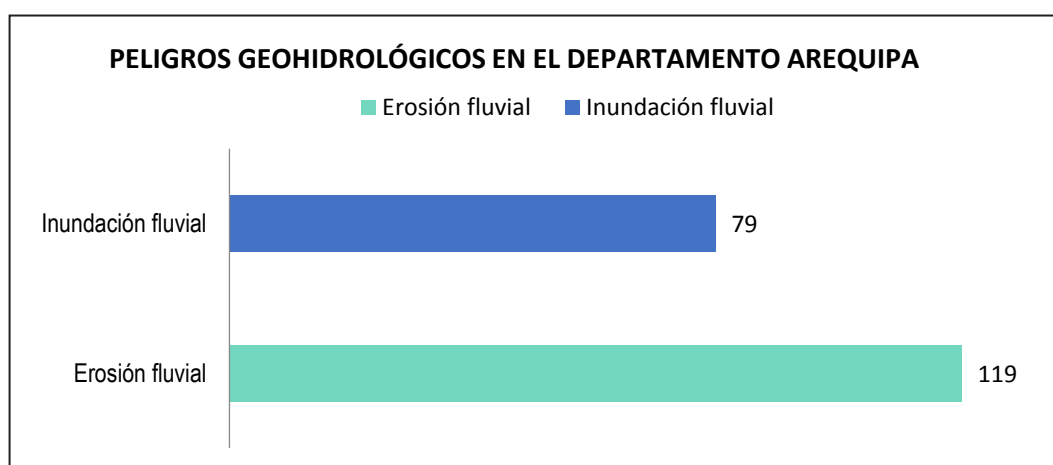
La llanura de inundación corresponde a aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia. Esta zona es, por tanto, "propensa a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de estas excede un nivel aceptable. Esta se puede considerar desde perspectivas diferentes: como categoría topográfica, es plana y se encuentra al lado un río. Geomorfológicamente, es una forma de terreno

compuesto de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río. Hidrológicamente, se define como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río. Una combinación de estas tres características cubre los criterios esenciales para definirla (Schmudde, 1968).

Los sectores en donde se generan estos procesos son variables y la morfología es un factor fundamental en la determinación de zonas susceptibles. Para identificar las áreas de inundación, se utilizan tanto criterios geológicos (tipo de lecho del cauce y márgenes) como hidrológicos (huellas de 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 (198 ocurrencias) se aprecia en los gráficos 6.6. y 6.7. Allí se muestra las erosiones fluviales en primer lugar (119) y la inundación fluvial (79). Estos procesos pueden presentarse asociados en algunas ocasiones.



**Gráfico 6.5** Ocurrencias de peligros geohidrológicos en el departamento de Arequipa. Elaboración propia.

Las ocurrencias de erosiones fluviales e inundaciones inventariadas en la región Arequipa indican una regular frecuencia como se describe a continuación:

**Erosiones fluviales (60.10 %):** Se presentan en muchos sectores de la región con 119 ocurrencias. Las causas principales son las intensas precipitaciones pluviales, los ríos meandriiformes o la morfología del cauce, la dinámica fluvial, la pendiente, el material del suelo o el substrato en las márgenes, la deforestación, la ocupación de áreas susceptibles, la falta de defensas ribereñas, el mal diseño de puentes (longitud, luz y estribos) y la mala ubicación de estructuras.

Durante los periodos de lluvia, que es cuando los ríos presentan caudales extraordinarios (de agua y de escurrimiento superficial), se tiende a desgastar la ribera o cauce natural del río y se propicia la inundación de áreas agrícolas o urbanas etc. Son factores que coadyuvan a este fenómeno la mayor o menor pendiente del cauce, el material de arrastre (vegetales, rocas, arena, etc.) y la falta de vegetación ribereña natural. Este fenómeno se da con relativa frecuencia en la región, como es el caso de los centros poblados como Huancarama, Pichigua, Luchea, San José de Huatiapilla, Huambo, Orcopampa y puente Aplao. También se aprecia en Caspari en la provincia de Castilla; Quicacha, Pampa Redonda, La Zanja-La Huarca, Querulpa Grande, Machaynioc en la provincia de Caravelí; Sibayo en la provincia Caylloma; Bellavista, Yarabamba, Bedoya, puente La Marina Socabaya, Horacio Delgado, Albertazo, Yumina, Coripata, Mocoro, Puente Abelardo Quiñones, Molebaya, puente Sabandía, puente Chiguata en la provincia de Arequipa, etc., por

citar algunos ejemplos (fotografías 6.10 y 6.11).

En algunos 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 como en los sectores Vista Alegre-Tani, Acarí, Chaparra. En estos sectores, ha sido necesario arrimar material, encauzar el río con gaviones, muros o enrocados o pilotes de concreto para controlar el proceso.

**Inundaciones fluviales (39.90 %):** Con 79 ocurrencias, es la primera relacionada a los valles principales de los ríos Chaparra, Sigwas, Quilca, Vitor, Ocoña, Acarí, Chili, Yauca, Socabaya, Tambo, Majes, Camaná y sus tributarios, entre otros. Acontecen 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, y 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 y cubren temporalmente las áreas adyacentes (cultivos, ciudades etc.). En la región de Arequipa, con cierta frecuencia se da en Ocoña, Huanuhuanu, Hacienda Ongoro, Qulcapata, La Laja, Collon, Huacapuy, Las Palmas, Cujan, Huantay, Cenicerros, Pescadores, Chilina, entre otros (fotografías 6.12 y 6.13).



Fotografía 6.10 Erosión fluvial en la margen izquierda del río Atico afecta tramo de la carretera Atico-Caravelí (km 19+200).



Fotografía 6.11 Erosión fluvial en la margen derecha del río Acari, sector Machaynioc, provincia de Caravelí.





Fotografía 6.12 Área sujeta a inundación fluvial en la margen derecha del Quilca, terreno usado para cultivo, sector Playa Quilca, provincia de Camaná.



Fotografía 6.13 Área sujeta a inundación fluvial en ambas márgenes de la quebrada Pescadores, sector Pescadores, provincia de Camaná.

#### 6.4.2.1 Susceptibilidad a inundaciones y erosión fluvial

La susceptibilidad se refiere a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda sobre determinado espacio geográfico. La susceptibilidad analizada representa un enfoque basado en un análisis heurístico-cualitativo, donde prima el conocimiento experto e histórico del lugar que se evalúa. Basado en una visión retrospectiva de los eventos acontecidos en la región, y partiendo del conocimiento de las características geomorfológicas, hidrológicas y edafológicas del valle principal y tributarios, se llega a zonificar la región en zonas de mayor o menor predisposición a estos procesos.

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 inundaciones<sup>6</sup>, en función a la escala de trabajo, se consideran dos variables: rangos de pendiente y unidades geomorfológicas de la región. En forma simultánea, ocurren procesos de erosión fluvial como eventos asociados, generalmente circunscritos a la caja o cauce principal o quebrada limitados por terrazas bajas o altas, donde la fuerza erosiva o socavamiento fluvial se origina muchas veces por la carga de sedimentos (flujos de detritos o huaicos). Esto ocurre anualmente con las avenidas estacionales, y dependiendo de

<sup>6</sup> 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.

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.

Las variables usadas, su forma de obtención y los pesos asignados a cada factor se presentan en el cuadro 6.4. Asimismo, en forma independiente se asignaron diferentes pesos a las unidades diferenciadas (cuadro 6.5). Esto permitió zonificar la región en rangos de susceptibilidad desde alta a muy baja o nula (ver mapa 8).

Cuadro 6.4

## Ponderación de las variables

Variable	Descripción	Obtención	Peso
Pendiente	Seis rangos de pendiente de los terrenos, expresados 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	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).	60

Cuadro 6.5

## Unidades consideradas y susceptibilidad a las inundaciones en el departamento de Arequipa

Factores	Susceptibilidad a inundaciones y erosión fluvial			
	Nula	Baja	Media	Alta
Pendiente	15° - 25° 25° - 45° >45°	5° - 15°	1° - 5°	<1°
Geomorfología	Montañas en roca intrusiva, metamórfica, sedimentaria, estructural, volcánica y volcánico-sedimentaria, con cobertura glaciar Montañas y colinas en roca intrusiva, metamórfica, sedimentaria, volcánica y volcánico-sedimentaria Ladera de montaña en roca intrusiva y sedimentaria Ladera de montaña en roca volcánico-sedimentaria Colinas y lomas en roca intrusiva, metamórfica, sedimentaria y volcánica, volcánico-sedimentaria, estructurales en roca sedimentaria Colinas y lomas disectadas en roca sedimentaria y volcánica Colinas y lomas ignimbriticas y piroclásticas Campo de cenizas volcánicas o manto de piroclastos Coladas y campo de lavas basalto- andesíticas Complejo volcánico Domo volcánico Estratovolcán Cono de escoria monogenético Vertiente volcanoclástica Vertientes coluvio-deluvial, glacio-fluvial y de gelifracción Mantos de arena Terraza marina Campo de dunas Depósito antropógeno	Abanico de piedemonte Faja litoral Superf. con flujo piroclástico Cráter y caldera volcánica Meseta ignimbritica Meseta volcánica lávica Morrenas Vertiente con depósito de deslizamiento Vertiente o piedemonte aluvial Valle glaciar Vertiente aluvio-torrencial Terraza alta aluvial	Superficie con flujo piroclástico disectado Altiplanicie sedimentaria Bofedales Terraza aluvial Terraza indiferenciada	Llanura inundable Islas Lagunas y cuerpos de agua

### Grados de susceptibilidad a inundaciones

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 10.1, 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 (ver mapa 8) y su distribución en la región Arequipa se describen a continuación:

#### 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 glaciar.

Esta abarca la mayor superficie de la región, con un 61.64 % del área total de la región.

#### Baja susceptibilidad

Califican así los 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 que pueden acumular agua. En esta categoría se tiene los terrenos levemente inclinados como las cimas de las mesetas, abanicos de piedemonte, mal drenados que son inundados en periodos de lluvia excepcional.

También en esta agrupación se tiene las morrenas y cuerpos de deslizamientos antiguos, de gran dimensión, en los cuales se forman concavidades, conformados por materiales impermeables que favorece la acumulación de agua de escorrentías de corto recorrido y de precipitación pluvial.

Esta zona representa el 24.32 % 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, conformados por terrazas bajas, altiplanicies,

torreteras 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, conformado por piedemontes de baja pendiente. Se distribuyen en:

- Río Tambo: inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial en ambas márgenes que afectan las terrazas aluviales cubiertos por terrenos de cultivo, en los sectores La Pampilla, Suiza, Catas entre otros. En el extremo sur de la región.
- Río Majes-Camaná: inundaciones y procesos de erosión fluvial que afectan terrazas aluviales hasta la confluencia del río Camaná.
- Quebrada Los Huanacos: inundaciones y erosión fluvial hasta la confluencia con la quebrada La Yesera.
- Río Ocoña: inundación y erosión fluvial- Afecta terrazas del río, vertientes aluvio-torrenciales de baja pendiente, formados en la desembocadura de sus principales afluentes.
- Río Atico: predominan los procesos de erosión fluvial a lo largo del valle. Afecta abanicos proluviales de baja pendiente que presentan canales de drenaje en su depósito y tramos de la carretera Atico-Caraveli
- Río Chaparra: inundación y procesos de erosión fluvial, que principalmente afecta tramos de la carretera Chaparra-Quicacha y plantaciones de olivo.
- Río Colca: Procesos de erosión fluvial principalmente, afecta terrazas

Procesos de inundación pluvial en un inicio en terrenos plano-ondulados que bordean lagunas, en mesetas, altiplanicies y fondo de valles glaciares.

También se encuentran comprometidos 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, como en los sectores Jaguay, Chacalaca, Japutame, pampas del Confital, Pucapampa, Negra Apacheta, entre otros. También se tiene terrenos con esas condiciones en las ondulaciones formadas por lomadas y colinas de baja altura.

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 12.81 % de la superficie total de la región.

### Alta susceptibilidad

Terrenos que corresponden a llanuras de inundación y terrazas bajas, que se inundan de forma ocasional y excepcional en los valles de la altiplanicie del extremo suroeste de la región, la Cordillera Occidental, la Cordillera Oriental y la Faja Subandina. Estas inundaciones están relacionadas a lluvias extraordinarias, que se pueden presentar sin que se haya producido el fenómeno El Niño.

En ese sentido, en cuanto a la precipitación pluvial acumulada en Arequipa para el periodo lluvioso normal (setiembre-mayo) en el sur menor a 200 mm en la provincia de Islay, en el centro y suroeste de la región (provincias de Arequipa, Camaná, Caravelí, una parte de Caylloma, Condesuyos y Castilla), fluctúa entre los 200 y 1000 mm; mientras que en el extremo norte (provincias de Caylloma, Castilla y La Unión) los valores de precipitación pluvial acumulada superan los 1000 mm, y pueden llegar incluso hasta los 2000 mm.

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. Así, por ejemplo, la precipitación acumulada (setiembre-mayo) con El Niño, en los extremos sur y noroeste (provincias de Islay, Arequipa Camaná, Caravelí), fue menor a 200 mm. En el centro este y norte (provincias de Caylloma, Castilla, Condesuyos y La Unión), la precipitación pluvial acumulada fue de 200 a 600 mm, con los valores más altos hacia la faja subandina; mientras que al extremo norte de la provincia Caylloma, los valores de lluvia acumulada alcanzan los 800 mm.

Algunos de los valles de la región que presentan alta susceptibilidad a las inundaciones son los siguientes:

- Río Tambo y sus tributarios de la quebrada del Inga y Huarindo: Inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial con precipitaciones estacionales que afectan terrazas indiferenciadas y llanura de inundación.
- Río Quilca-Vítor: Inundaciones fluviales sujetas a llanuras inundables que afectan valles y una parte de la playa Quilca.
- Río Majes-Camaná: Inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial, entre los sectores Hacienda Andamayo-Luchea, Ongoro-Pampa Blanca, José Olaya-Los Pacaycitos, Huancapuy, San José Maiscal Cáceres y el sector Pisques en donde se ha colocado muros de contención.
- Quebrada La Yesera: Inundación fluvial en ambos márgenes de la quebrada. Afecta vertientes torrenciales y terrazas indiferenciadas.
- Río Ocoña: Inundaciones fluviales se producen a lo largo del valle Ocoña y sus terrazas que son utilizadas por extensos terrenos de cultivo hasta la desembocadura del río (playa Pedregal). Afecta puente Ocoña y tramo de la carretera Panamericana sur.
- Quebrada de Pescadores: Inundaciones fluviales que se inundan de manera periódica. Afecta terrazas indiferenciadas, terrazas aluviales, tramo de la carretera Panamericana Sur.
- Quebrada Huanuhuanu: La inundación fluvial afecta terrazas indiferenciadas carretera Tocotsa-Huanuhuanu y abanicos aluviales de baja pendiente hasta la desembocadura de la quebrada de Chala.
- Quebrada de Chala: Afecta terrazas indiferenciadas, entre el sector Indio Muerto y Parara.
- Río Yauca: Inundaciones y erosión fluvial. Afecta terrazas, puente Yauca en la carretera Panamericana Sur (km 567-850), Jaqui-chicalli, Yauca-Laytaruma, Vista Alegre-Tani, Bellavista y terrenos de cultivo; como ocurre en las proximidades del poblado de Jaqui.
- Río Acarí: Inundación y erosión fluvial. Afecta terrazas usadas para cultivo y el puente Chaviña. En el poblado Acarí, se han realizado obras de defensa para proteger las viviendas que se encuentran muy cerca del cauce del río para controlar la erosión.
- Río Socabaya: Inundaciones que afectan terrazas, terrenos de cultivo, puente Tingo y viviendas de Socabaya y Sachaca.
- Río Chili: Inundaciones y procesos de erosión fluvial. Afecta terrazas, llanura inundable, terrenos de cultivo. Actualmente la UNI tiene instalado un sistema de alerta en caso de inundación mediante sonido de sirenas.
- Torrenteras de Arequipa: Inundaciones en la margen izquierda del río Chili. Estas torrenteras (Venezuela, San Lázaro, Los Incas) atraviesan la ciudad de Arequipa que se inundan de manera periódica a ocasional, y afectan viviendas y puentes hasta la desembocadura en el río Chili. Muchos de los cauces de estas torreneteras han sido modificados y reducidos para ganar terreno y construir más viviendas.
- Confluencia del río Colca y Llapa: Procesos de erosión fluvial. Principalmente afecta terrazas aluviales indiferenciadas, terrenos de cultivo y tramo de la carretera Maca-Chivay. Las viviendas del poblado Sibayo se encuentran muy cerca, tramos de la carretera Ccollpa-Ccaponeta y Callalli-Pampahuasi.

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. Ocurre a inmediaciones de las lagunas salinas, Arcata, Huanso, entre otras.

Se incluyen zonas urbanas 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 1.23 % 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 163 ocurrencias inventariadas representa el 13.49 % del total de peligros geológicos.

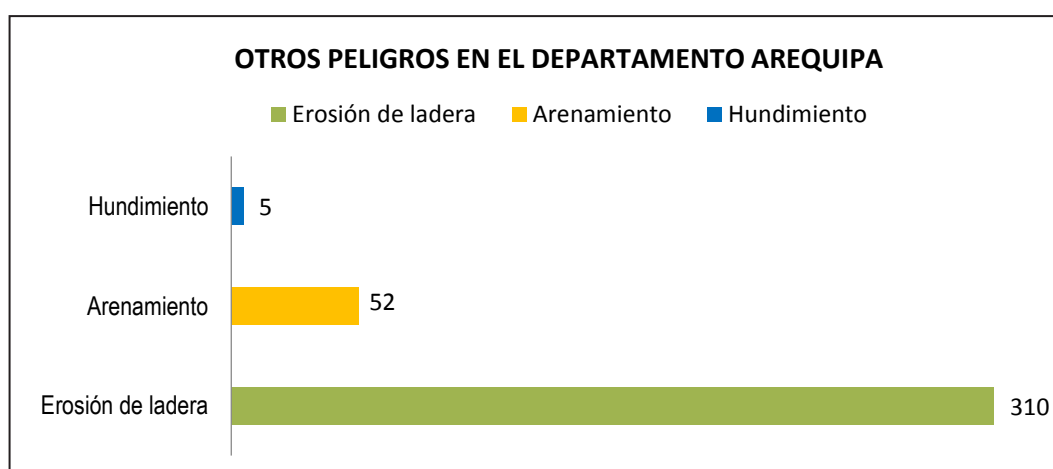


Gráfico 6.6 Ocurrencias de otros peligros en el departamento Arequipa. Elaboración propia.

#### Erosión de laderas

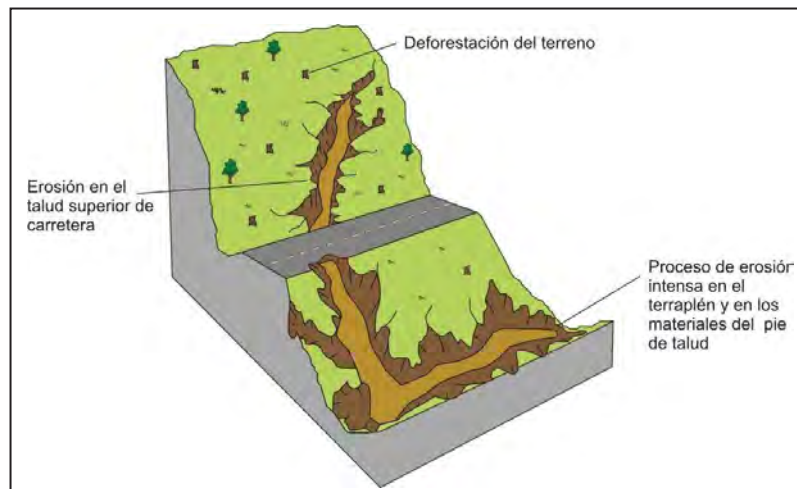
Estos eventos no son puntuales, sino que constituyen sectores que son afectados por estos procesos, como pueden ser laderas de montañas cortadas por láminas, surcos y cárcavas, o cabeceras de quebradas donde la incisión en el terreno es por medio de cárcavamientos con avances retrogresivos y laterales. 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 cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad. La intensidad y amplitud de la formación de cárcavas (figura 6.13) guardan una íntima relación con la cantidad de agua de escurrimiento (intensidad de precipitaciones) y la velocidad de esta. Estas están, además, reguladas por las características del suelo (permeabilidad, cohesión), el relieve y la cobertura vegetal.

En el departamento de Arequipa se inventariaron 310 ocurrencias. Este proceso es muy común en rocas intrusivas como granitos,

monzogranitos, dioritas y granodioritas de la Superunidad Incahuasi, Tiabaya y Linga; secuencias sedimentarias (areniscas, calizas, lutitas, limolitas y conglomerados) de las Formaciones Moquegua, Puente, Cachíos y Acurquina; rocas volcánicas (rocas piroclásticas y lavas, secuencias lávicas) de la Formación Huaylillas, y rocas volcánicas-sedimentarias (rocas piroclásticas y lahares, intercalaciones de lavas, tobas andesíticas y lahares) de la Formación Orcopampa. También es común 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 retrogresivos y laterales. En su desarrollo en la mayoría de los casos, se desencadenan procesos de derrumbes, flujos, reptación y deslizamientos como en el caso de los sectores y laderas de los cerros Ccotacogoana, Mayan, Torcraimarca, Uchurca, Buenavista, Anchachani, India Vieja, Querquena, Churcana, Loccocoy, Gordos, Campana, Huanarpo, Huasa Chico, Huambo, Tarrillo, entre otros (fotografías 6.14 y 6.15).



**Figura 6.13** Erosión en cárcavas que afectan al talud superior e inferior de carretera. Elaboración propia.



**Fotografía 6.14** Erosión de laderas en surcos en las Lomas de Guzmán, provincia de Caravelí.



**Fotografía 6.15** Erosión de laderas (cárcavas) en el cerro India Vieja, cabecera de la quebrada Pedregal Llocllasco, provincia de Caravelí.

### **Arenamiento**

Fenómeno que se produce en zonas que presentan morfología plana ondulada de pampas, colinas bajas y planicies costaneras aledañas al litoral, con una dinámica eólica importante, donde 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 52 ocurrencias. Como ejemplo típico, se dan en algunos tramos de las carreteras Panamericana Sur, Costanera (foto 6.29), sectores Chaviña, Puente Yauca, molle Chico, Tanaca, Pampa de Sihuas, Pedregal, Alto Panamericana, Santa Rita Ceniceros, Playa Pescadores, Cerro El Alto, Cerro Arena, pampa Mactacoclo, Lomas de Rodadero, Cerro de Arena, cerro Los Medanos, Cano, cerro Azul, pampas San José, El Arenal, pampa Azucar, pampa La Joya, Aguada Taccra, entre otros (fotografías 6.16 y 6.17).



**Fotografía 6.16** Mantos de arena y dunas trepadoras en laderas del cerro Azul.



**Fotografía 6.17** Mantos de arena y dunas invaden carretera Panamericana, km 578+000, en Lomas El Rodadero.

### Hundimiento

Los hundimientos tienen escasa presencia en la región. Solo se identificaron cinco ocurrencias (1.36 %), relacionadas principalmente a rocas sedimentarias como secuencia de conglomerados, areniscas y lutitas de la Formación Huanca y rocas carbonatadas (depósitos de travertinos) en el distrito de Huambo, provincia de Caylloma. También ocurren en niveles de calizas de la Formación Acurquina y rocas volcano-sedimentarias (Grupo Tacaza), en el distrito de Cotahuasi, provincia de La Unión.

#### 6.4.4 Grado de correlación entre de peligro – vulnerabilidad y tipología de peligros geológicos

**Peligro:** O también denominado “amenaza”, se entiende como “un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa 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). 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 período 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 peligros que se inventariaron en el departamento de Arequipa (2721 ocurrencias). Podemos ver que el 19.3 % de las ocurrencias (524) se califican como peligro “bajo”, el 44.3 % de las ocurrencias (1205) han sido calificadas como “peligro medio”, el 34 % equivalente a 924 ocurrencias como eventos con “peligro alto” y el 2.5 % como peligro “muy alto”, equivalente a 68 ocurrencias. Esto se puede interpretar como 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 puede generar grandes daños y así como la recurrencia de estos eventos, muchos de los cuales se producen de forma periódica y estacional, como es el caso de los flujos de detritos.

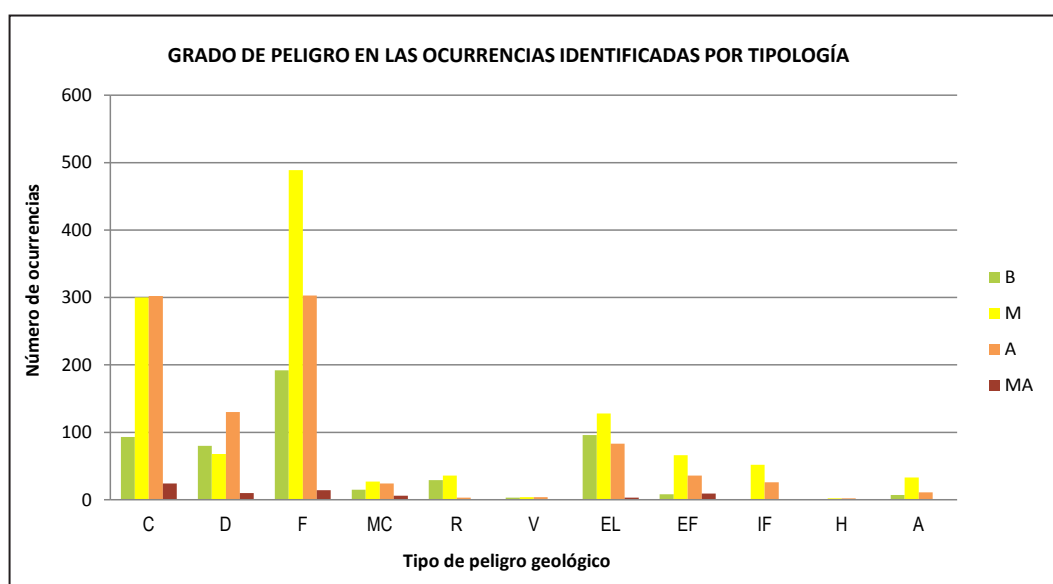
**Cuadro 6.6**

**Peligro asignado a los peligros geológicos en el departamento Arequipa**

Tipo de peligro	Peligro (P)			
	B	M	A	MA
Caídas (derrumbe y caída de rocas)	93	300	302	24
Deslizamiento	80	68	130	10
Flujos	192	489	303	14
Movimiento complejo	15	27	24	6
Reptación	29	36	3	NR
Vuelco	3	4	4	NR
Erosión de ladera	96	128	83	3
Erosión fluvial	8	66	36	9
Inundación fluvial	1	52	26	NR
Hundimiento	NR	2	2	1
Arenamiento	7	33	11	1
Total de ocurrencias	524	1205	924	68
Porcentaje (%)	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia. B: Bajo, M: Medio, A: Alto, MA: Muy alto, NR: no registra.





**Gráfico 6.7** Grado de peligro asignado a las ocurrencias de peligros geológicos inventariados en el departamento de Arequipa. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, R: reptación, V: vuelco, EL: erosión de laderas, EF: erosión fluvial, IF: inundación fluvial y A: arenamiento. Elaboración propia.

**Vulnerabilidad:** Se considera a 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, 2004). 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 todo 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, etc.; pérdidas de vidas humanas, damnificados, pérdidas de áreas agrícolas, pastizales, etc.

El análisis de la vulnerabilidad cualitativa asignada a cada una de las ocurrencias de peligros naturales inventariadas en la región Arequipa (cuadro 6.7 y gráfico 6.8) nos muestra que el 38.5 % del total de 1047 ocurrencias fue calificada con una "vulnerabilidad baja", el 36.2 % con "vulnerabilidad media", el 23 % con "vulnerabilidad alta" y el 2.3 % con "muy

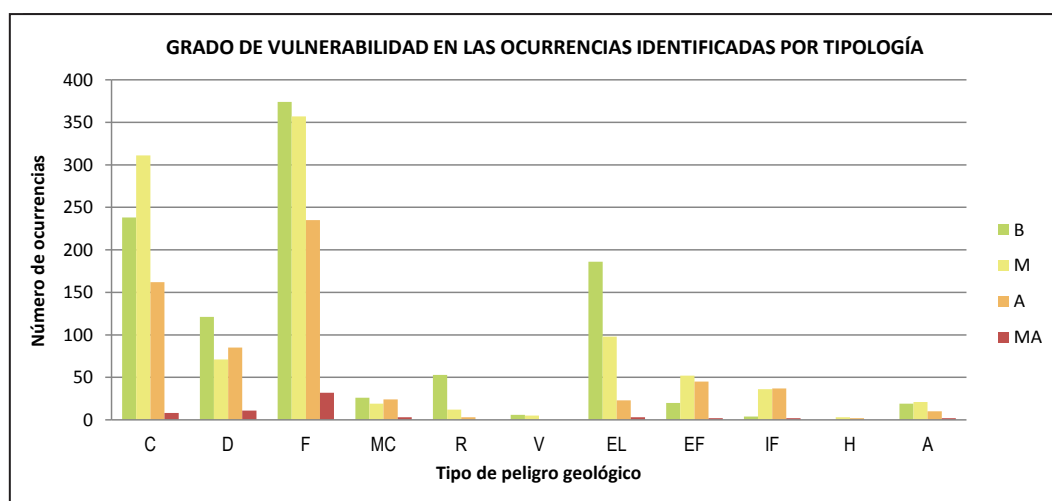
alta vulnerabilidad". Esto nos permite interpretar que dentro del área de influencia de cada uno de estos eventos inventariados casi siempre se encuentran elementos expuestos que pueden resultar afectados con las reactivaciones de estos eventos o su ocurrencia periódica, como es el caso de los deslizamientos. De producirse el desplazamiento del material comprometido por el evento, este puede afectar viviendas, carreteras, terrenos de cultivo, etc., que se encuentran asentados o trazados dentro del deslizamiento. Además, si este 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 que se ubican principalmente en taludes de corte de carretera, los elementos expuestos son los vehículos y personas que transitan por ellas. Estos pueden cortar el tránsito por horas, inclusive días, con lo que se afecta la actividades económicas. 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) infraestructura desarrollada, como es la construcción de viviendas, carreteras o áreas donde se realizan labores agrícolas, todos estos altamente vulnerables a la ocurrencia de nuevos flujos.

Cuadro 6.7

Vulnerabilidad asignada a los peligros geológicos en el departamento Arequipa

Tipo de peligro	Peligro (P)			
	B	M	A	MA
Caídas (derrumbe y caída de rocas)	93	300	302	24
Deslizamiento	80	68	130	10
Flujos	192	489	303	14
Movimiento complejo	15	27	24	6
Reptación	29	36	3	NR
Vuelco	3	4	4	NR
Erosión de ladera	96	128	83	3
Erosión fluvial	8	66	36	9
Inundación fluvial	1	52	26	NR
Hundimiento	NR	2	2	1
Arenamiento	7	33	11	1
Total de ocurrencias	524	1205	924	68
Porcentaje (%)	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia. B: Bajo, M: Medio, A: Alto, MA: Muy alto, NR: no registra.



**Gráfico 6.8** Grado de vulnerabilidad asignado a las ocurrencias de peligros geológicos inventariados en el departamento de Arequipa. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, R: reptación, V: vuelco, EL: erosión de laderas, EF: erosión fluvial, IF: inundación fluvial, H: hundimiento y A: arenamiento. Elaboración propia.

## 6.5 PELIGRO SÍSMICO

El Perú se encuentra ubicado en una zona de subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana, que es su principal fuente sismogénica, y está propenso a la ocurrencia de un gran número de sismos de diferente magnitud, con 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 Buforn, 2001). Por estos motivos, en Perú, los sismos constituyen el mayor peligro al cual se encuentra sometido nuestro territorio, de ahí que los daños que ellos provocan en las 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. En el caso del monitoreo de la actividad sísmica en el territorio, es realizada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el cual posee una red sísmica nacional con 31 estaciones (20 de periodo corto y 11 de banda ancha).

Fuentes históricas demuestran que la región Arequipa fue altamente afectada por sismos de magnitudes elevadas, generados tanto en la zona de subducción como en fallas geológicas (cuadro 6.10), que llevaron en muchos casos a la pérdida de vidas humanas y dañaron una parte o la totalidad de las viviendas.

En este acápite, se presentan los resultados de la revisión y análisis de la sismicidad histórica e instrumental presente en la región Arequipa. El número de sismos presentes en esta región nos ha permitido poder realizar estimaciones de las aceleraciones máximas esperadas para un periodo de 20, 50 y 100 años, así como conocer las posibles intensidades que podrían afectar a las distintas provincias existentes en la

región. De esta manera, se espera contribuir a la zonificación del peligro sísmico.

### 6.5.1 Sismicidad histórica

La historia que se conoce en relación con los acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, según datos históricos disponibles, indica una intensa actividad sísmica en la región Arequipa, 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 Arequipa en los últimos 55 años ha soportado la violencia de terremotos en 1958, 1960, 1979, 1999 y 2001.

En la mayoría de los sismos descritos en el cuadro 6.8, Silgado (1978) elaboró sus respectivos mapas de intensidades (isosistas), de los cuales tres de ellos fueron los que más afectaron a la región Arequipa y corresponden a los sismos del 24 de noviembre de 1604, 13 de mayo de 1784, 13 de agosto de 1868 y del 23 de junio del 2001 (figuras 6.14 y 6.15).

**Cuadro 6.8**

**Descripción de los datos macro sísmicos ocurridos en la región y alrededores**

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
1555		Arequipa	VIII	Quedan casas dañadas y se provoca la muerte de varias personas, de acuerdo con el libro de Cabildos de dicha ciudad.
22/01/1582	11:30:00	Socabaya	X	Dejó en ruinas la ciudad, causó el derrumbe de 300 casas, y perecieron más de 35 personas. Los Templos de San Francisco y La Merced sufrieron severos daños.
19/02/1600	16:00:00	Omate, Arequipa	IX	Su epicentro fue en Moquegua por la explosión fuerte del Volcán Huaynaputina (Omate), en cuyas inmediaciones quedaron sepultados seis o siete pueblos. El Río Tambo quedó represado.
24/11/1604	13:30:00	Moquegua, Tacna y Arequipa	IX	Con epicentro en Tacna, arruinó las ciudades de Tacna, Arequipa, Moquegua y Arica. El mar se salió en el Puerto de Arica, y causó la muerte de 23 personas.
21/10/1687	6:00:00	Arequipa	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. El sismo fue llamado "de Santa Úrsula" por celebrarse ese día su festividad.
22/08/1715	19:00:00	Arequipa	XII	Averió casas en Arequipa, y quedaron algunas inhabitables. Derrumbes en partes altas de los cerros, que sepultaron a los pequeños pueblos situados en las colinas y valles. Las réplicas se siguieron sintiendo en forma continua durante 2 meses.
06/02/1716	0:00:00	Moquegua y Arequipa	IX	Causó gran mortandad, y se salvó únicamente una persona. Destruyó totalmente el pueblo de Torata.
08/01/1725	8:00:00	Arequipa	VII	Se estremeció la tierra, con tal estruendo y violencia, que las personas apenas se podían sostener de pie. Destruyó varios templos y la mayor parte de las casas. Hubo una gran polvareda que cubrió toda la ciudad.

Continuación...

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
27/03/1725	13:00:00	Moquegua	VII	Conmoción en toda la costa sur del Perú. Sufrió daños el pueblo de Camaná, y se salió el mar.
13/05/1784	7:36:00	Arequipa	IX	Percieron 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.
10/07/1821	8:00:00	Camaná-Ocoña	VII	Gran movimiento de tierra que causó grandes daños en los pueblos de Camaná, Ocoña, Caraveli, Chuquibamba y valle de Majes. Se contaron 70 muertos en Camaná y Ocoña, 60 en Chuquibamba y 32 en Caraveli.
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	Tarata y Moquegua	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	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. Polvo que duró como minuto y medio. A las 14:15 horas, se retiró el mar, lo que causó gran alarma, y volvió 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 a pesar de estar a tres millas de tierra firme con 75 brazas de agua y casi frente al actual límite con Chile.
03/11/1869	19:30:00	Arequipa	VI	Temblor local en Arequipa que causó deterioros en sus edificios.
09/05/1877	20:28:00	Arequipa	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, y dejó un saldo de 33 muertos.
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.
16/05/1908	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.
28/07/1913	1:40:00	Chala y Mollendo	VIII	Violento sismo en la Costa Sur del Perú, entre los Puertos de Chala y Mollendo. Ocasiónó la rotura de tres cables submarinos, debido a deslizamiento del talud submarino, según la Cía. Americana de Telégrafos.
06/08/1913	17:13:00	Caravelí	VIII	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, y ocasionó 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.). 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.



Continuación...

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
11/09/1914	6:48:00	Caravelí	VII	Se repitió en Caravelí, reedificada después de la catástrofe de 1913, otro violento terremoto que la volvió a dejar en escombros y ocasionó derrumbes en los cerros que la rodeaban. En Nazca, hubo víctimas y el desplome de la nueva iglesia. También se sintió en Atico.
28/12/1915	18:40:00	Caravelí	VI	Sismo de foco cordillerano, localizado por el Observatorio sismológico a unos 300 km, al SE de Lima. Fue sentido en un área de unos 120 000 km <sup>2</sup> y afectó varios pueblos de las provincias Fajardo, Huamanga, Huanta del departamento de Ayacucho y Angaraes en Huancavelica. El pueblo de Julcamarca, situado sobre una loma alta del río del mismo nombre, sufrió averías en sus construcciones y quedó su iglesia destruida. En Ocros, cayeron viviendas y hubo deslizamientos en la parte alta de los cerros.
21/03/1917	3:56:00	Caylloma	VII	Caylloma quedó en ruinas por un violento movimiento. Hubo 22 muertos y muchos heridos.
07/10/1920	15:54:00	Limítrofe entre Arequipa-Ayacucho	VII	Terremoto en las zonas limítrofes de los departamentos de Ayacucho y Arequipa. Santa Lucía, capital del distrito de Lucanas, quedó tan destruida que sus pobladores tuvieron que refugiarse en carpas hechas en su plaza mayor. En los distritos de Acarí y Jaqui (Arequipa), hubo numerosos daños materiales y algunas pérdidas de vida. En Chala, cayeron paredes y columnas de la iglesia como cercos de las haciendas. Otros daños se produjeron en Cachendo, en la estación del ferrocarril a Puno. Gran alarma causó en Caravelí y Huanta. Fue sentido intensamente en la ciudad de Arequipa, Mollendo, Ica y Chincha.
11/10/1922	9:50:00	Caravelí	VII	Sismo destructor del pueblo de Caravelí donde cayeron muchas casas. En Arequipa y en el puerto de Mollendo, causó daños de consideración. Otros efectos se notaron en Acarí y Quicacha. Fuerte en Nazca, Puquio, Palpa, Chala y Cañete.
05/06/1932	22:57:00	Arequipa	VI	Violento temblor en la ciudad de Arequipa que causó cuatro heridos. El ruido que lo acompañó aterrizó a los pobladores que se lanzaron a las calles. Ligeros daños en algunas casas, caída de cornisas y rotura de vidrios. Intensidad V-VI. Escala MM. Densas nubes de polvo cubrieron luego la ciudad. Réplicas durante las 24 horas posteriores. Alarma en el puerto de Mollendo.
04/12/1934	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.
11/10/1939	9:51:00	Valle de Majes	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
24/08/1942	17:51:00	Región limítrofe entre Ica y Arequipa	IX	Terremoto en el sector limítrofe entre los departamentos de Ica y Arequipa en un área de 18,000 km <sup>2</sup> , donde ocurrió gran destrucción. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas y dejó 25 heridos. Quedaron en escombros las poblaciones vecinas de Acari y Jaqui, y se extendieron 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 al de un barco azotado por una tempestad". Sufrió el nuevo hotel de turistas, con el cuarteamiento de sus paredes.
11/05/1948	3:56:00	Arequipa, Moquegua y Tacna	VII	Dejó 1 muerto y 66 heridos. Los efectos destructores fueron dentro de un área aproximada de 3500 Km <sup>2</sup> .
04/03/1951	6:18:00	Chala-Caravelí	VI	Sismo originado en las cercanías de Chala y ligeramente destructor en Caravelí, donde alcanzó el grado VI MM. Se sintió en una extensión de 135000 km <sup>2</sup> .
21/07/1955	11:45:49	Caravelí	VII	Movimiento sísmico a lo largo de la Costa entre los paralelos 11° a 18° Lat. Sur. En la ciudad de Caravelí (Arequipa), ocasionó algunos agrietamientos de paredes y el derrumbe de los Iglesia del Beaterio (Grado VI-MM). Alarma en las ciudades de Ica y Arequipa. Distancias de los Observatorios de Lima y La Paz 580 y 560 km., respectivamente (para un foco de 60 km de profundidad).
15/01/1958	14:14:00	Arequipa	VIII	Causó 28 muertos y 133 heridos. Todas las casas construidas a base de sillar sufrieron averías, y solo resistieron 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. Causó agrietamientos con eyección de aguas negras en Camaná.
26/07/1958	12:38:00	Arequipa	VI	Fuerte sismo en la ciudad de Arequipa que causó alarma y roturas de la tubería matriz que conduce el agua potable del manantial de la Bedoya, distrito de Chihuata
13/01/1960	15:40:00	Arequipa	IX	Perecieron 63 personas y quedaron centenares de heridos. La población de Chuquibamba quedó en escombros. Sufrieron destrucción las viviendas construidas a base de sillar. En Mollendo, hubo caídas de cornisas. La Carretera a Puno y a las diversas localidades del departamento Arequipa quedaron inutilizadas. Hubo polvareda oscura y densa en la ciudad.
09/03/1960	18:54:00	Arequipa y áreas vecinas	VI	Violenta réplica del terremoto del 13 de enero. Sacudió la ciudad de Arequipa y otras poblaciones vecinas. En la ciudad, cayeron cornisas ya removidas. Sufrieron daños algunos interiores de viviendas.
26/01/1964	4:09:00	Arequipa	V – VI	En la ciudad de Arequipa, hubo 4 heridos y deterioro de varias casas ya resentidas por sismos anteriores. Derrumbes en la carretera Arequipa – Juliaca y en el km 20000 de la carretera Vitor–Sihuas. Se sintió en Mollendo, Ubinas, Aplao y otros.
30/07/1965	0:45:00	Arequipa	IV-V	La población de la ciudad de Arequipa fue despertada por un fuerte sismo de larga duración que causó pánico.
16/02/1979	8:54	Camaná y Corire	VII	Se sintió con mayor intensidad (VI) en Mollendo, La Planchada, La Joya, Punta de Bombón, Sihuas, Uchumayo y Camaná, y sufrieron daños sus viviendas.

Continuación...

Fecha	Hora	Localidades	Intensidad	Observaciones
01/02/1992	12:22:00	Sahuana-Sepina-Achoma	VII	El sismo fue sentido en un área aproximadamente 144 km <sup>2</sup> . Produjo deslizamientos de tierra y caída de rocas sobre las carreteras y canales de regadío. La mayor intensidad con VII MM se localizó en las localidades de Visconoja, Huitohuasi y Layuni, todas ubicadas al sur de la Pampa Sepina.
03/04/1999	6:17:00	Arequipa	VII	Conocido como el "terremoto de Arequipa", llegó a los 6 grados en la escala de Richter.
23/06/2001	20:33:13	Arequipa	VII	Terremoto de 7 grados en la escala de Richter; afectó al 80% de la población, y ocasionó el derrumbe de algunos poblados y daños en el 90% de las viviendas. 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.
01/10/2005	12:19:00	Moquegua	VII	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. Se registraron daños personales en los distritos San Cristóbal: Dejó 469 familias damnificadas y 311 afectadas; y en Cuchumbaya, 02 familias damnificadas y 68 afectadas. También se registraron 471 viviendas destruidas y 379 afectadas.
15/08/2007	18:40:58	Ica, Lima, Arequipa, Ancash	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.
07/06/2012	11:03:00	Arequipa, Moquegua y Tacna	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 ( $I_{max}=II$ ), y fue mayor su intensidad en torno a las localidades de Chuquibamba, Pampacolca y Aplao (Arequipa).
17/07/2013	21:37:00	Arequipa	VI	Sismo con epicentro ubicado a 9 km al NE de la localidad de Huambo, a una profundidad de 7 km. En la misma zona de estudio, el 12 de abril de 1998 ocurrió un sismo de magnitud 5.2ML que produjo, en superficie, los mismos efectos de daños en viviendas antiguas y precarias que el sismo del 17 de julio de 2013, así como importantes deslizamientos a lo largo de las principales carreteras que unen las diversas localidades presentes en la región del Cañón del Colca. Según Antayhua y Tavera (2002).

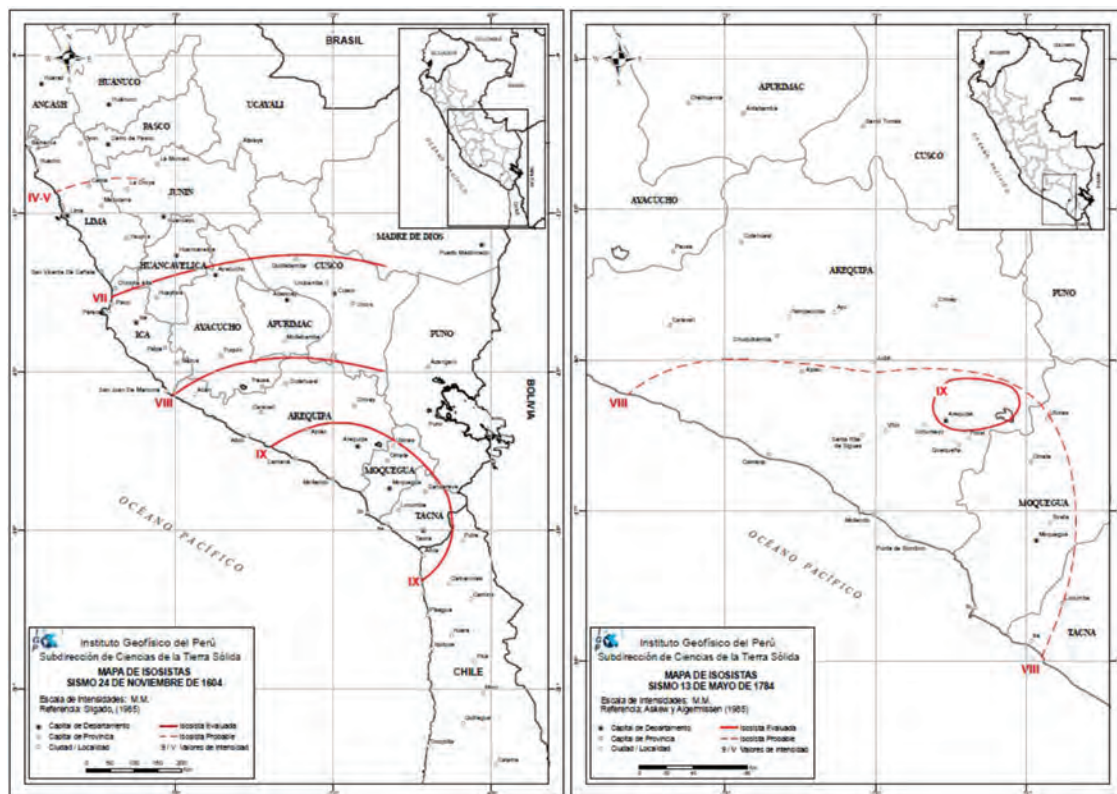


Figura 6.14 Mapa de isosistas del sismo del 24 de noviembre de 1604, Arequipa (Silgado, 1985) y del sismo del 13 de agosto de 1868, Arica-Arequipa (Askew y Algermissen, 1985).

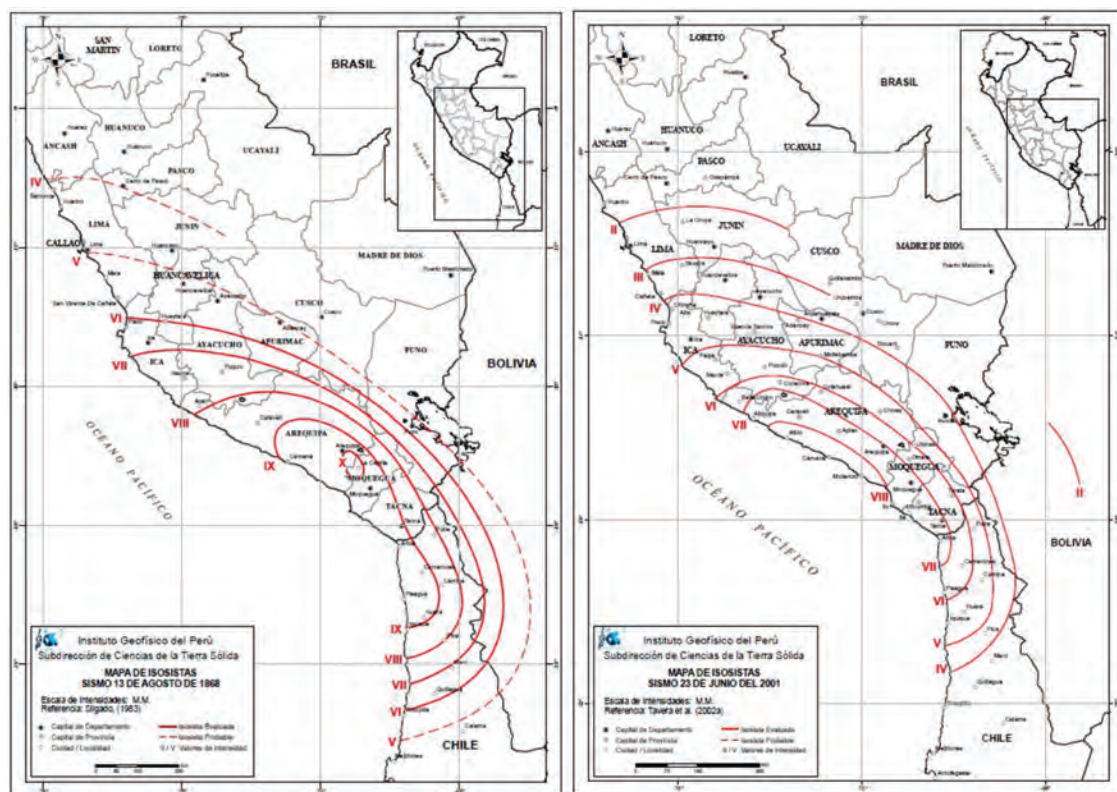


Figura 6.15 Mapa de isosistas del sismo del 13 de agosto de 1868, Arica-Arequipa (Silgado, 1983) y del sismo del 23 de junio del 2001, Arequipa (Tavera *et al.*, 2002).



### 6.5.2 Distribución de máximas intensidades sísmicas

En la figura 6.16, se presenta el mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas para Perú (Alva *et al.*, 1984), que se basó 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 nos indica para la región Arequipa

una alta actividad sísmica en las zonas de Bella Unión, Lomas, Acari, Yauca, Jaqui, Chala, Chaparra y Cahuacho hacia el noroeste de la región, así como también en las provincias de Arequipa, Islay y parte de Camaná, Castilla y Caylloma (Huambo, Lluta, Cabanaconde, Maca, Lari, Madrigal, Chivay), zonas donde prevalecen intensidades máximas de IX MM. Las zonas donde prevalecen con Intensidades de VIII MM son la provincia de La Unión (Yelinga, Cotahuasi, Puyca, Taurisma) Caraveli, Atico, Condesuyoas en Yanaquihua, Andaray y Chuquibamba, Ocoña, Orcopampa, Machaguay, Pampacolca, Unión, Caylloma, Tisco y Sibayo.

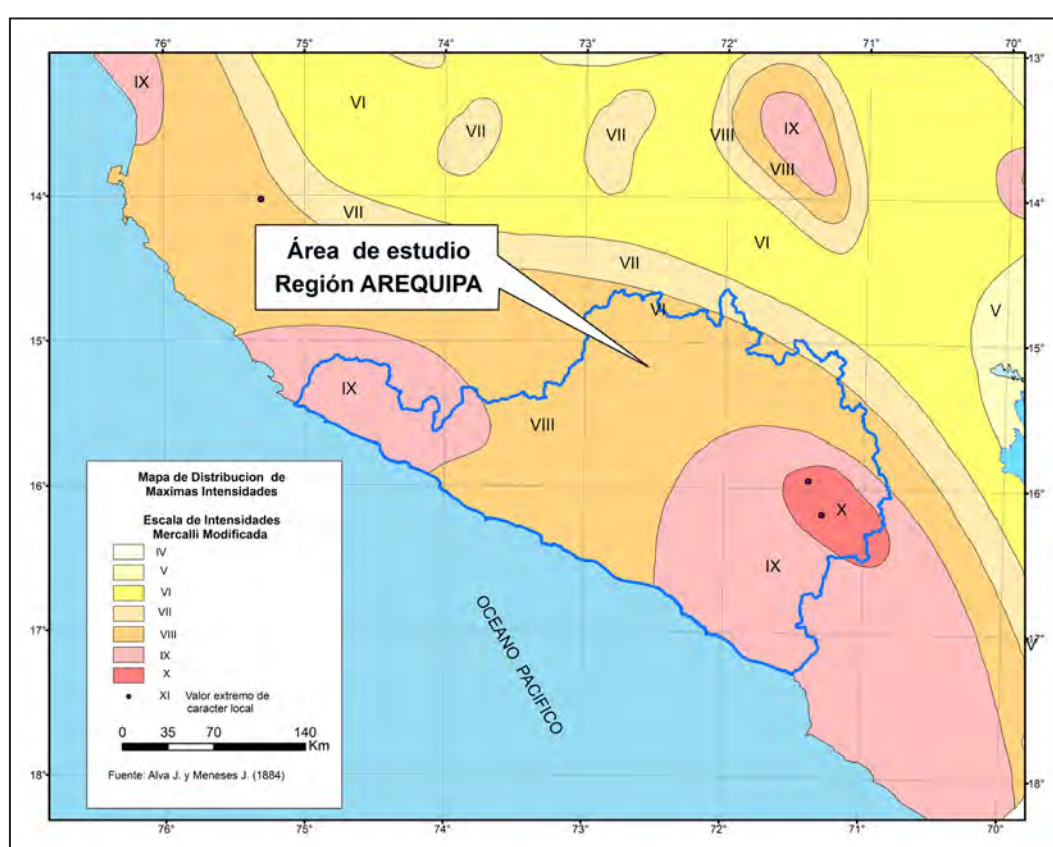


Figura 6.16 Distribución de máximas intensidades sísmicas en la región Arequipa (Alva *et al.*, 1984).

### 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 IGP, que considera los sismos ocurridos entre los años 1500 a 2015.

En la figura 6.17, 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 a 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. En cuanto a los sismos que ocurren en el interior del continente y que se distribuyen de Norte a Sur, paralelos a la Cordillera de los Andes, podrían tener su origen

en las importantes deformaciones superficiales puestas en evidencias con la presencia de importantes fallas neotectónicas como El Trigal, Solarpampa, Lluclla en Cabanaconde-Caylloma, Chala Viejo en Caravelí, Falla Pampacolca en Castilla.

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  $30^\circ$  hasta los 190 km de profundidad aproximadamente. Esta sismicidad alcanza una distancia en superficie de 415 km desde el punto A; mientras que a distancias mayores solo se observa la presencia de sismos con foco superficial ( $h \leq 60$  km).

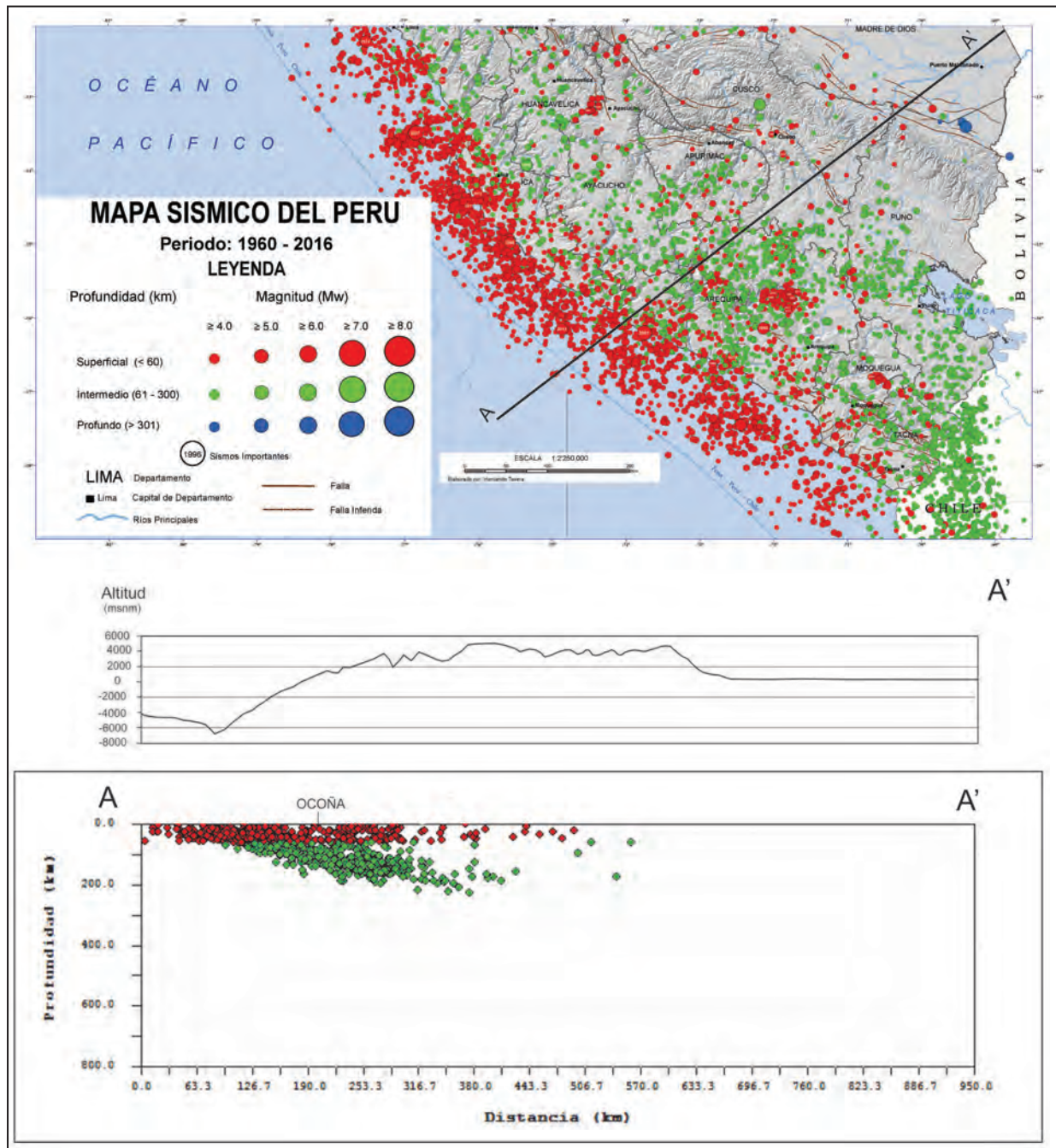


Figura 6.17 Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la región Arequipa con una sección sísmica transversal A-A' (SO-NE).

Fuente: Tavera, 2017.



#### 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 Arequipa, 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 del 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 212 a 340 gals (figura 6.18). Para 50 años de vida útil, varían de 270 a 405 gals (figura 6.19); y para 100, años varían de 320 a 458 gals (figura 6.20). Estos resultados muestran que las áreas más propensas a soportar aceleraciones importantes se encuentran en el sector suroeste de la región Arequipa, siendo coherente con el importante número de sismos que en dicha área ocurren.

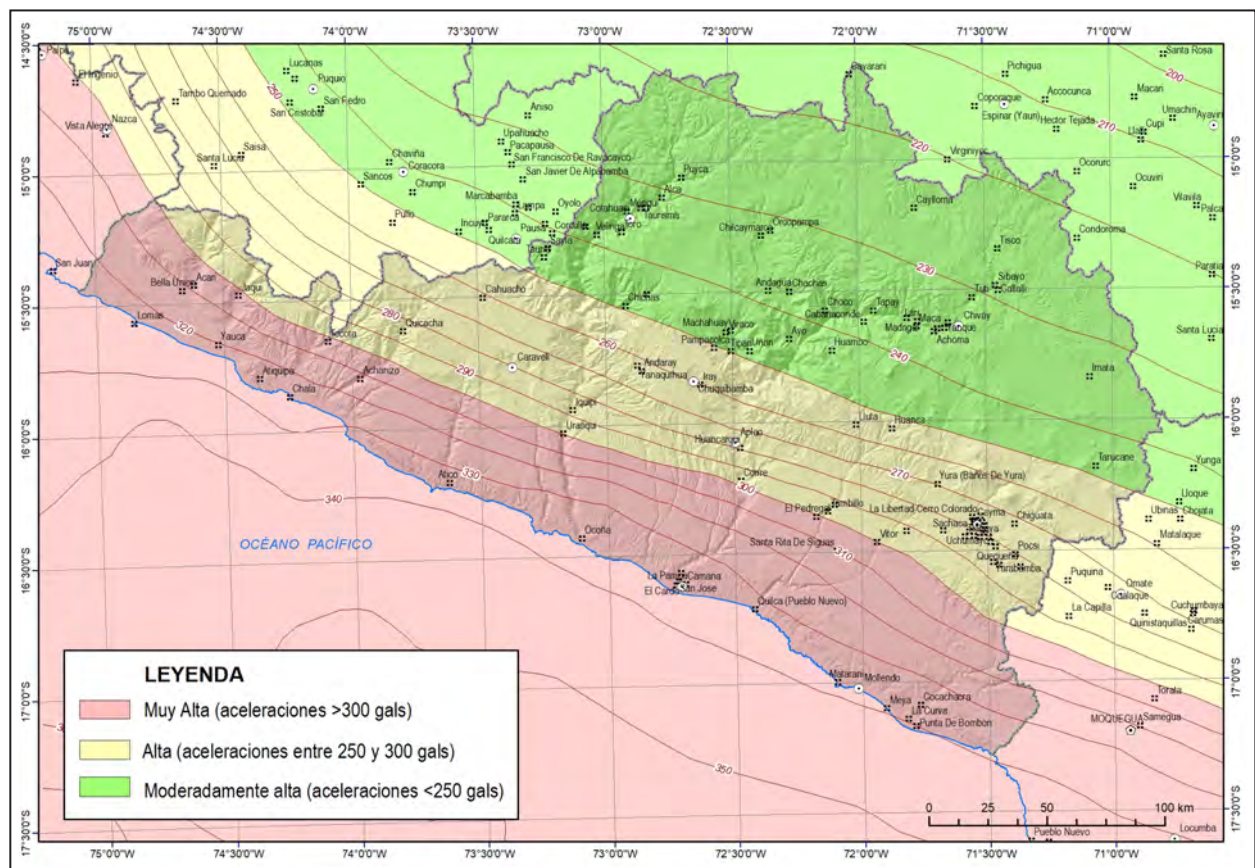


Figura 6.18 Aceleraciones sísmicas máximas para 20 años de la región Arequipa (para un 10 % de excedencia).

Fuente: Elaboración propia.

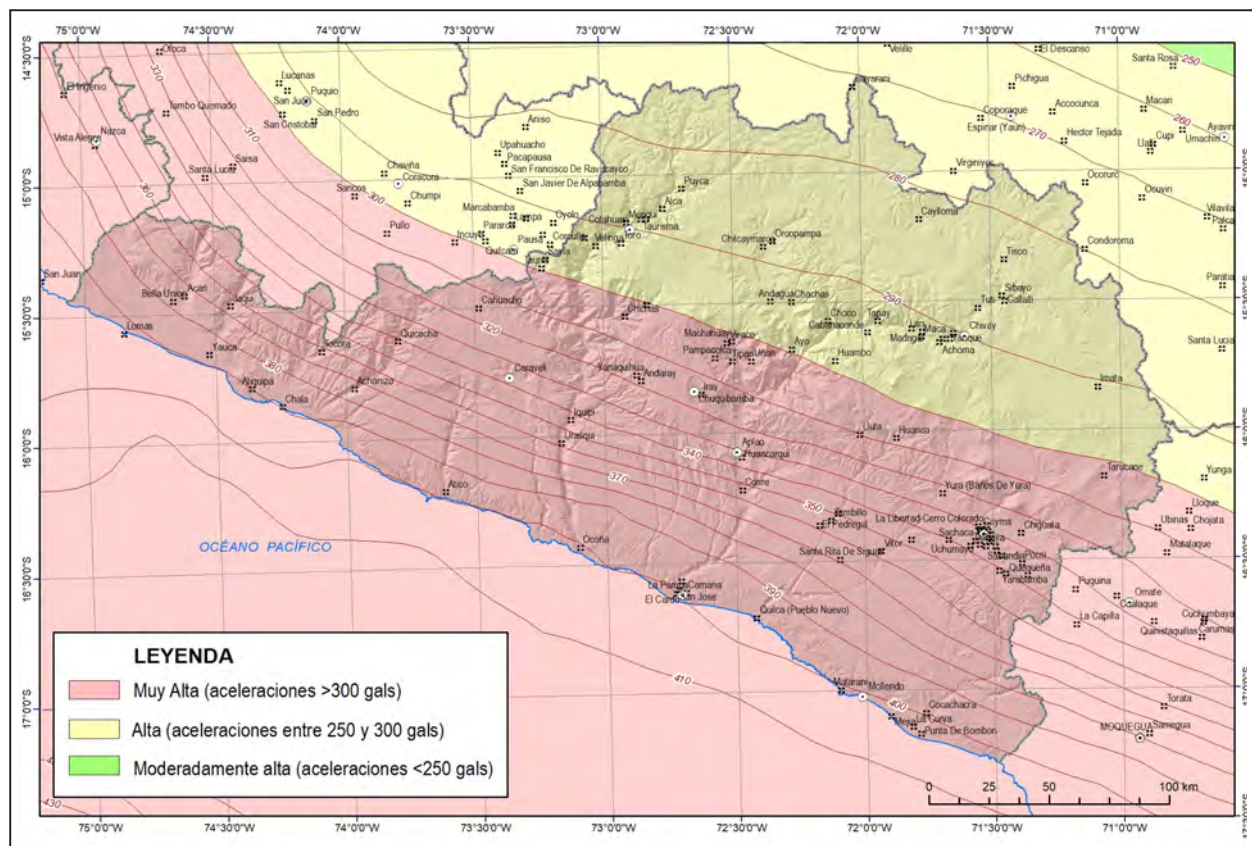


Figura 6.19 Aceleraciones sísmicas máximas para 50 años de la región Arequipa (para un 10 % de excedencia).  
Fuente: Elaboración propia.

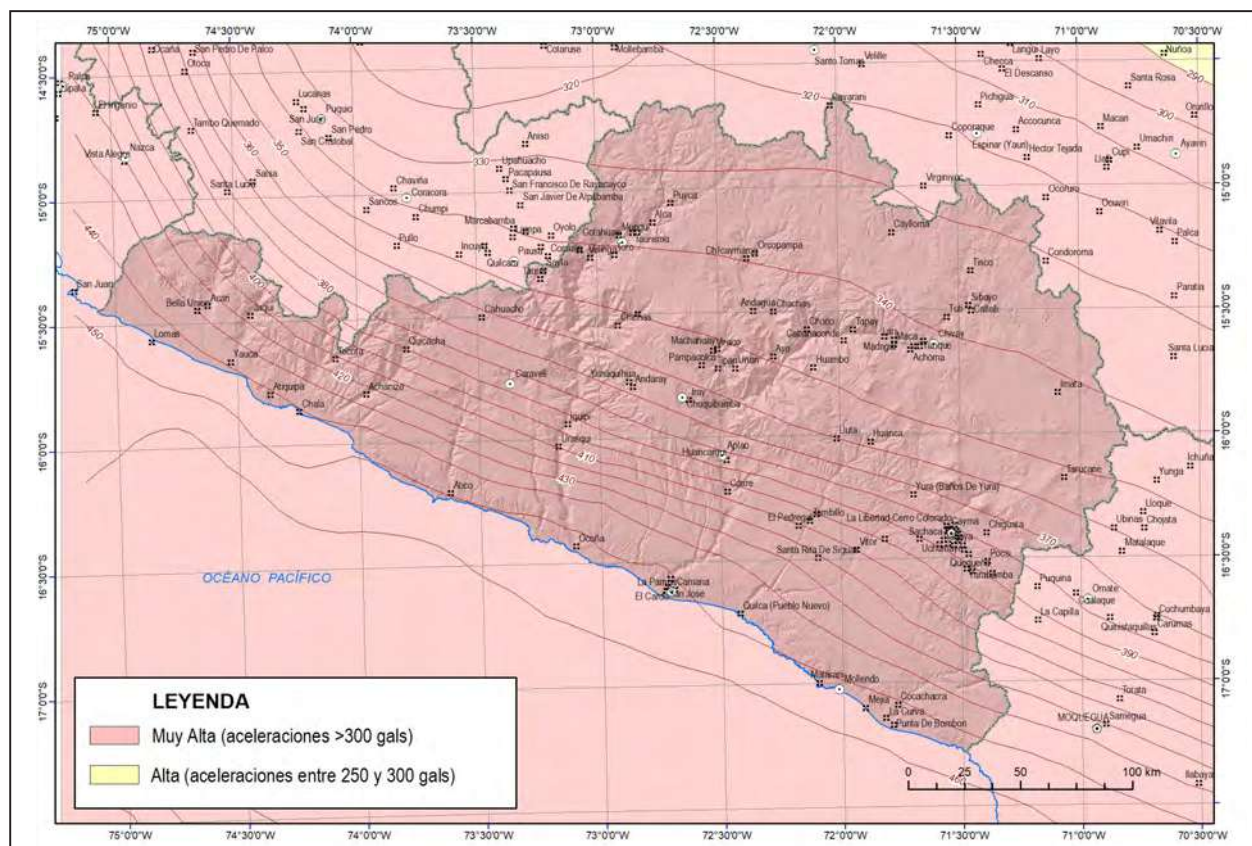


Figura 6.20 Aceleraciones sísmicas máximas para 100 años de la región Arequipa (para un 10 % de excedencia).  
Fuente: Elaboración propia.



### 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 6.21. 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 (DS N° 003-2016-VIVIENDA).

De acuerdo con este mapa, la región Arequipa 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", se 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

1	0.1
2	0.25
3	0.35
4	0.45

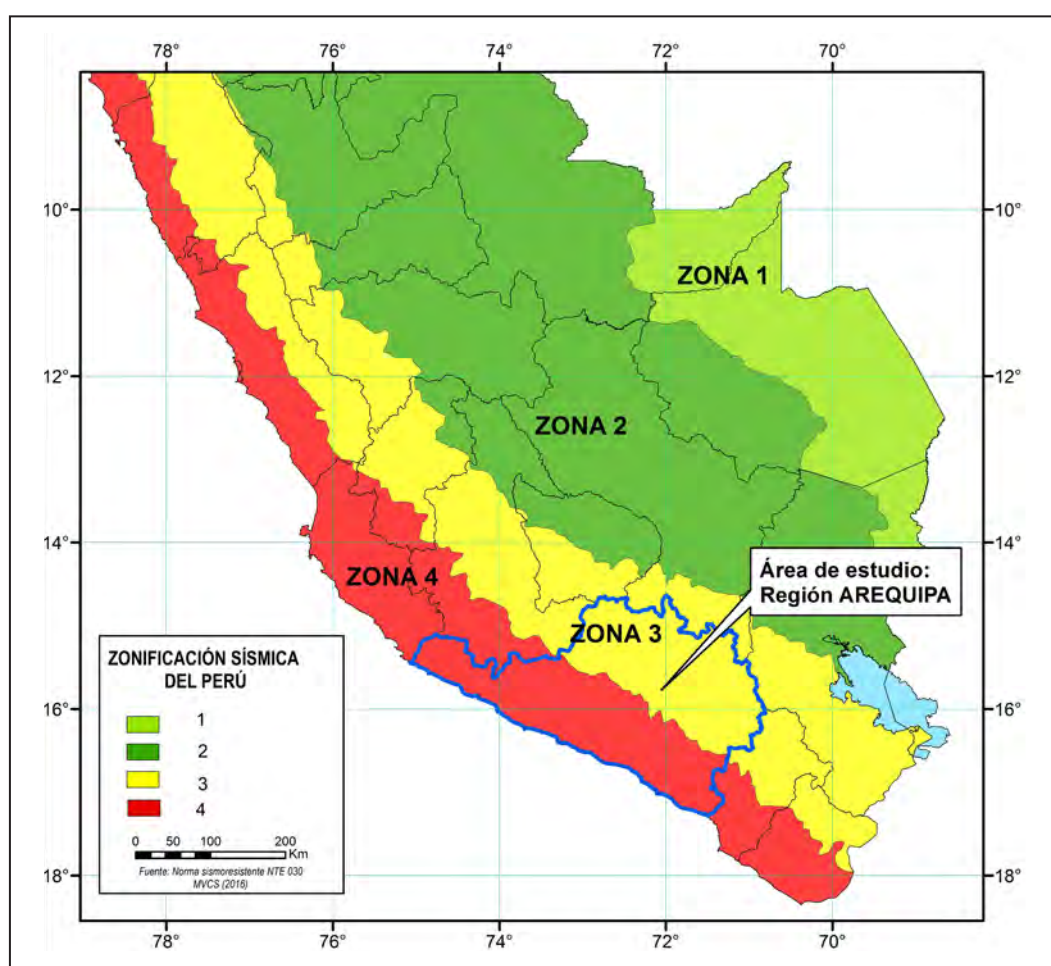


Figura 6.21 Zonificación Sísmica del Perú.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016.

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, principalmente para la región de Arequipa, área de interés en el presente estudio.

En la figura 6.22, se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la ciudad de Arequipa, 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 506 gals con una probabilidad del 0.002 %, y el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración es de 900 años.

Aceleraciones del orden de los 266 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Asimismo, en la figura 6.23, se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la localidad de Cotahuasi, 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 477 gals con una probabilidad del 0.002 %, y el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración es de 900 años. Aceleraciones del orden de los 235 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

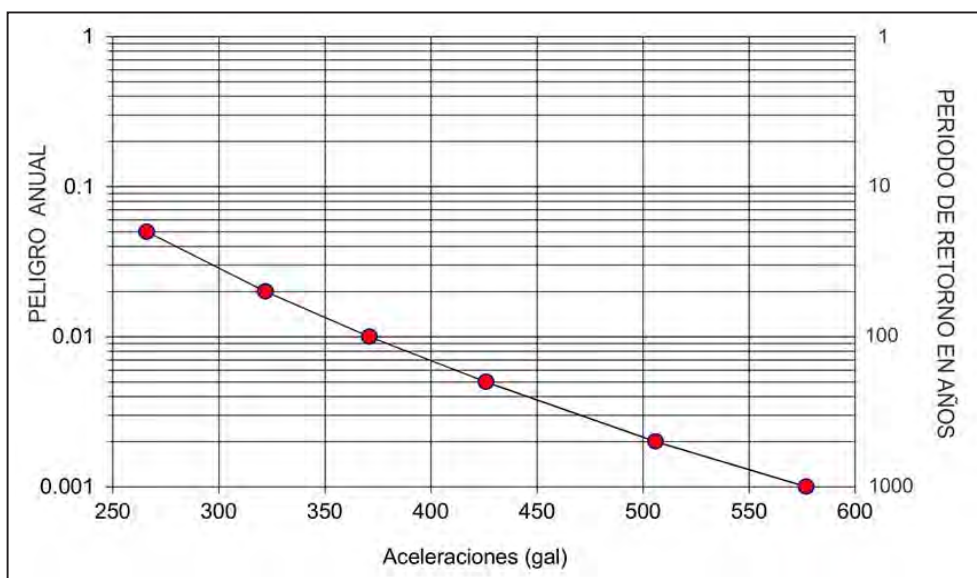


Figura 6.22 Curva de peligro anual para la ciudad de Arequipa (-16.39 S – 71,53 W).

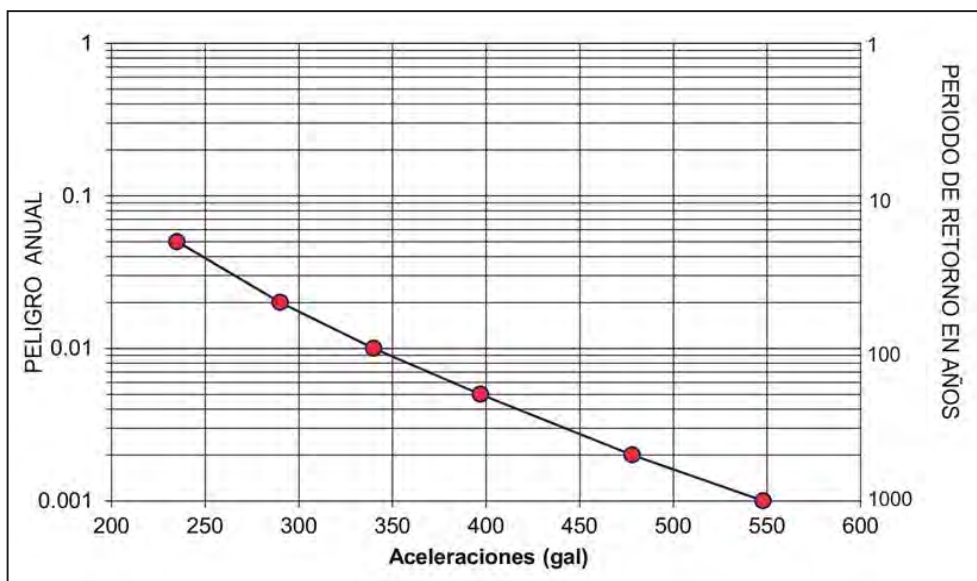


Figura 6.23 Curva de peligro anual para el poblado de Cotahuasi (-15.21 S, – 72.89 W).

Del mismo modo, en la figura 6.24 se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la localidad de Chala, 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 %, y el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración es de 900 años. Aceleraciones del orden de los 329 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Según la guía metodológica de evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa (Ojeda *et al.*, 2001), que se presenta en el 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 Arequipa, las categorías de alta y muy alta.

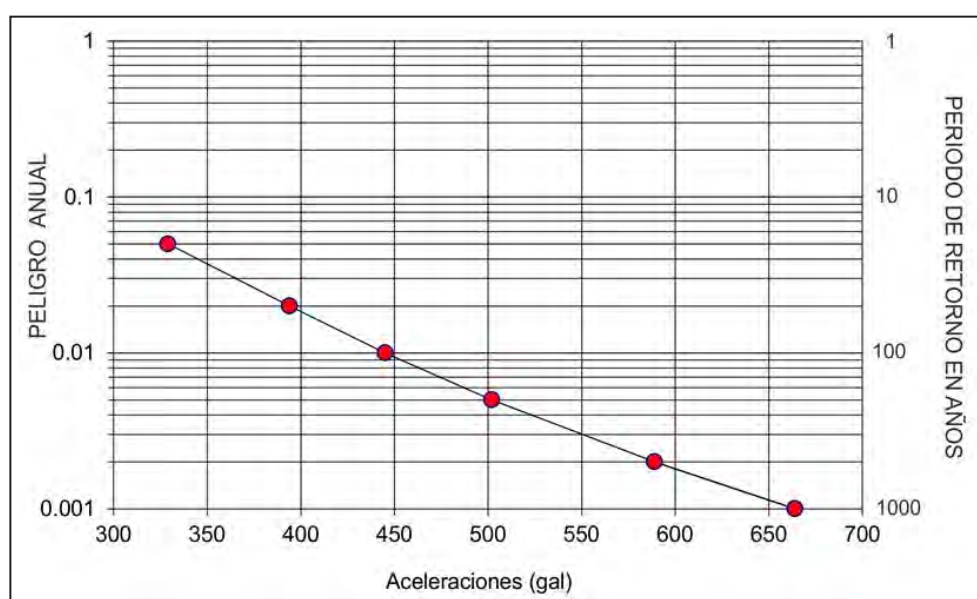


Figura 6.24 Curva de peligro anual para el poblado de Chala (-15.85 S, - 74.25 W).

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 al 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 Arequipa.

### 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, y 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 Arequipa, se tiene:

- 6 de agosto de 1913  
Terremoto en Caravelí. Según Umlauff (1915), el movimiento de pocos segundos de duración produjo desplomes de edificios y derrumbes en las laderas, y ocasionó varios muertos.
- 11 de Setiembre de 1914  
Se repitió en Caravelí otro violento sismo que la volvió a dejar en escombros y ocasionó derrumbes en los cerros que rodeaban a la ciudad (Umlauff, 1915).
- 28 de diciembre de 1915  
Según Umlauff (1915), fortísimo temblor en Caravelí que cuarteó viviendas, agrietó parte de las torres de la iglesia y causó deslizamientos en las partes sueltas de los cerros.
- 15 de enero de 1958  
Terremoto en Arequipa. Silgado (1978) indica que, por efecto tanto del Misti como de los cerros vecinos, se desprendieron enormes piedras que, al rodar cuesta abajo, levantaron gran polvareda. Hacia la cordillera, los derrumbes dañaron en varios tramos la línea del ferrocarril a Puno. La Carretera Panamericana entre Chala y Arequipa fue cubierta en varios trechos por deslizamientos de magnitud variable, y la zona más afectada estuvo entre Atico y Camaná.
- 23 de junio del 2001

En general, las localidades más afectadas por este terremoto fueron Ocoña, Camaná, Mollendo, Arequipa, Moquegua y Tacna. Asimismo, se ha observado daños materiales de importancia en casi todas las localidades distribuidas cerca de la costa, desde Nazca en Perú hasta Iquique en Chile y hacia el interior del continente, hasta La Paz en Bolivia. De acuerdo con la información obtenida sobre los daños materiales, personales y otros efectos, la intensidad máxima ha sido estimada en VII-VIII en la escala de Mercalli Modificada.

### 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 Hurtado (1983). Se ha tomado en consideración tanto la evidencia de licuación como el desarrollo de volcancitos de arena y lodo, la expulsión violenta de agua del terreno, la presencia de agrietamiento intenso y el asentamiento diferencial debido a los eventos sísmicos.

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.

Para el caso de la región Arequipa se tiene:

- 22 de enero de 1582  
Silgado (1978), basado en la obra de Fray Víctor Barriga, "Los Terremotos de Arequipa", indica un terremoto que dejó en ruinas a la ciudad de Arequipa. Después del mismo, toda la ciudad quedó anegada por la mucha agua que corrió por sus calles, probablemente debido al asentamiento y compresión de la napa freática. En la Costa, se sumergió un arroyo de agua que entraba al Puerto de Islay. También se referencia este fenómeno en la Historia del Perú del Padre Rubén Vargas Ugarte, S.J. La máxima intensidad de este sismo fue de X MM.
- 15 de enero de 1958  
Terremoto en Arequipa. Silgado (1978) indicó agrietamiento del terreno cerca de la zona de Camaná, con eyección de aguas negras. La máxima intensidad del sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de  $M_s = 7.0$ .
- 23 de junio de 2001

Ocurrió un terremoto en el sur del Perú con epicentro en el mar frente a Ocoña, que generó licuación y afectó mayormente los valles con aguas permanentes. Es el caso del valle del río Camaná donde un grupo técnico-científico comprobó la ocurrencia de este evento.

El proceso de licuación de suelos se expresó en los lugares citados debido al agrietamiento del terreno sobre decenas de metros de longitud a consecuencia del proceso del desparramamiento lateral (lateral spreading). Así, fue muy frecuente observar evidencias de agrietamientos más eyección de arena bajo la forma de volcanes de arena en los depósitos aluviales y/o deltaicos costeros del sur del país. Este fenómeno fue observado en los bancos de arena dentro de los cursos de los distintos ríos con agua permanente.

La zona con mayor evidencia de licuación fue a lo largo del río Camaná, que afectó el terraplén de la margen izquierda del río (usado para el control de inundaciones de la llanura aluvial cultivada). En el curso del río, las arenas muy finas a intermedias licuaron en aquellos bancos de arenas no muy potentes. Los volcanes de arena tuvieron diámetros de hasta 2.0 m. También midieron fracturas longitudinales a los bancos con eyección de arena (venting fractures) de unos pocos metros de longitud (grietas individuales no mayores de 4 m de longitud).



### 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 ( $h < 60 \text{ km}$ ) 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 es algo que 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 Arequipa.

#### 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: Ocurrió el 13 de agosto y 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, con epicentro frente a Arica. La altura de la ola registrada fue de 21 m en Concepción. En Camaná, ocurre uno de los tsunamis mas importantes, donde el mar se salió mas de 2 km aproximadamente y llegó hasta la "Legua", hoy monumento del Club de Leones. A nivel de Tsunamis históricos en la localidad, se ha registrado desde 1590, 1600 y 1604, cuando se produjo un tsunami en Camaná que afectó el litoral costero así como campos de cultivo.
- El 21 de febrero de 1966 se originó un tsunami por sismo a 210 km. al SO de Chimbote de magnitud 6.9 en la escala de Richter. Hubo 15 muertos, la altura de la ola sobrepasó los 5 m., tanto en el punto de Chimbote como en la caleta Coishco. Los efectos del tsunami se sintieron a lo largo del litoral costero.

- El 23 de junio de 2001 se produjo un tsunami que afectó a Camaná, originado por un sismo con epicentro en el mar al NO de Ocoña, de magnitud 6.9 en la escala de Richter. Se generaron olas de hasta 8.14 m, que causaron 23 muertos, 63 desaparecidos y cuantiosos daños materiales. Las más altas se produjeron en el sector de San Agustín-Camana, y la mayor distancia de inundación se dio en el caserío de Pucchun con 1089.6 m (Carpio & Tavera, 2002).

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 las ciudades y localidades distribuidas a lo largo de nuestro litoral costero.

En el caso de la región Arequipa, de producirse un sismo y por consiguiente un tsunami, los mayores impactos serían en los centros poblados aledaños a la desembocadura de los ríos Acari, Yauca, Chala, Atico, Ocoña, Camana, Quilca, los balnearios de Mollendo, Mejía. Punta de Bombón. En tal sentido, para prever futuras inundaciones, la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú propuso cartas de inundaciones, 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 incluyen la costa de la región de Arequipa, que reportaron tsunamis originados por sismos en el Perú y en otras regiones desde el año 1604, según Carpio y Tavera (2002). Uno de los más severos fue el sismo tsunamigénico del 23 de junio de 2001.

En el caso del presente estudio para la región Arequipa, la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (2017) propuso cartas actualizadas de inundaciones para los puertos y balnearios: Balneario Camaná A, Balneario Camana B, Balneario de Mejía, Caleta Lomas, Caleta Quilca, La Punta de Bombón, Puerto Atico, Puerto Matarani y Puerto Mollendo (Anexo I), 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, y proponer, además, un crecimiento urbano ordenado y seguro de las zonas costeras bajas que son más vulnerables.

Cuadro 6.11

Zonas costeras afectadas por tsunamis que incluye la costa de la región Arequipa

Fecha	Lat.	Long.	Magnitud	Intensidad fuente (mm)	Localidades afectadas
			(ms, mb, mw)		
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
24/11/1604	17.7	71.33	6.5 Ms	VI	Sur del Perú, Norte de Chile
19/09/1615	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
28/07/1913	16.6	73.3	7.0 Ms	IX	Sur del Perú, Norte de Chile
06/08/1913	15.8	73.5	7.8 Ms	X	Sur del Perú, Norte de Chile
06/01/1922	16.5	73	7.2 Ms	-	Sur del Perú, Norte de Chile
24/08/1942	15.6	74.7	8.2 Ms	X	Sur del Perú, Norte de Chile
13/01/1960	16.2	72.1	7.5 Ms	X	Arequipa
16/02/1979	16.6	72.8	6.9 Ms	VII	Camaná (Arequipa)
22/07/2001	19.5	69.3	6.4 Mw	VIII	Camaná, Matarani (Arequipa)

### 6.5.9 Actividad Neotectónica

El entorno sismotectónico del Perú se caracteriza por la colisión y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamérica, 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 en nuestro territorio de un importante número de fallas activas, muchas de las cuales producen sismos continuamente.

• **Trigal (PE-26):** Las fallas Huambo Cabanaconde se encuentran ubicadas entre los poblados de Huambo y Cabanaconde-región Arequipa, en las mesetas volcánicas de la Cordillera Occidental, a unos 100 km al noroeste de Arequipa. En esta zona, se tiene dos fallas importantes y paralelas conocidas como la falla Trigal y la falla Solarpampa por las quebradas del mismo nombre (Sébrier *et al.*, 1985)

La falla el Trigal presenta un escarpe de falla con una longitud aproximada de 10 km (Huamán, 1985). Afecta al vulcanismo cuaternario más reciente (Holoceno) y parece haberse movido durante su emplazamiento. El escarpe de falla afecta la topografía actual. Esto, más la perturbación del drenaje con formación de charcas de colapso por falla (sagpond), **específicamente en los alrededores de la intersección de la falla Trigal con el cerro Tocosasi y los saltos holocenos de aproximadamente de 5 m en la quebrada Trigal, sugiere que estas fallas son activas.**

• **Solarpampa (PE-41):** La falla Solarpampa (Foto N° 1), presenta un escarpe de falla con una longitud de 12 km (Huamán, 1985). Este afecta el vulcanismo cuaternario (Holoceno) así como también depósitos aluviales recientes. Los escarpes tienen una altura entre 5-10 m, lo que originó una perturbación en el drenaje, con consecuente formación de sagpond a lo largo de la traza de la falla.

A fin de realizar una interpretación de los procesos de deformación presentes en esta región, Huamán (1993), Mering *et al.*, (1996) y Sébrier *et al.*, (1985) realizaron diferentes estudios de microtectónica sobre las fallas del Trigal y Solarpampa y sugieren que estos sistemas corresponden a fallas normales originadas por procesos netamente extensivos y cuyos ejes de tensión se orientarían en dirección N-S y buzamiento en dirección Sur.

El poblado de Cabanaconde fue afectado en 1998 por dos sismos superficiales (5 km) de 5.5 Mb magnitud. Sus mecanismos focales dieron como resultado fallas de tipo normal con planos nodales orientados en dirección Este-Oeste buzando ambos con ángulos de aproximadamente 45° y eje de tensión Norte-Sur (Antayhua *et al.*, 2002).

• **Llucilla (PE-42):** Se localiza en el valle del Río Sihuas, a 60 km al noroeste de la ciudad de Arequipa, entre rocas del Precámbrico de la Cordillera Occidental y depósitos continentales del Oligoceno-Mioceno en el Piedemonte del Pacífico.

La degradación del escarpe de falla indica que el último movimiento fue antes del Holoceno y podría estar relacionado a la tectónica extensional del Plioceno-Pleistoceno (Sèbrier *et al.*, 1985).

Las 16 medidas de estrías normales realizadas del último período de reactivación dan como resultado un régimen tectónico extensivo de dirección Norte-Sur (Sèbrier *et al.*, 1985, Sébrier *et al.*, 1982 y Deza *et al.*, 1982).

• **Pampacolca (PE-44):** Sébrier *et al.*, (1982) describen esta falla de la siguiente manera. Está ubicada en la Cordillera Occidental,

al sur del volcán Coropuna en la región de Arequipa, y presenta una extensión de 20 km aproximadamente.

Tiene un rumbo promedio N140°E con un buzamiento fuerte hacia el Suroeste. Su componente aparente es normal con el bloque cordillerano levantado, y su escarpe de falla se muestra erosionado y afecta depósitos aluviales posiblemente del Pleistoceno superior.

• **Chala Viejo (PE-51):** La falla Chala Viejo se ubica en la región Arequipa, al noreste de la bahía de Chala, a una altura promedio de 370 m s. n. m. y se extiende sobre más de 10 km.

La falla Chala Viejo afecta niveles sedimentarios del Mioceno y abanicos aluviales cuaternarios. Su traza en superficie se manifiesta por un escarpe que evidencia un desplazamiento vertical formando facetas triangulares. A lo largo de su traza, se observa afloramientos de agua y vegetación.

Es importante realizar estudios detallados de las deformaciones Pliocuatnarias, fallas y pliegues considerados como estructuras sismogénicas, así como los procesos geológicos inducidos por la sismicidad. De esta manera, se pone en evidencia fallas activas y Cuaternarias con potencial sismogénico que están relacionadas con la evolución neotectónica de la región Arequipa (Benavente *et al.*, 2017), lo que se muestra en el cuadro 6.12 y figura 6.25.

Cuadro 6.12

Relación de fallas Cuaternarias y activas de la región Arequipa

Nro.	Código	Nombre	Última react. A set 2015
1	AR-01	Falla Chorrillos	< 10 000 años
	<b>AR-02</b>	<b>ZONA DE FALLAS CUESTA CALAVERAS</b>	
2	AR-02-a	Falla Atico	< 2.5 millones de años
3	AR-02-b	Falla Bodeguita	< 10 000 años
4	AR-02-c	Falla Lomas Guzman	< 10 000 años
5	AR-03	Fallas Calaveritas	< 2.5 millones de años
6	AR-04	Falla Cerro Alto La Playuela	< 10 000 años
7	AR-05	Falla Tambillo	< 10 000 años
8	AR-06	Falla Pampa Verde	< 10 000 años
9	AR-07	Falla Morro Camaná	< 10 000 años
10	AR-08	Falla Mollendo	< 10 000 años
11	AR-09	Falla Salinas	< 2.5 millones de años
12	AR-10	Falla Punta de Bombón	< 2.5 millones de años
13	AR-11	Falla Puntas-Iñane	< 10 000 años
14	AR-12	Falla Chala Viejo	< 10 000 años
	<b>AR-13</b>	<b>SISTEMA DE FALLAS IQUIPI</b>	
15	AR-13-a	Falla Río Chaparra	< 10 000 años
16	AR-13-b	Falla Iquipi	< 10 000 años

Continuación...

17	AR-14	Falla Choclón	< 10 000 años
18	AR-15	Falla Cerro Los Castillos	< 10 000 años
19	AR-16	Falla Pampa de Vaca	< 10 000 años
20	AR-17	Falla La Corvina-Corire	< 10 000 años
21	AR-18	Falla Las Pacas-Acoy-Aplao	10/07/1821 (Histórico)
22	AR-19	Falla Toran	< 10 000 años
23	AR-20	Falla Aliso	< 10 000 años
24	AR-21	Falla Pampa Los Ceniceros	< 10 000 años
25	AR-22	Falla Pampa de Toro	< 10 000 años
26	AR-23	Falla La Joya	< 10 000 años
27	AR-24	Falla Gramadal	< 10 000 años
28	AR-25	Falla El Abra	< 10 000 años
	<b>AR-26</b>	<b>SISTEMA DE FALLAS ATQUIPA-CARAVELI-SICERA-LLUTA-VITOR</b>	
29	AR-26-a	Falla Atiquipa-San Juan de Churunga	< 10 000 años
30	AR-26-b	Falla Caravelí Calpa	06/08/1913 (Histórico)
31	AR-26-c	Falla Caravelí-Sicera-Lluta-Vitor	13/05/1784 (Histórico)
32	<b>AR-27</b>	<b>ZONA DE FALLA PARINACOCHAS</b>	< 10 000 años
33	<b>AR-28</b>	<b>ZONA DE FALLA SONDOR-PAUCARAY</b>	< 10 000 años
34	AR-29	Falla Yamachay-La Isla	< 10 000 años
35	AR-30	Falla Tasta-Sara Sara	< 10 000 años
36	<b>AR-31</b>	<b>ZONA DE FALLA CHUQUIBAMBA</b>	< 10 000 años
37	AR-31-a	Falla Acoypampa	< 10 000 años
38	AR-31-b	Falla Gellmani	< 10 000 años
39	AR-31-c	Falla Gentinlog	< 10 000 años
40	AR-31-d	Falla Huancucane-Cerro Las Lomas	< 10 000 años
41	AR-31-e	Falla Lomas Tranca	< 10 000 años
42	AR-31-f	Falla Ochocruz-Chiripampa	< 10 000 años
43	AR-31-g	Falla Ojoruro-Huacón Pampa	< 10 000 años
44	AR-31-h	Falla Pampa Cortaderas	< 10 000 años
45	AR-31-i	Falla Pampa Arahua-Alchane	< 10 000 años
46	AR-32	Falla Ayo-Lluta-Arequipa	01/08/1725 (Histórico)
47	AR-33	Falla Ayahuay-Abra Cala	< 2.5 millones de años
48	AR-34	Falla Tastani	< 10 000 años
49	AR-35	Falla Pampacolca-Quichuaña	< 10 000 años
50	AR-36	Falla Palljaruta-Sique	< 10 000 años
51	AR-37	Falla Viraco-San Antonio	< 10 000 años
52	<b>AR-38</b>	<b>ZONA DE FALLA MAUCA-LLACTA</b>	< 10 000 años
53	AR-39	Falla Alca	< 2.5 millones de años
54	<b>AR-40</b>	<b>ZONA DE FALLA FIRULA</b>	< 10 000 años
55	AR-41	Falla Pallca-Tunupacha-Toro	< 2.5 millones de años
56	<b>AR-42</b>	<b>ZONA DE FALLA ANDAGUA</b>	< 10 000 años



Continuación...

	<b>AR-43</b>	<b>ZONA DE FALLA DEL COLCA</b>	
57	AR-43-a	Falla Solarpampa-Puye Puye-Pillo	28/02/2015 (Instrumental)
58	AR-43-b	Falla Trigal	< 10 000 años
59	AR-43-c	Falla Chachas-Cabanaconde-Patapampa	< 10 000 años
60	AR-43-d	Falla Colihuire-Huatajcucho	< 10 000 años
61	AR-43-e	Falla Mojobampa	< 10 000 años
62	AR-43-f	Falla Madrigal	< 10 000 años
63	AR-43-g	Falla Pungo-Hornillo	< 10 000 años
64	AR-43-h	Falla Hualca Hualca-Jatun Rumi	< 10 000 años
65	AR-44	Falla Mucurca-Ampato-Casablanca	< 10 000 años
66	AR-45	Falla Aguada Blanca	< 10 000 años
67	AR-46	Falla El Frayle	< 2.5 millones de años
68	AR-47	Falla Rinramayo-Cañahuas	< 2.5 millones de años
69	AR-48	Falla Chili	< 10 000 años
	<b>AR-49</b>	<b>FALLA ALHUAYO-CHALLAHUIRE</b>	
70	AR-49-a	Falla Ranracocha	< 10 000 años
71	AR-49-b	Falla Alhuayo	< 10 000 años
72	AR-50	Falla Cayarari	< 10 000 años
73	AR-51	Falla La Angostura-Condoroma-San Antonio de Chuca	< 10 000 años
74	AR-52	Falla Caylloma	21/05/1917 (Histórico)
75	AR-53	Falla Yarinota-Llacto	< 10 000 años
76	AR-54	Falla Finaya-Frontera	< 2.5 millones de años
77	AR-55	Falla Churaña	< 10 000 años
78	<b>AR-56</b>	<b>SISTEMA DE FALLAS TISCO-HUAYLLANE</b>	< 10 000 años
79	AR-57	Falla Llacmapampa-Sibayo-San Antonio de Chuca	< 10 000 años
80	AR-58	Falla Chalhuanca	< 10 000 años
81	AR-59	Falla Río Cotahuasi-Ichupampa-San Juan de Tarucani	11/10/1932 (Histórico)

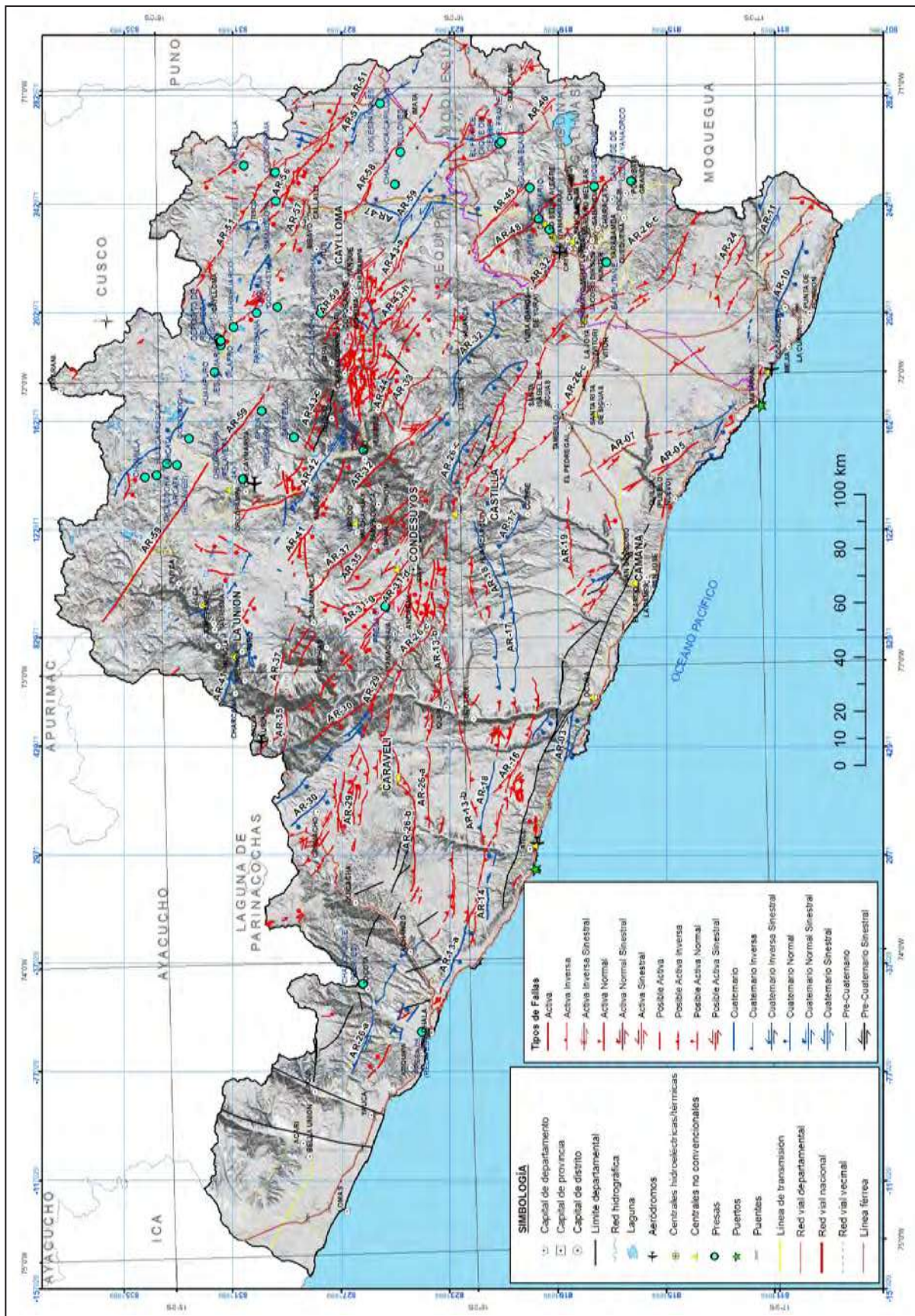


Figura 6.25 Mapa neotectónico de la región Arequipa (Benavente et al., 2017).

# CAPÍTULO VII

## ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN AREQUIPA

### 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), que muestran una recurrencia en algunos casos periódica a excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales, por lo que es necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres. Sobre estas, 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 y Regional.

Sin embargo, no se puede dejar de manifestar, que si bien este estudio recomienda la priorización de obras en estas zonas críticas que buscan mitigar o reducir los daños causados por estos peligros, no se debe restar atención a los demás peligros que han sido identificados en el inventario de peligros, así como también a los que aparecen cartografiados dentro del mapa geomorfológico, ya que ante la presencia de lluvias excepcionales, muchas de estas zonas podrían aumentar y acelerar su actividad, reactivarse, y hasta constituirse en nuevas zonas críticas.

En el Mapa 9, se muestra la distribución de **135 zonas** críticas por peligros geológicos y geohidrológicos del departamento Arequipa, identificadas en el año 2013 durante los trabajos de inspección e inventario de peligros geológicos en campo en la región Arequipa del proyecto GA45: Estudio de riesgo geológico

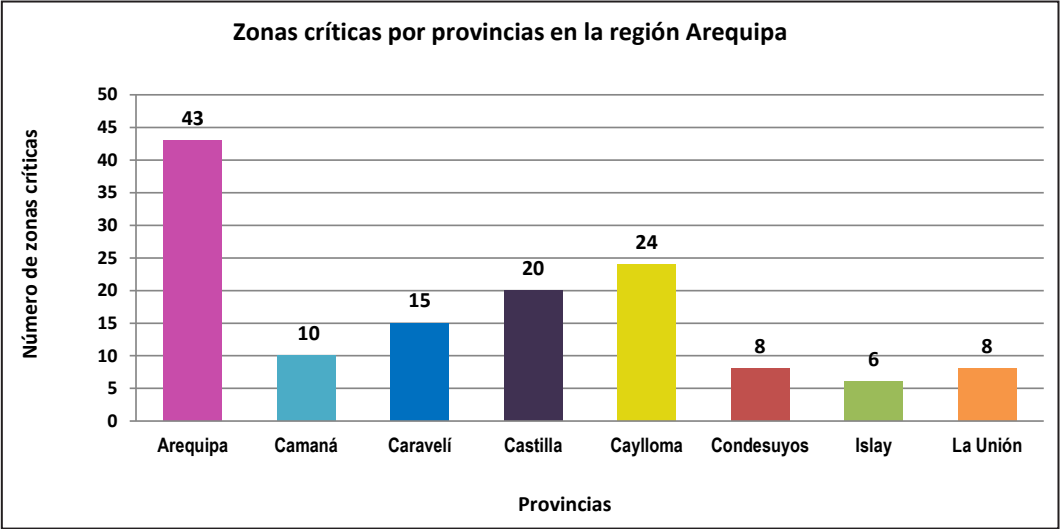
por regiones: Arequipa y Moquegua, en el informe técnico "*Zonas críticas por peligro geológico en la región Arequipa*" (Luque & Rosado, 2014) y el informe técnico "*Zonas críticas por peligro geológico de la cuenca del río Tambo*" (Núñez & Gómez, 2012), "*Zonas críticas por peligro geológico de la cuenca del río Ocoña*" (Medina *et al*, 2012), "*Zonas críticas por peligro geológico de la cuenca del río Camaná-Majes-Colca*" (Zavala *et al*, 2008), "*Zonas críticas de la cuenca del río Quilca-Vitor-Chili*" (Zavala *et al*, 2012).

### 7.2 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

Luego de realizar la correlación estadística del tipo de peligro o peligros que concurren en las 135 zonas críticas identificadas en el departamento de Arequipa 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 ubica en la provincia de Arequipa (44), seguido por las provincias de Caylloma (24), Castilla (20), Caravelí (15), Camaná (10), Condesuyos (8), La Unión (8) e Ilay (6).

El peligro predominante en estas zonas críticas son los flujos, seguido por las caídas-derrumbes y en menor proporción erosión de laderas. Finalmente, se debe mencionar que el resto de zonas críticas resultan de la combinación de más de dos peligros.

En los cuadros 7.1 al 7.8, se describen los principales sectores considerados críticos agrupados por provincia. En cada uno, se indica el o 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.



**Gráfico 7.1** Zonas críticas por provincias en la región Arequipa.



Cuadro 7.1  
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Caraveli

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
1. Carretera Otapara-Mina Machaynioc (Acarí/Bella Unión)	Área sujeta a flujo de detritos, movimientos complejos, derrumbes y erosión fluvial. Zona de derrumbes y flujos de detritos en talud superior de trocha carrozable Otapara-Malco se generan en depósitos de canchales, de detritos suspendidos en las laderas. La población de Machaynioc está asentada sobre depósitos antiguos de flujos de detritos de grandes dimensiones que han desviado el cauce del río y está sujeta a erosión fluvial. Todos los años discurren hualcos por la quebrada Machaynioc. Algunas viviendas de las minas Esperanza y San Vicente se encuentran asentadas sobre depósito de un movimiento complejo en el cerro Pico Blanco. En el 2013, el río Machaynioc incrementó su caudal, provocó erosión fluvial en la margen derecha, y afectó plataforma deportiva del poblado con el mismo nombre, con pérdidas de terreno de hasta 20 m de ancho y 100 m de longitud (figura 7.1).	Puede afectar viviendas del poblado y mina Machaynioc. Todos los años afecta tramos de la trocha carrozable Otapara-Machaynioc.	Colocar badenes en los tramos de la carretera donde es cortada por quebradas. Limpieza del río Machaynioc. Prohibir la construcción de viviendas cerca al cauce del río, colocar defensa ribereña y disipadores de energía en el cauce de la quebrada Machaynioc. Reubicar viviendas que se encuentran debajo de la mina San Vicente.
2. Sector Acarí (Acarí)	Área sujeta a erosión fluvial, inundación y arenamiento. La margen derecha del río Acarí es afectada por erosión fluvial y la margen izquierda por inundación, en el sector Collona. Arenamiento en cerros El Toro, Mendoza, con presencia de dunas (figura 7.2A).	Puede afectar viviendas de Acarí, puente peatonal y terreno de cultivo.	Colocar muro de contención en ambas márgenes, limpieza de cauce de río.
3. Puente Chaviña (Acarí/Bella Unión)	Área sujeta a erosión fluvial, inundación y arenamiento. Inundación fluvial en ambas márgenes del río Acarí invade los terrenos de cultivos. También presenta erosión fluvial en época de crecida que erosiona el estribo derecho del puente Chaviña (figura 7.2B y 7.2C).	Puede afectar nuevo puente Chaviña, tramo de carretera Panamericana y terrenos de cultivo de olivo.	Colocar gaviones en los estribos del puente. Limpieza de cauce de río.
4. Puente Yauca, Km 577-585 de la carretera Panamericana Sur, playa Tanaca (Yauca)	Área sujeta a erosión fluvial, inundación, flujo de detritos y arenamiento. Flujo de detritos en el km 7+500 de la carretera Yauca-Jaqui, sector Santa Emilia, en caso de sismos pueden generarse derrumbes en talud superior. Erosión fluvial en ambas márgenes del río Yauca, afecta aproximadamente 145 m de longitud, afecta estribos de puente Yauca. Inundación fluvial en ambas márgenes del río Yauca, en la margen izquierda presenta arenamiento que invade a la carretera Panamericana hasta las playas Tanaca, Las Lomas (figura 7.3).	Arenamiento invade aproximadamente 8 km de la carretera Panamericana. Puede afectar puente Yauca, terrenos de cultivo y carretera Yauca-Jaqui.	Limpieza diaria en la carretera Panamericana a la altura del km 578+000, colocar defensa ribereña para proteger estribos del puente Yauca, y terrenos de cultivo.

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
5. Km 31-41 de la carretera Yauca-Laytaruma (Jaqui)	Área sujeta a erosión fluvial, derrumbes y flujos de detritos. Zona de huacos en sector Convento, km 39+100 afecta 850 m, sector Huambrillo, km 38+00, km 35+00, km 31 y km 32; en época de lluvias intensas se generan huacos en torrenteras del cerro Convento. En el km 32+200 de la carretera Yauca-Laytaruma, es afectado por erosión fluvial en margen izquierda de la quebrada Acaville, un tramo de 50 m de longitud. Se ha enrocado para proteger plataforma de carretera, lo cual es insuficiente (fotografía 7.1). Derrumbes y caída de rocas en talud superior de la carretera Yauca-Laytaruma.	Afecta aproximadamente 10 km de carretera Yauca-Laytaruma por sectores (acceso a la mina Laytaruma), torres de electricidad de alta tensión que se encuentran en depósitos antiguos.	Colocar badenes y alcantarillas en tramos donde quebradas y torrenteras cortan carretera Yauca-Laytaruma, colocar muros de contención para proteger plataforma de carretera. Limpieza de cauce de quebrada Acaville.
6. Chala-La Caleta, km 585+800-km 619+100 de la carretera Panamericana Sur (Chala)	Área sujeta a flujo de detritos y derrumbes. Flujo de detritos en quebrada Chala, Cementerio y torrenteras que cruzan por el poblado de Chala. Se ha colocado un pontón en la quebrada Chala por donde cruzan las tuberías de agua y desagüe del poblado. Aguas arriba se ha obstruido el cauce con desmontes rellenándolo para construir una trocha (figura 7.4). En caso de sismos, como el del 25 de setiembre del año 2013, se generaron derrumbes en el talud superior de la carretera y grietas en la plataforma de la carretera Panamericana Sur desde el km 585+800 hasta el km 619+100, los cuales obstruyeron parte de la plataforma. El material comprometido corresponde a conglomerados areniscas y limolitas de las terrazas marinas. Caída de rocas desde talud superior de 5 m de alto. Compromete material de relleno de carretera y conglomerados.	Tramo de la carretera Panamericana sur (Chala-La Caleta), aproximadamente 34 km por sectores y zonas urbanas como Acari, Agua Salada, Santa Rosa, La Aguadita, Chala y Atiquipa. Con presencia de grietas de 15 m de longitud con aberturas de 3 cm, asentamientos en terraplén de carretera del orden de los cuatro centímetros. Afectó también señalizaciones de red de fibra óptica y postes de televisión por cable.	Limpieza de cunetas, mejoramiento de taludes, reforzamiento del talud inferior. Limpieza del cauce de las quebradas y torrenteras. Colocar alcantarillas y pontones.
7. Palca, carretera Tocola-Huanuhuanu (Huanuhuanu)	Área sujeta a flujo de detritos, erosión de laderas, erosión fluvial y derrumbes. Zona de huacos en ambas márgenes de la quebrada Huanuhuanu y la quebrada Tocola, sector Tocola. Torrenteras y cárcavas acarrear huacos en las laderas del cerro San Antonio. También presenta erosión fluvial en ambas márgenes de la quebrada Huanuhuanu. En el sector Carmona se ha colocado enrocado, aproximadamente 70 m de longitud.	Afecta carretera Chala-Tocola.	Limpieza de cauce, Mejoramiento de taludes. Colocar badenes y alcantarillas.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
8. Km 645-km 648 de la carretera Panamericana Sur (Chaparra)	Área sujeta a derrumbes, arenamiento. Derrumbes en talud superior de carretera Panamericana Sur, en depósitos edáficos en cerro Arena. Dunas invaden carretera Panamericana Sur aproximadamente 8 km (figura 7.5).	Puede obstruir la carretera Panamericana Sur.	Mantenimiento y limpieza de carretera, colocar muros de contención, mejoramiento de taludes.
9. Carretera Quicacha-Chaparra-El Molino (Quicacha/Chaparra)	Área sujeta a flujo de detritos y erosión fluvial. Zona de hualcos en torrenteras, en ambas márgenes del río Chaparra, en las laderas de los cerros Aguada Nueva, Puruja y Cruz de Oro. Los poblados Quicacha, Molino, Chaparra, Animas, El Convento, Tiruque y San Andrés se encuentran asentados sobre depósitos antiguos de flujos de detritos en forma de abanicos (figura 7.6), sujetos a erosión fluvial.	Puede afectar viviendas de los sectores Quicacha, Molino, Chaparra, Animas, El Convento y San Andrés, y carretera Chaparra-Quicacha.	Colocar badenes, alcantarillas, defensas ribereñas. Limpieza de cauce. Prohibir la construcción de viviendas muy cerca del cauce de las quebradas.
10. Carretera a Mina Calpa (Atico)	Área sujeta a derrumbe, flujo de detritos y erosión fluvial. Zona de hualcos y derrumbes en talud superior en el tramo km 27+000-28+000 de la carretera Atico-Caraveli. También presenta erosión fluvial en margen izquierda de la quebrada Pozo Huaraco, se llevó un tramo de la trocha de acceso a la mina Calpa.	Afecta 1 km de la carretera Atico-Caraveli.	Desquinchar bloques suspendidos en talud superior de carretera, colocar muros de contención, badenes y alcantarillas. Colocar defensa ribereña para proteger plataforma de carretera.
11. Km 11+420 - km 36+000 de la carretera Atico-Caraveli (Atico)	Área sujeta a derrumbe, caída de rocas, erosión fluvial y flujo de detritos. En algunos sectores presenta erosión fluvial en la margen izquierda del río Atico (figura 7.7). Zona de hualcos. En depósitos de canchales, se forman cárcavas del km 22+250 al km 39+740. Derrumbes y caída de rocas en talud superior de carretera Atico-Caraveli, en algunos tramos se han colocado muros de contención, en substrato rocoso fracturado comprometido de rocas volcánicas-sedimentarias de la Formación Alpabamba (intercalaciones de areniscas tobáceas, conglomerados y andesíticas porfíricas).	En caso de sismos se pueden generar caída de rocas, en algunos tramos se ha colocado muros de contención. Puede obstruir vía.	Mejorar los taludes, desquinchar bloques suspendidos. Colocar defensa ribereña.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
12. Atico, La Florida (Atico)	Área sujeta a erosión fluvial y flujo de detritos. Erosión fluvial en ambas márgenes del río Atico, en el sector Atico y La Florida (figura 7.8).	Puede afectar puente y algunas viviendas del poblado Atico.	Colocar defensa ribereña, Limpieza de cauce de río. Prohibir la construcción de viviendas cerca al cauce del río.
13. Km 725+00-743+00 de la carretera Panamericana Sur (Atico)	Área sujeta a arenamiento, derrumbes, erosión de laderas y flujos de detritos. Arenamiento en el km 740+00 de la carretera Panamericana Sur, en el cerro de Arena, se ha colocado muro de contención. Derrumbes en talud superior de carretera Panamericana a la altura del km 732+033 sector Lomas Capilla-Playa Quebrada Honda. El área también es afectada por erosión en cárcavas que en época de lluvia intensa genera huacos. Se ha colocado alcantarillas (figura 7.9).	Afecta aproximadamente 8 km de la carretera Panamericana Sur, por sectores.	Colocar muros de contención, colocar badenes, limpieza de cunetas.
14. Caravelí (Caravelí)	Área sujeta a flujos de detritos. En el cauce de la quebrada, se observa material suelto de fácil remoción, que ante lluvias excepcionales pueden ser removidas y generar flujos de detritos. Zona con pendiente moderado, terreno con ausencia de vegetación. Por el lugar, se ha construido canal de regadío. El poblado Caravelí se encuentra asentado sobre depósitos antiguos de huacos (figura 7.10).	De reactivarse por lluvias excepcionales, afectaría los barrios marginales de Caravelí, lo que también podría afectar terrenos de cultivo y canal de regadío.	Construir muros de contención. Limpieza y profundización de cauce.
15. Quebrada Nauquipa - Pirca (Cahuacho)	Área sujeta a erosión en cárcavas, pequeños deslizamientos y reptación. Quebrada de substrato muy meteorizado de fácil remoción de pendiente moderado y terreno de escasa vegetación. Los factores detonantes son las precipitaciones pluviales excepcionales.	Podría afectar terrenos de cultivo.	Usar riego tecnificado. Restringir la expansión urbana. Forestar la zona con plantas nativas.





Figura 7.1 Vistas del sector Machaynioc afectado por erosión fluvial en la margen derecha del río Machaynioc. El poblado se encuentra sobre depósitos de flujos antiguos como se muestra en la imagen del Google Earth.



Figura 7.2 A) Arenamiento en el sector Acarí, cerro El Toro, que afecta terrenos agrícolas. B y C) Inundación en el sector Chaviña. Aún se observan restos de antiguo puente.



Figura 7.3 A) Área sujeta a inundación fluvial en ambas márgenes del río Yauca. B) Arenamiento en la margen izquierda del río Yauca. C) Derrumbes en talud superior de la carretera Panamericana Sur en depósitos de conglomerados y de arena. D) Invasión de dunas en carretera Panamericana Sur, km 578+000.





Fotografía 7.1 Erosión fluvial en el km 32+200 de la carretera Yauca-Laytaruma, en la margen izquierda de la quebrada Acaville.



Figura 7.4 A) Derrumbes en talud superior de la carretera Panamericana con presencia de asentamientos en plataforma de la carretera Panamericana Sur km 615+100 al km 616+200. B) Sector de La Aguadita afectado por derrumbes y caída de rocas que afectaron camino peatonal a la playa. C) Quebradas Cementerio y Chala. Aguas arriba de la quebrada Cementerio, se ha obstruido el cauce de la quebrada con rellenos. Tomado el 03 de octubre del 2013, después del sismo del 25/09/13.





Figura 7.5 Derrumbes en depósitos eólicos y marinos en el km 648+000 de la carretera Panamericana Sur.



Figura 7.6 A) Poblado Tiruque se encuentra sobre abanico en margen izquierda del río Chaparra, km 55+800. B) Quebrada Rinconada forma un abanico en la margen izquierda del río Chaparra. Sobre depósito antiguo, se encuentra asentado el poblado El Convento.





Figura 7.7 A) Erosión fluvial en la margen izquierda del río Atico, en el km 11+420 de la carretera Atico-Caravelí. B, C y D) Derrumbes en talud superior de carretera Atico-Caravelí, en los km 22+250, km 18+320, km 21+300 respectivamente.



Figura 7.8 A) Erosión fluvial en la margen derecha del río Atico. B) Erosión fluvial en la margen derecha del río Atico. C) Puente La Florida. D) Puente Atico presenta daños en estribo derecho del puente.



Figura 7.9 Vistas de arenamiento en cerro de Arena, en el km 743 de la carretera Panamericana Sur.



Figura 7.10 Vista panorámica del poblado de Caraveli, ubicado sobre depósitos proluviales, dejados por huaicos muy antiguos.



**Cuadro 7.2**  
**Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Camaná**

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
16. Pescadores (Ocoña)	Área sujeta a flujo de detritos, arenamiento, derrumbes e inundación. Todos los años la quebrada Pescadores acarrea hualcos y obstruye el paso vehicular en la Panamericana Sur (figura 7.11). Aguas abajo cerca de la desembocadura al mar, presenta inundaciones.	Obstrucción de la carretera Panamericana Sur puede afectar viviendas del poblado Pescadores. Muchos pasajeros arriesgan su vida cruzando el río en cámaras infladas con el apoyo de algunos pobladores.	Colocar puente, defensa ribereña y limpieza de cauce. Reforestar laderas en la cabecera de la quebrada.
17. Km 758-00-766+00 Panamericana Sur Ocoña-La Planchada (Ocoña)	Flujo de detritos (hualcos). Quebradas con material susceptibles a ser removidos, en pendiente moderada de las quebradas y terrenos con ausencia de vegetación. Se muestran antiguos depósitos generados por flujos de detritos, sobre los cuales se construyeron viviendas. También se observa erosiones en cárcavas. Los factores detonantes son las precipitaciones pluviales de tipo excepcional (figura 7.13).	Fenómeno podría afectar las viviendas del sector. También podría afectar terrenos de cultivo.	Zona no apta para expansión urbana. Elaborar plan de contingencia ante hualcos.
18. Pueblo Viejo (Ocoña)	Área sujeta a erosión fluvial, inundación y arenamiento. Inundación fluvial en ambas márgenes del río Acari invade los terrenos de cultivos. También presenta erosión fluvial en época de crecida que erosiona el estribo derecho del puente Chaviña (figura 7.2B y 7.2C).	Puede afectar nuevo puente Chaviña, tramo de carretera Panamericana y terrenos de cultivo de olivo.	Colocar gaviones en los estribos del puente. Limpieza de cauce de río.
19. Urasqui (Mariano Nicolás Valcárcel)	Área sujeta a derrumbes, flujos de lodo y detritos. Quebradas con material susceptibles a ser removidos, pendiente alta, terrenos con ausencia de vegetación. Presencia de pequeños derrumbes en las laderas de las quebradas que aportan material al cauce de estas quebradas y generan hualcos. Las viviendas del sector Urasqui se encuentran construidas en antiguos depósitos de flujo de detritos (figura 7.14 y fotografía 7.2).	Fenómeno que podría afectar las viviendas del sector Urasqui y terrenos de cultivo.	No construir viviendas ni realizar cortes en el talud del cerro. Zona no apta para expansión urbana. Buscar alternativas para reubicar la capital de distrito.

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
20. Campamento Minero Artesanal Secocha (Mariano Nicolás Valcárcel)	Área sujeta a flujos de detritos (huaicos). En las laderas de la quebrada Saca de Posco y quebradas afluentes, presenta material susceptible de ser removido en forma de taludes de detritos, con pendiente moderada, donde se realiza actividad minera artesanal en la parte alta del poblado; y en la parte baja, actividad agrícola. Los desencadenantes son las lluvias excepcionales y sismos. El poblado se encuentra asentado sobre un abanico antiguo (fotografía 7.3 y figura 7.15). En la desembocadura de la quebrada, se observan depósitos de flujos de detritos de diferentes periodos.	Los flujos que se generen en la quebrada Saca de Posco pueden afectar directamente a la población del Campamento Minero Artesanal Secocha y tierras de cultivo.	La zona no es apta para asentamiento poblacional. Elaborar plan de contingencia ante huaicos. Reubicar a la población asentada en el cauce de la quebrada. Abrir cauce de quebrada que cruce el área poblada de Secocha. Limpieza periódica del cauce de quebrada.
21. Poblado de Socoso-Quebrada Molles (Nicolás de Piérola)	Zona de flujo de detritos (huaicos). Material proluvial depositado por los flujos que discurren por la quebrada Molles, forman un abanico en su desembocadura con el río Camaná, que en su parte distal tiene 1 km de ancho. El material proluvial está conformado por gravas y arenas, con bolones de hasta 1 m de diámetro (fotografía 7.4). Sobre este depósito de huaico se encuentran asentadas las viviendas del poblado de Socoso. Es posible identificar el curso seguido por el último huaico, el cual formó varios canales y se desbordó. Caída de rocas desde talud superior de 5 m de alto. Compromete material de relleno de carretera y conglomerados.	Pueden resultar afectadas las viviendas y pobladores de Socoso.	Reubicar y prohibir la construcción de viviendas dentro del cauce de la quebrada o en las zonas de influencia de flujos antiguos. Limpieza de cauce.
22. Playa El Chorro-La Punta (Quilca)	Área sujeta a arenamiento, inundación por tsunamis y licuación de arenas. Morfología del litoral susceptible a ser afectada por olas de tsunami, como el ocurrido en el 2001. Terreno compuesto por arenas de playa casi sueltas, poco o nada densas, susceptibles a licuación en caso de sismo.	Compromete balnearios de la ciudad de Camaná.	Simulacros de evacuación. Prohibir construcción de edificaciones sin estudios geotécnicos de cimentación adecuados.
23. Entre quebrada Characta y quebrada Pisques (Nicolás de Piérola)	Flujos de detritos excepcionales: caída de rocas con sismos. Acumulaciones de conos de talus y abanicos en las laderas de los cerros La Laja, Punta Llacila y Pisques. Taludes inestables con sismos.	Puede afectar tramo de carretera de acceso a Los Molles (Socoso).	Construcción de muros de gaviones o pilcas de mampostería de piedra, para contención de caída de rocas.
24. San José Mariscal Cáceres (Mariscal Cáceres)	Inundación-erosión fluvial: terrazas bajas inundables localizadas hacia ambas márgenes del río Camaná (figura 7.16). En algunos sectores como en la margen izquierda del río frente a Cardos, se ha colocado entrocados.	Puede afectar grandes extensiones de cultivos. El sector de Huacapuy (Camaná) fue gravemente afectado por los desbordes del río Camaná el año 1993.	Se han colocado defensas ribereñas en algunos sectores del río.





Figura 7.11 Quebrada Pescadores: Todos los años acarrea huaicos y obstruye vía en el km 755 de la carretera Panamericana Sur.



Figura 7.12 Caída de rocas en el km 766 de la carretera Panamericana Sur, sector La Planchada, distrito de Atico.

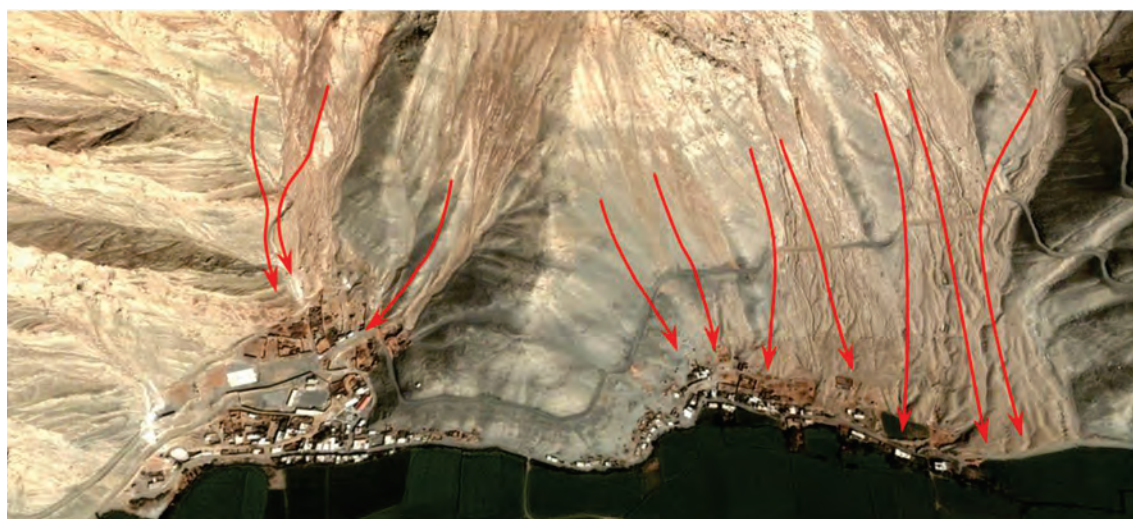


Figura 7.13 Zona de huaicos en el sector Pueblo Viejo. Con flechas rojas, se indica la dirección de antiguas ocurrencias de huaicos. Imagen Google Earth.





Fotografía 7.2 Vista donde se observa que el poblado de Urasqui se encuentra sobre depósito de flujo.



Figura 7.14 Zona de huaicos en el poblado Urasqui y alrededores. Con flechas rojas, se indica la dirección de antiguas ocurrencias de huaicos. Imagen Google Earth.



Fotografía 7.3 Vista panorámica donde se observa que el poblado de Secocha está asentado sobre depósito de flujo de detritos en forma de abanico.





Figura 7.15 Crecimiento urbanístico de Secocha (2004-2009) sobre depósitos de antiguos huaicos. Imagen Google Earth.



Figura 7.16 A) Vista aguas arriba del río Camaná: frente a la quebrada Puluviñas; área susceptible a inundación con avenidas estacionales. B) Erosión en el río Camaná en la margen izquierda frente a Cardos. Se distingue el enrocado colocado en este sector.



Fotografía 7.4 Sector Quebrada Molles en su desembocadura en el río Camaná. En época de crecida, podría afectar viviendas del poblado de Soccco.

**Cuadro 7.3**  
**Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Condesuyos**

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
25. Iquipi (Río Grande)	Área sujeta a derrumbes, caída de rocas y flujo de detritos. La susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en el flanco oeste del cerro Iquipi es muy alta. Talud rocoso fracturado y muy meteorizado de pendiente fuerte con ausencia de vegetación y presencia de taludes de detritos con bloques menores a 0.5 m suspendidos a media ladera, por encima del poblado de Iquipi (fotografía 7.5 y figura 7.17). En caso de lluvias, se pueden generar huaicos.	Podría afectar viviendas de Iquipi y carreteras en caso de sismos o lluvias intensas.	La zona no es apta para asentamiento poblacional y expansión urbana. Elaborar plan de contingencia ante huaicos. Reubicar a la población asentada en la ladera del cerro. No realizar cortes en talud del cerro. Buscar alternativas para reubicar la capital de distrito.
26. Anexo Barrera (Yanaquihua)	Área susceptible a la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos). Zona de huaicos en la desembocadura de la quebrada Chaquiloma o Llauc, lugar donde se encuentra asentada la población del anexo Barrera. Se observa materiales de flujos antiguos depositados en forma de abanico. Aún se observan materiales de flujos antiguos depositados en forma de abanico, de aproximadamente 580 m de ancho. El cauce de la quebrada se encuentra colmatado con presencia de material suelto en las laderas superiores (figura 7.18).	Los flujos que se generen en la quebrada Chaquiloma y quebradas afluentes podrían afectar a la población del Anexo Barrera y tierras de cultivo.	Reubicación de viviendas.
27. San Juan de Chorusa (Río Grande)	Área sujeta a flujos de detritos (huaicos). En las quebradas adyacentes al poblado de San Juan de Chorusa, se observa material antrópico suelto de fácil remoción, que ante lluvias excepcionales puede ser removido fácilmente y generar flujos de detritos. También se observa en las laderas depósitos de taludes de detritos de fácil remoción. El poblado San Juan se encuentra asentado sobre un depósito de flujo antiguo (fotografía 7.6 y figura 7.19).	Puede afectar viviendas del poblado San Juan de Chorusa.	Construir muros de atenuación de flujos. Limpieza de cauce. Prohibir la construcción de viviendas cerca del cauce.
28. Vilcane (Chichas)	Área susceptible a la ocurrencia de derrumbes y erosión de laderas. Derrumbes en talud superior, laderas con pendiente fuerte y ausencia de vegetación (figura 7.20).	Afecta a la carretera de accesos al poblado de Chichas (figura 21A). Los flujos que se generen a causa de los derrumbes podrían afectar a los pobladores del sector Vilcane.	Restringir tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas, reforestar el talud, limpieza periódica de las torrenteras de la zona.



Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
29. Yachanguillo (Chichas)	Erosión fluvial. En la zona se observa terrazas aluviales afectadas por erosión fluvial debido a la corriente de agua del río Arma (figura 7.21B y 7.22).	Podría ser afectadas viviendas y tierras de cultivo del sector Yachanguillo asentadas en la margen derecha del río Arma.	No construir viviendas en la ribera del río Arma.
30. Santa Catalina (Chichas)	Erosión fluvial. En la zona, se observa terrazas aluviales afectadas por erosión fluvial debido a la corriente de agua del río Arma.	Podría ser afectadas viviendas y tierras de cultivo del sector Santa Catalina asentadas en la margen derecha del río Arma.	No construir viviendas en la ribera del río Arma.
31. Chichas (Chichas)	Flujos de detritos (huaicos). En la desembocadura de la quebrada Añavilca, lugar donde se encuentra asentada la población de Chichas, se observa materiales de flujos antiguos depositados en forma de abanico (fotografía 7.7 y figura 7.23).	Los flujos que se generen en la quebrada Añavilca y quebradas afluentes podrían afectar directamente la población de Chichas y tierras de cultivo.	No permitir la expansión urbana. Elaborar plan de contingencia ante Huaicos.
32. Viray (Iray)	Flujo de detritos (huaicos). Hualco excepcional, con presencia de asentamiento de aproximadamente 20 cm de la carretera, que produjo la pérdida del asfalto de la carretera y dificulta el tránsito de vehículos.	Produce la pérdida de 150 m de asfalto de la carretera de acceso a Chuquibamba.	Es necesaria la construcción de un badén. Forestar laderas.



Fotografía 7.5 Canchales de detritos en talud superior, encima del poblado de Iquipi.

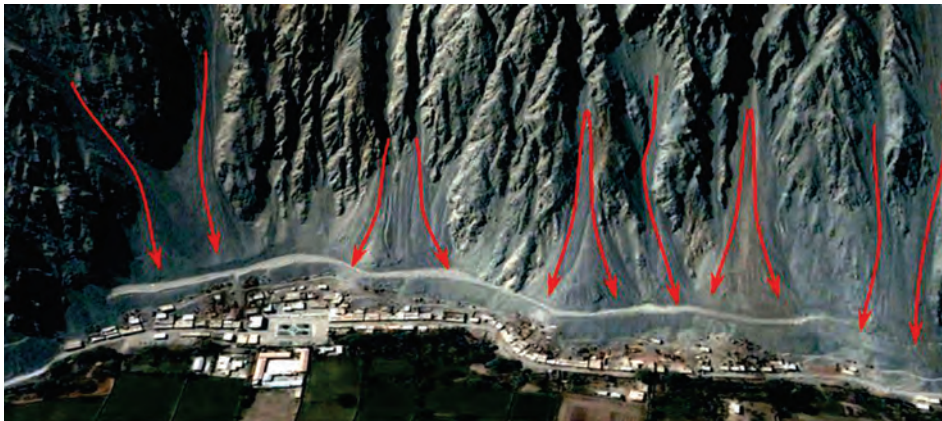


Figura 7.17 Zona de hualcos y caída de rocas en el poblado Iquipi y alrededores. Las flechas rojas indican la dirección de hualcos. Imagen Google Earth.



Figura 7.18 El poblado Barrera se ubica sobre un hualco antiguo. Las flechas de color rojo indican la dirección de este flujo. Imagen Google Earth.





Fotografía 7.6 Poblado de San Juan de Chorunga asentado sobre depósitos de flujos de detritos en forma de abanicos.



Figura 7.19 El poblado San Juan de Chorunga se ubica sobre un flujo antiguo. Las flechas rojas indican la dirección de estos huaicos. Imagen Google Earth.

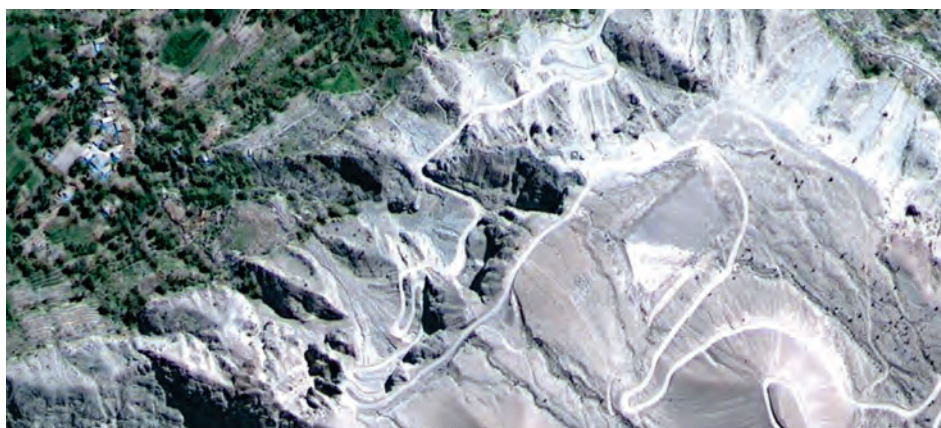


Figura 7.20 Presencia de huaicos, derrumbes y cárcavas en el sector Vilcane. Imagen Google Earth.





Figura 7.21 A) Carretera a Chichas-Yachanguillo, a la altura del Km 7+120 afectada por derrumbes y huaicos. Se observa el sustrato de mala calidad. B) Derrumbes y erosión en cárcavas en el sector Chichas.



Figura 7.22 Se observa procesos de erosión fluvial que podrían afectar viviendas y tierras de cultivo del sector Yachanguillo. Además, se observa ocurrencias de flujos de detritos. Imagen Google Earth Pro.



Fotografía 7.7 Vista aguas abajo del poblado Chichas en la margen derecha del río. En la zona, se observa intensa erosión en cárcavas donde en época de lluvias intensas discurren huaicos a través de ellas.





Figura 7.23 Se observa la población de Chichas asentada sobre depósitos de flujos antiguos provenientes de la quebrada Añavilca. Imagen Google Earth.

**Cuadro 7.4**  
**Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de La Unión**

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
33. Allancay (Quechuala)	Área susceptible a flujo de detritos, movimientos complejos y erosión fluvial. En la zona, se observa terrazas aluviales afectadas por erosión fluvial debido a la corriente de agua del río Sañucanta y quebrada Challallauca. En la zona, también se podrían presentar ocurrencias de derrumbes y deslizamientos producto de la erosión fluvial y el mal uso del sistema de riego para cultivos (figura 7.24).	Afectaría viviendas y tierras de cultivo del sector Allancay.	La zona no es apta para asentamiento poblacional. Restringir construcción de viviendas. Para los terrenos de cultivo, usar riego tecnificado.
34. Carretera Andamarca-Charcana (Charcana)	Área susceptible a erosión de ladera, caída de rocas y derrumbes. Talud rocoso fracturado, conformado por substrato de mala calidad conformado por intercalación de limoarcillitas abigarradas, presencia de yeso y sal; de pendiente muy fuerte y vegetación nula. Con presencia de depósitos coluvio-deluviales. Longitud de arranque de 1600 m de longitud, altura de 100 m, bloques aislados menores a 2 m. Los factores desencadenantes son las precipitaciones pluviales y sismos (fotografía 7.8).	Afecta tramo de carretera (1000 m) afirmada ubicada entre los poblados de Andamarca y Charcana.	Construir muros de contención. Colocar mallas metálicas con pernos anclados para estabilizar talud. Restringir el tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas.
35. Huarhua (Pampamarca)	Deslizamiento y erosión en cárcava. El poblado de Huarhua se asienta sobre el depósito coluvio-deluvial afectado por erosión en cárcava (figura 7.25).	El poblado podría ser afectado por erosión en cárcava.	Mantener la zona con cobertura vegetal. Restringir construcción de viviendas. Para los terrenos de cultivo, usar riego tecnificado. Restringir el acceso de vehículos al poblado de Huarhua durante temporadas de lluvias.
36. Carretera Cotahuasi-Velinga (Toro)	Área sujeta a derrumbes y erosión de laderas. Substrato de mala calidad, conformado por areniscas y lutitas, de pendiente muy fuerte y ausencia de vegetación. Longitud de arranque 1400m, altura de 50m, taludes de detritos menores a 0,4 m (fotografía 7.9).	Afecta la carretera de acceso entre los poblados de Cotahuasi y Velinga.	En temporadas de lluvias, se debe restringir el tránsito de vehículos. Cambiar trazo de carretera.
37. Chacaylla (Cotahuasi)	Derrumbes, flujo de detritos y erosión en cárcava. La susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en el flanco oeste de cerro Huíñao es muy alta. Los detonantes podrían ser precipitaciones pluviales excepcionales. Longitud de arranque de 800 m, con presencia de canchales de detritos y bloques menores a 2 m de diámetro. En la actualidad, en la ladera del cerro Huíñao, se observan depósitos de derrumbes y depósitos de flujos de detritos antiguos. También se observa erosión en cárcava (figura 7.26).	Puede afectar viviendas de Chacaylla y carretera.	Zona no apta para considerar como zona de ampliación urbanística. Prohibir la construcción de viviendas.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
38. Urbanización "Pampa de Aymaña" III Etapa (Cotahuasi)	Derrumbes, erosión en cárcava y fluvial. En la zona, las condiciones intrínsecas del terreno: morfología, pendiente, naturaleza de los materiales, ausencia o escasez de vegetación, socavamiento del pie de talud (dinámica fluvial), entre otros, condicionan que las laderas del valle cañón formada por el río Cotahuasi sean de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Figura 7.27).	Pueden ser afectadas las viviendas de la urbanización "Pampa de Aymaña" III Etapa.	Prohibir la expansión de viviendas en la urbanización "Pampa de Aymaña" III Etapa. Forestar con especies forestales nativas el borde del valle cañón y las zonas accesibles de la zona de derrumbe y cárcavas. Forestar con especies forestales nativas el borde del valle cañón y las zonas accesibles de la zona de derrumbe y cárcavas.
39. Carretera Cotahuasi-Chuquibamba, Km 8+100 (Cotahuasi)	Zona susceptible a derrumbes y caída de rocas. Substrato de mala calidad susceptible a ser removido, conformado de cuarcitas, cuarzoarenitas y areniscas de pendiente muy fuerte, terreno de escasa vegetación y corte artificial de talud (fotografía 7.10 y figura 7.28). Con longitud de arranque de 350 m con altura de 70 m, taludes de detritos de menos de 1m. Los factores desencadenantes son las lluvias excepcionales.	Derrumbe afecta carretera de acceso a Cotahuasi y Chuquibamba. Con lluvias excepcionales podría generarse flujos y afectar viviendas que se encuentran en la parte baja de la quebrada.	Desquinchar rocas sueltas. Restringir el tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas. Estabilizar talud o buscar alternativas para modificar el trazo de la carretera.
40. Carretera a Puyca -Alca (Puyca)	Derrumbes y caídas de rocas. Las causas son: substrato de mala calidad, conformado por conglomerados y aglomerados; pendiente del terreno fuerte; escasa presencia de cobertura vegetal; corte de talud para construcción de carretera. Los factores desencadenantes pueden ser las lluvias excepcionales o sismos (figura 7.29).	Afecta el tramo de carretera de acceso entre los pueblos de Puyca y Alca.	Desquinchar rocas sueltas. Restringir el tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas. Estabilizar talud o buscar alternativas para modificar el trazo de la carretera. Mantener reforestado con especies nativas.

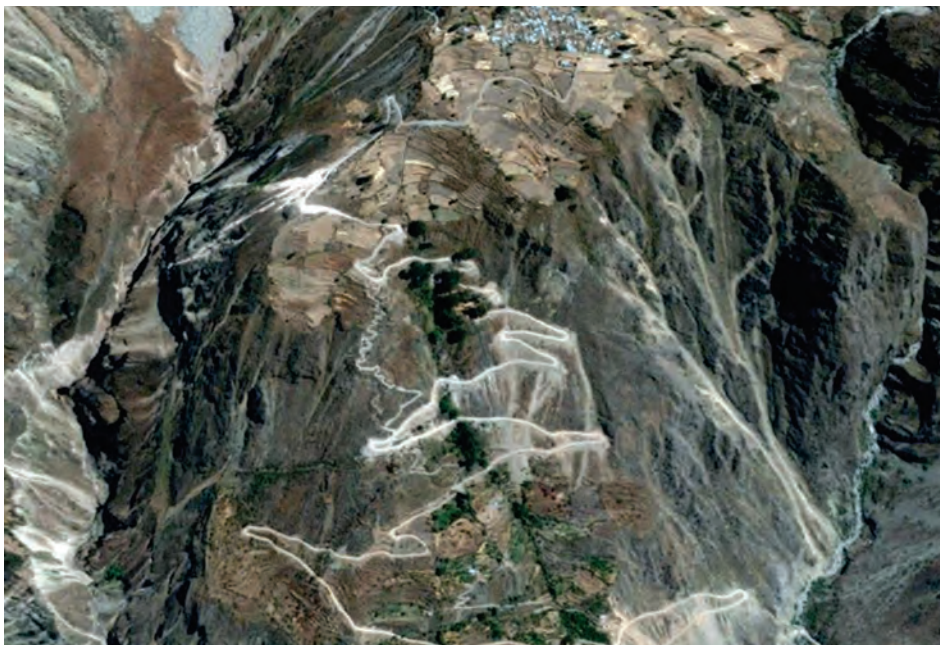




**Figura 7.24** Se observa que la población de Allancay está asentada entre el río Sañucanta y la quebrada Challallauca. Imagen Google Earth.



**Fotografía 7.8** Talud de pendiente muy escarpada con sustrato rocoso muy fracturado y meteorizado, susceptible a la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes en talud superior de la carretera Andamarca-Charcana.



**Figura 7.25** Poblado de Huarhua asentado sobre depósito coluvio-deluvial susceptible a proceso de erosión en cárcava y deslizamientos. También se observa carreta de acceso que podría ser afectada por derrumbes. Imagen Google Earth.





Fotografía 7.9 Tramo de carretera de acceso entre los poblados de Cotahuasi y Velinga susceptible a la ocurrencia de derrumbes, flujos y cárcavas en periodo lluvioso.



Figura 7.26 En sector de Chacaylla, se observan viviendas sobre antiguos depósitos de flujos de detritos con presencia de erosión en cárcava. Imagen Google Earth.



Figura 7.27 Población de la Urbanización Pampa de Aymaña III Etapa, ubicada en la margen izquierda de río Cotahuasi. Además, se observa la ribera del río, susceptible a pequeños derrumbes, erosión en cárcava y fluvial. Imagen Google Earth.





Fotografía 7.10 Zona de derrumbes en el tramo de carretera Cotahuasi-Chuquibamba, Km 8+100.



Figura 7.28 Carretera de acceso entre Cotahuasi y Chuquibamba (Km 8+100) afectada y susceptible a derrumbes por corte de talud para su construcción. Imagen Google Earth.



Figura 7.29 Tramo de carretera de acceso al poblado Puyca con muy alta susceptibilidad a derrumbes y caídas de rocas. Imagen Google Earth.

**Cuadro 7.5**  
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Castilla

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
41. Collagla (Orcopampa)	Flujo de detritos, derrumbes. Flujo de detritos de gran magnitud que bajo de la quebrada de Secque, depositó un abanico en su desembocadura al río Huancarama. Asimismo, parte del material se encausó y discurrió por el río Huancarama donde actualmente este material formó una terraza que aparece de manera discontinua en el cauce. Ancho de la quebrada de Secque es de 10 m.	Podría afectar la bocatoma de la central hidroeléctrica. Huancarama, que se ubica cerca de la quebrada y cortar el tránsito de la carretera.	Encauzar la quebrada Secque.
42. Quebrada Tarcapata -Chapacoco (Chilcaymarca)	Flujo de detritos. Quebrada que acarrea flujos de manera excepcional, depósitos de forma de abanicos, conformados por material grueso heterogéneo. Sobre este depósito, se encuentra asentado el poblado de Chapacoco (fotografía 7.11). Otros flujos menores en la ladera del cerro Huiscatoni.	De producirse un nuevo flujo, puede afectar viviendas del poblado de Chapacoco y la carretera.	Canalización del cauce principal de la quebrada.
43. Ladera cerro Pichihua, carretera Orcopampa-Andahua (Andagua)	Zona de flujos de detritos. Torreteras secas que acarrear flujos en periodo de lluvias excepcionales. Depósitos con forma de conos, conformados por material grueso, obstruyen unos 500 m de carretera (figura 7.30). Pueden tapar bocatoma de canal de riego que va a Andahua.	Colmatación y posible destrucción de bocatoma de canal afectan periódicamente tramos de carretera Orcopampa – Andahua (500 metros).	Forestar laderas, canalizar quebradas o torreteras para paso de flujos.
44. Ladera Cerro Jollevíra (Chachas) (Yauca)	Erosión de laderas, movimiento complejo, derrumbes y deslizamientos. Deslizamientos traslacionales y derrumbes en la margen izquierda del río Challahuire, con represamiento parcial, originaron desembalse violento y erosionaron carretera y puente hacia Chachas. Colmatación del cauce del río está produciendo colmatación de laguna de Chachas.	Afectó tramo de carretera Andahua-Chachas.	Control de erosión de cárcavas.
45. Huanco (Pampacolca)	Flujo de detritos, derrumbe, erosión de laderas. Quebrada por donde discurren flujos, el año 2006 bajo un huaiuco que duró aproximadamente 3 horas, afectó carretera y 2 viviendas. Se evidencia intensa erosión en surcos y cárcavas en las cabeceras de la quebrada.	Afecta 25 m de la carretera San Antonio – Pampacolca. Ya hubo dos viviendas afectadas.	Mantener limpio el cauce de la quebrada, evitar la construcción de viviendas cerca y en la quebrada.

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
46. Ladera NE del cerro Lomas de Mamas (Tipan)	Caída de rocas, erosión de laderas, Flujo de detritos (huaicos). Tramo de carretera de 5 km, que da acceso al poblado de Tipán y Viraco, afectado por huaicos, derrumbes y erosión en cárcavas que interrumpen el tránsito- Estos se presentan con lluvias ocasionales a excepcionales.	El tránsito se ve interrumpido con la caída de un hualco, o por derrumbes de la carretera, por tramos.	Realizar trabajos de limpieza de los taludes y construcción de badenes que posibiliten un paso de flujos sin afectar la carretera.
47. Lomas de Mamas (Unon/Tipan)	Erosión en cárcavas y huaicos. Ladera de fuerte pendiente, que se encuentra disectada por una intensa erosión en cárcavas, forma unas torrenteras, por las cuales discurren huaicos, que cortan 3 desarrollos de la carretera a Viraco, trazados en la ladera (figura 7.31).	Puede afectar aproximadamente 1 km de carretera, en los tramos que corta los tres desarrollos de la carretera.	Colocar badenes, rellenar tramos de la carretera afectados por la erosión y los flujos.
48. Loma Mamas (Tipan)	Derrumbes, caída de rocas y de detritos, erosión en cárcavas y huaicos.	Afecta tres desarrollos de la carretera a Viraco, en una extensión de 1,5 km, por tramos.	Construir badenes.
49. Quebrada Andamayo-quebrada Puente Viejo (Aplao/Tipan)	Flujo de detritos, deslizamiento. Quebradas que en periodos de lluvia acarrean huaicos de grandes magnitudes, que cortan el tránsito hacia Tipan y Viraco (fotografía 7.12). Deslizamiento de unos 300 m de ancho de escarpa, 250 m de alto, produjo el asentamiento de 1 m aproximadamente de la carretera. El deslizamiento compromete un substrato de limonitas rojas y arcillitas, poco compactas.	Afectó tramo de unos 500 m de carretera, que hizo necesario cambio en el trazo por los asentamientos sufridos. Afecto una vivienda.	Monitoreo del deslizamiento, construcción de baden.
50. Andamayo, ladera del cerro Andamayo, quebrada Higerayoc (Unon/Tipan)	Flujo de detritos (huaicos), erosión de laderas y derrumbes. Tramo de unos 10 km de la carretera de acceso a los distritos de Tipan y Viraco se encuentra cortado por cárcavas, torrenteras y quebradas que acarrean huaicos de manera ocasional a excepcional. Talud de carretera en algunos sectores inestable, desde donde se producen derrumbes (figura 7.32). Esta zona, por ser árida, y debido a la acumulación de material por efectos de meteorización y derrumbes, es afectada por flujos cuando se presentan lluvias, que la sobresaturan y permiten su movilidad al hacerlos fluidos. La zona se presenta intransitable en esos periodos.	Puede producir la interrupción total del tránsito de vehículos hacia Viraco y Tipan.	Construcción de badenes, desquinchado de taludes.
51. Quebrada Cosos (Aplao)	Flujos de detritos (huaicos) y derrumbes. Quebrada que acarrea flujos de manera excepcional, formación de conos de talud en las cabeceras. Estos materiales sueltos se sobresaturan y son movilizados, cuando se producen lluvias excepcionales. Depósito proluvial forma un abanico que alcanza los 2100 m de ancho máximo en la parte distal.	Corta 100 m de la carretera Aplao al desvío Chuquibamba – Viraco, en dos tramos.	Limpieza de cauce, mantenimiento de badén.



Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
52. Huatiapilla, quebrada Ongoro (Aplao)	Flujo de detritos, derrumbes y caída de rocas. Derrumbes y caídas de rocas en las cabeceras y márgenes de las laderas de las quebradas, formación de conos de talud, aportes de flujos desde torrenteras tributarias. El material suelto es removido por escorrentías superficiales de lluvias excepcionales, a manera de huaicos que cortan tramo de la carretera hacia Viraco. Huaico que discurre por torrentera tributaria de la quebrada Ongoro ha depositado un abanico proluvial, en donde actualmente se encuentra asentado el poblado de Huatiapilla.	Afecta 300 m de carretera y terrenos de cultivo y viviendas de Huatiapilla.	Realizar trabajos de limpieza de cauce, construcción y mantenimiento de badenes.
53. Aplao (Aplao)	Flujo de detritos, caída de rocas, derrumbes. Ladera de cerro de alta pendiente forma un acantilado en la cima, desde donde se produce la caída de rocas y detritos. Este material suelto es posteriormente acarreado por escorrentías superficiales a manera de huaicos, con lluvias excepcionales. El poblado de Aplao se encuentra asentado sobre este abanico proluvial (fotografía 7.13 y figura 7.33). Las caídas de rocas desde el talud superior se producen por efectos del viento y por sismos, como el ocurrido el 9 de julio del 2008 a las 3:40 am, donde según relatos de los pobladores, era posible escuchar fuertes sonidos producidos por el golpe de bloques caídos.	Pueden ser afectadas viviendas del poblado de Aplao.	Encausar y darle libre paso a los flujos que se pueden formar en la ladera.
54. Cerro Huancarqui (Huancarqui)	Zona de derrumbes en el talud superior de carretera, de unos 25 a 30 m de alto, a lo largo de unos 500 m, desde la salida del puente que conduce de Aplao a Huancarqui. Los taludes de corte son verticales y se presentan con fracturas abiertas de hasta 5 cm. Bloques colgados inestables en el talud comprometen una secuencia de aglomerados muy deleznable (fotografía 7.14).	La caída de rocas puede obstruir el tránsito e incluso aplastar un vehículo.	Realizar trabajos de limpieza de la carretera. Desquinche de taludes inestables
55. Recodo Cerro (Huancarqui)	Zona de derrumbes, talud de corte de carretera vertical de unos 30 m de alto y 900 m de longitud. Presencia de grietas en el talud con aberturas de hasta 15 cm. Material caído depositado al pie del talud superior de carretera. Es posible encontrar bloques de hasta 7 m de longitud (fotografía 7.15).	Obstrucción de la carretera y vehículos pueden ser aplastados por bloques que caen.	Eliminar material derrumbado y zonas que han quedado inestables (desquinche).

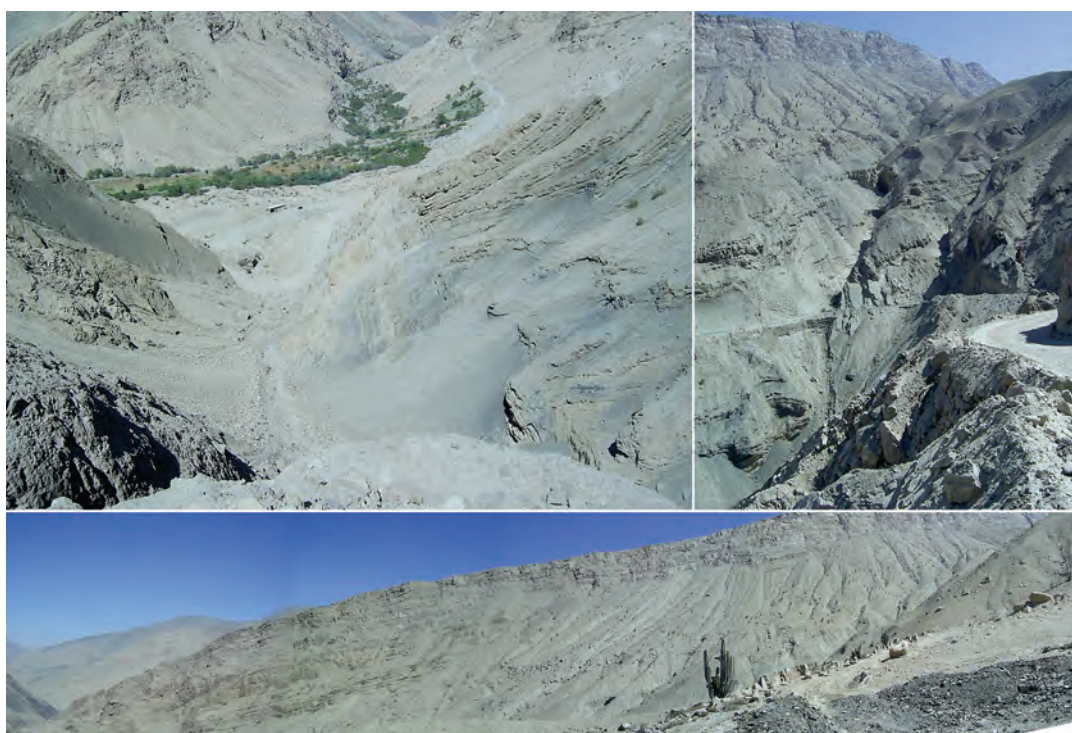
Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
56. Torán-Quiscay (Aplao/Huancarqui)	Inundación-erosión fluvial: terrazas inundables en ambas márgenes del río Majes a lo largo de unos 41 km del valle (fotografía 7.16).	Los desbordes del río Camaná afectaron: 1) Torán-Pampa Blanca: en terrenos de cultivo y destruyeron la hacienda Las Palmas. 2) Sarcas-El Granado: pueden afectar terrenos de cultivo. 3) Punta Colorada (Corire): zona inundable, si se presentan fuertes avenidas, afectan terrenos de cultivo. 4) En Collón, pueden afectar terrenos de cultivo por desbordes del río Majes. 5) Querulpa Grande: erosión en la margen derecha del río Majes afectó terrenos de cultivo. 6) La Cabecera-Los Puros: avenidas extraordinarias pueden causar el desborde del río que afectaría terrenos de cultivo. 7) La Laja: desbordes afectan terrenos de cultivo. 8) Puente Huancarqui-Aplao: avenidas extraordinarias afectaron terrenos de cultivo, viviendas rurales y dañaron el puente Huancarqui.	Se han colocado defensas ribereñas en algunos sectores del río.
57. Caspani Km 61+000 de la carretera Corire-Aplao (Aplao)	Flujo de detritos (huaico). Se observa presencia de material suelto depositado al pie de las márgenes que provienen de derrumbes, el cual es acarreado con lluvias excepcionales, con presencia de bolones de hasta 3 m de diámetro. Es evidente también la expansión de viviendas hacia la parte alta de la torrentera, las cuales pueden ser afectadas por nuevos hualcos.	<b>Nuevos flujos pueden afectar viviendas</b> construidas sobre el hualco.	Detener la expansión de viviendas hacia las partes altas de la torrentera. Encausar la torrentera.
58. Choco (Choco)	Flujo de detritos excepcional. Poblado ubicado en la confluencia de los ríos Chaliza y Cusca. Gran cuenca de recepción en el río Chaliza en cuyas cabeceras se producen avalanchas de detritos y caída de rocas asociados a zonas periglaciares.	Compromete poblado de Choco y zona de mineros artesanales en la parte superior.	Bosque de protección con plantas nativas para <b>protección ante flujos de detritos excepcionales, que acompañe a las defensas ribereñas en ambos ríos o quebradas que cruzan el pueblo.</b>
59. Jello Jello-Ayo (Ayo)	Flujos de detritos excepcionales. Vertiente deluvial afectada por erosión en cárcavas y flujos de detritos. Se distinguen hasta siete conos o abanicos de flujos, uno de los cuales es de mayor magnitud.	Afecta zona de andenerías prehispánicas en un tramo de 6,5 km de longitud. Flujos pueden comprometer también carretera Andahua-Ayo.	Restauración de zona arqueológica, que necesita encauzamiento de quebradas y cárcavas y forestación de laderas.
60. Cerro Carigua, río Colca frente a Ayo (Filayoc)	Derrumbes y deslizamientos. Derrumbe ocurrido en 1997; se estimó $\pm$ 200-250 m de longitud de dique de embalse y 45-50 m de altura y 2 millones de m <sup>3</sup> de material caído. Zona plegada y fracturada, muy inestable (fotografía 7.17).	Un nuevo represamiento podría comprometer aguas abajo zonas bajas adyacentes al río Majes.	Monitoreo del lugar, que permita tener un sistema de alerta.



**Fotografía 7.11** Sector en la quebrada Tarcapata – Chapacoco. Flujo excepcional podría afectar al poblado de Chapacoco y a la carretera a Orcopampa.



**Figura 7.30** Laderas del cerro Pichihua con erosión en cárcavas y flujos de detritos que afectan periódicamente un tramo de la carretera Andahua-Orcopampa.



**Figura 7.31** Erosión de laderas que han afectado un tramo de carretera en más de un kilómetro en el sector Lomas de Mamas.





**Fotografía 7.12** Vista del sector de Andamayo. Cárcavas y canales que se activan con lluvias y afectan un tramo de la carretera de acceso a Tipan y Viraco.



**Figura 7.32** Sector de Andamayo. Tramo de carretera de acceso a Tipan y Viraco que en épocas de lluvia es intransitable.





Fotografía 7.13 Viviendas de Aplao se ubican sobre un abanico por donde constantemente cae material de las laderas superiores.



Figura 7.33 Viviendas de Aplao, Casquina y Cosos asentadas en material proluvial que en épocas de precipitaciones fuertes pueden resultar afectadas en la margen derecha del río Majes. Imagen Google Earth.



**Fotografía 7.14** Derrumbes del Cerro Huancarqui afectan aproximadamente 500 m de carretera desde la salida del puente de Aplao.



**Fotografía 7.15** Derrumbes y agrietamientos en el sector Recodo Cerro que afectan la carretera Aplao – Huancarqui.





Fotografía 7.16 Área susceptible a erosión e inundación fluvial del río Majes entre Caspini y Querulpa.



Fotografía 7.17 Vista aguas abajo del río Colca frente a Ayo. Se aprecia parte del material caído por un derrumbe del cerro Filayoc, margen izquierda, que represó el río Colca y su afluente Ayo (A): Laderas con fuerte pendiente, con secuencias del Grupo Yura muy plegadas y fracturadas que caracterizan la inestabilidad del lugar con sismos o fuertes lluvias.

**Cuadro 7.6**  
**Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Caylloma**

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
61. Quebrada Mulapampa (Huambo)	Flujo de detritos (huaico), derrumbes. Quebrada con material gravo-arenoso en el cauce. Presencia de barro en puente vehicular posiblemente provenga de un flujo que rebasó la luz de unos 15 m del puente (figura 7.34). En la parte alta de la quebrada, se observa colmatación de cauce con material gravo-arenoso. Derrumbe desde la margen derecha de la quebrada, que la obstruye con bloques de hasta 5 m de longitud.	Puede afectar puente vehicular y tramo del canal Majes que cruza la quebrada aguas abajo por medio de tuberías.	Realizar trabajos de descolmatación del cauce de las cabeceras de la quebrada.
62. Quebrada Pahuana (Huambo)	Área sujeta a flujo de detritos, erosión fluvial. Quebrada por donde discurren flujos de detritos (huaicos). El último evento acarreo material arcillo-gravoso, que rebasó la capacidad de la alcantarilla, construida para posibilitar el paso de flujos, ya que el canal de Majes cruza esta quebrada. Material del flujo colmató el cauce, afectó bocatomas de canales de riego, y produjo erosión de puente carrozable.	Puede afectar el canal Majes y el puente carrozable.	Realizar trabajos de limpieza y descolmatación de la quebrada, para que posteriores flujos puedan discurrir sin obstáculos, y reduzcan de este modo en algo la posibilidad de atoros en la alcantarilla. Ver posibilidad de aumentar la longitud de alcantarillas.
63. Cabanaconde (Cabanaconde)	Área sujeta a flujo de detritos, derrumbes, deslizamiento, movimiento complejo y erosión de laderas. Ladera del cerro Chigri disectada por cárcavas las cuales confluyen en una principal. Por la cárcava principal, discurren flujos de gran magnitud, que dejan depósitos proluviales de forma de abanico. Dentro del material removido, se tienen bloques que alcanzan los 10 m de longitud (fotografía 7.18).	Afecta terrenos de cultivo y puede afectar viviendas construidas en el material proluvial, así como también tramo de la carretera en varios desarrollos.	Es necesaria la construcción de badenes en la carretera.
64. Aji (Cabanaconde/ Choco)	Zona de derrumbes. Derrumbes en depósito de material removido antiguo, que produce la pérdida de terrenos. La zona se presenta inestable, por la socavación o erosión fluvial sufrida en la base del depósito antiguo. Constantes caídas de material hacia la quebrada, con formación de conos. Viviendas del poblado de Aji han sido reubicadas (figura 7.35).	Pérdida de terrenos de cultivo. Pueden resultar afectadas las viviendas que se ubican cerca del derrumbe.	Restringir el tránsito de personas y animales por la zona inestable, no construir viviendas cerca del derrumbe. Viviendas del poblado de Aji han sido reubicadas.



Continuación...				
Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones	
65. Quebrada Huayuray (Cabanaconde)	Flujo de detritos, deslizamiento rotacional. Cauce de la quebrada de unos 60 m de ancho, con material gravo arenoso. Existe badén de mampostería de piedra para proteger el paso de hualcos al canal Majes; que en este tramo es cubierto. En 1994, bajo un lahár, es posible observar el material removido en las terrazas ubicadas en las márgenes de la quebrada. El deslizamiento rotacional en la margen izquierda de la quebrada frente a afloramiento de agua termal puede represar la quebrada y generar un flujo por rompimiento del dique.	Puede afectar tramo de unos 60 m, del canal Majes que atraviesa esta quebrada, así como tramo de la carretera Maca-Cabanaconde.	Realizar trabajos de mantenimiento del badén, realizar trabajos de limpieza del cauce de la quebrada.	
66. Lari, Madrigal (Lari/Madrigal)	Procesos de erosión de laderas y deslizamientos rotacionales, activos y antiguos en la margen derecha del río Colca entre Madrigal y Lari (figura 7.36 y fotografía 7.19) afectan por deslizamientos de tipo rotacional. Algunos de estos deslizamientos son antiguos y en ellos es posible observar trabajos de estabilización por medio de la construcción de andenerías. Asentamiento constante del terreno, así como la reactivación en depósitos antiguos. Se observan bofedales y presencia de agua subterránea, en el cuerpo de los deslizamientos. Procesos de erosión en cárcavas en las laderas superiores al poblado de Lari. Deslizamiento reciente con gran afectación de áreas de cultivo, acelerado posteriormente por sismo de Chuquibambá, en julio del 2008.	El avance del deslizamiento produce la pérdida de terrenos de cultivo.	Es imprescindible prohibir la construcción de viviendas en el cuerpo y cerca de la escarpa de los deslizamientos. Realizar trabajos de forestación de las laderas.	
67. Cerro Antahuilque (Cabanaconde/Maca)	Área sujeta a deslizamientos, derrumbes y flujo de detritos. Deslizamiento rotacional antiguo reactivado en el cuerpo. La inestabilidad se produce por la apertura de nueva carretera entre Lari y Maca. Se observan asentamientos en la plataforma de carretera de hasta 1.5 m. El canal de agua revestido de concreto, que pasa por la carretera, ha sido afectado por los asentamientos, y se han producido roturas. El agua de los reboses es conducida hacia el cuerpo del deslizamiento activo, y ha humedecido el terreno, con lo cual ha aumentado el peso de la masa e incrementado la presión de poros, condiciones que hacen muy crítica la zona.	Asentamientos en la plataforma de carretera, que dificultan el tránsito de vehículos, pueden producir la pérdida total de la plataforma de carretera, inclusive la parte superior de la carretera principal entre Maca y Cabanaconde.	Las aguas no deben de ser drenadas hacia el cuerpo del deslizamiento. Canalizar o entubar las aguas que pasan por el canal, y evitar de esta manera su infiltración.	

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
68. Tapay-Malala (Lari)	Derrumbe-flujo de detritos, caída de rocas-flujo de detritos, deslizamiento-flujo de detritos. Caída de rocas desde laderas superiores del poblado de Malala por mecanismo de vuelco. Deslizamiento rotacional antiguo que produjo el asentamiento de la ladera (figura 7.37). Movimiento complejo de gran magnitud dejó depósito de forma alargada, donde se encuentra asentado poblado de Malala. Es posible observar procesos de erosión fluvial en el material removido, que genera derrumbes, por pérdida de soporte en la base del depósito. Bloques inestables y movidos en afloramiento ubicado sobre poblado de Tapay.	Pueden ser afectadas las viviendas de los poblados de Tapay y Malala, así como terrenos de cultivo, pobladores y animales.	Restringir el tránsito por la zona donde se produce la caída de rocas, no construir viviendas cerca de zonas inestables y de derrumbe.
69. Maca (Maca, Achoma)	Presencia de deslizamiento rotacional y procesos de erosión de laderas. Las cárcavas presentan derrumbes en sus márgenes, los cuales aportan material suelto a su cauce, que es acarreado como flujos de detritos (huaicos) en periodos de lluvias excepcionales, que son de pequeña magnitud. Deslizamiento antiguo reactivado, de escarpa de forma elongada, ha causado el asentamiento de la ladera en la margen izquierda del río Colca. Reactivaciones en el cuerpo del deslizamiento antiguo, al lado izquierdo del poblado de Maca. Deslizamiento con avance progresivo desde 1990. Luego de sismo, con características inadecuadas de suelo lacustre y presencia de filtraciones. El deslizamiento de Maca muestra un proceso de remoción complejo con escarpas rectas e irregulares, desplazamientos verticales importantes y empuje del material hacia el río. Su activación afecta periódicamente áreas de cultivo, pastizales, tramo de unos 400 m de la carretera entre Chivay y Cabanaconde y un tramo importante del circuito turístico del cañón del Colca. El avance de los últimos 18 años puede apreciarse en las fotos comparativas de diferentes años (figuras 7.38 al 7.40).	El deslizamiento ha producido la pérdida total de la plataforma de la carretera. Es necesario realizar rellenos para hacer posible el tránsito de vehículos. Entre 1994 y 2008, el asentamiento de la plataforma tiene unos 15-20 m de altura.	Colocar drenajes para evacuar agua subterránea y evitar la formación de bofedales en el cuerpo del deslizamiento antiguo, que producen sobrepeso, aumento de la presión de poros, humedecimiento del material del cuerpo y, por ende, la desestabilización de la masa y formación de reactivaciones. Monitoreo de deslizamiento utilizando interferometría radar y geodésica. Reubicación de una parte del poblado de Maca que se encuentra en zona de peligro geológico no mitigable por movimientos en masa.
70. Lacayaque (Yanque/Coporaque/ Ichupampa)	Deslizamiento rotacional – flujo de tierra. Terreno irregular, con formas cóncavo convexas, asentamientos y movimientos del terreno, formación de terrazetas ("pisadas de vaca") y basculamiento del terreno. Salto principal del deslizamiento de 10 m aproximadamente, ancho de escarpa de unos 1 000 m. Desnivel entre el pie y la escarpa es de unos 150 m.	Afecta terrenos de cultivo y el avance ha afectado tramo de la Carretera entre Chivay – Ichupampa e Ichupampa-Coporaque	Realizar monitoreos continuos, para detectar movimientos en el evento. Evitar el riego por inundación; drenajes superficiales para desviar aguas superficiales encima de la corona de deslizamiento. Se ha efectuado variante del tramo. De evidenciarse movimientos mayores, se debe prohibir el tránsito de vehículos por la zona.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
71. Quebrada Tucullune (Yanque)	Deslizamiento – flujo de detritos. Arietamientos abiertos (15 cm) y 10 m de longitud, en un dique de tierra de reservorio de agua. Se evidencian ondulamientos en el frente del dique. El colapso de la estructura podría generar un flujo que puede afectar viviendas y terrenos de cultivo ubicados aguas abajo.	Pueden ser afectadas viviendas y terrenos de cultivo ubicados aguas abajo si colapsa el reservorio.	Reforzar el dique con muro de contención.
72. La Calera_Pucalloma_Hospedaje El Bosque (Chivay)	Caída de rocas, deslizamiento rotacional y deslizamiento-flujo. Caída de rocas desde acantilado rocoso muy fracturado, bloques inestables y bloques caídos en media ladera. Deslizamiento-flujo, produjo el asentamiento de material desde la parte alta de la ladera. Deslizamiento antiguo en la margen izquierda del río Colca en cuyo cuerpo se construyó el complejo de baños termales de La Calera. Reactivaciones han causado el colapso y pérdida de un mirador ubicado dentro del complejo termal (figura 7.41).	Asentamiento de terreno dentro del complejo turístico Pedregal, con la consecuente pérdida de infraestructura. Caída de rocas sobre vehículos e infraestructura de hospedaje.	Realizar trabajos de reforestación en las laderas con árboles nativos. Necesita estudio hidrogeológico-geotécnico para determinar zonas de filtraciones. Se recomienda construcción de drenes subterráneos.
73. Carretera Tuti-Cabanillas, Bocatoma Tuti (Tuti/Chivay)	Deslizamientos rotacionales, derrumbes y flujo de detritos. Deslizamiento rotacional, escarpe discontinuo de 150 m de longitud, 200 m de altura entre el pie y la escarpa, salto de 4 m. El año 2005, produjo asentamiento de terrenos desde la margen derecha, afectó casa de maestranza de bocatoma de Tuti, también produjo pérdida de terrenos de cultivo (figura 7.42).	Compromete seguridad física de construcciones en la bocatoma de Tuti y terrenos de cultivo.	Reforestar la ladera, construir muro de contención, drenar aguas superficiales fuera de la zona del deslizamiento.
74. Callali (Callali)	Derrumbes y flujos de detritos (huaico). Tramo de 600 m de carretera afectado por derrumbes en el talud superior de la misma. Los cortes realizados para construir la carretera han desestabilizado depósitos aluviales. Cortes en la plataforma de carretera por flujos de detritos que discurren por quebradas (fotografía 7.47).	Los derrumbes y flujos pueden cortar el tránsito en la carretera (Carretera Arequipa-Calloma).	Se deben construir alcantarillas, y en la medida de lo posible realizar desquinchado de los taludes.
75. Quebrada Huacolo (Callali)	Deslizamientos rotacionales y reptación. Escarpas múltiples, de forma irregular-discontinua, superficie rotacional, saltos secundarios de 10 m, movimiento extremadamente lento, progresivo. Produce asentamiento del terreno en la carretera. Terreno irregular con ondulamientos. Procesos de reptación en el cuerpo principal, ondulamientos en la carretera.	Puede producirse la pérdida total de la carretera Callali-Condoroma, así como de las torres de transmisión eléctrica. Afecta pastizales.	Realizar un cambio del trazo de la carretera.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
76. Cocha (Tisco)	Deslizamiento rotacional-flujo de tierra. Ladera afectada por deslizamiento rotacional, cuyo cuerpo se encuentra fluyendo ladera abajo, y provoca el empuje del terreno. Se evidencia la formación de lóbulos en el pie del depósito y la formación de lagunas pequeñas, por afloramientos de agua subterránea.	Produce ondulamientos y deterioro de la única carretera de acceso al distrito de Tisco, en un tramo de 250 m.	Realizar trabajos de nivelado en la carretera para posibilitar el tránsito de vehículos. Drenes para permitir la circulación de agua.
77. Margen derecha del río Challhuanca, Huara Hurto (Yanque)	Área sujeta a erosiones fluviales y flujos de detritos. Se presenta erosión fluvial por la margen derecha del río Challhuanca. La terraza está conformada por gravas y arenas. En tiempos de crecida, esta área es erosionada. A lo largo del acceso al poblado de Challhuanca, se identificaron una serie de flujos de detritos que activan con periodos lluviosos de tipo excepcional.	Por la presencia de lluvias excepcionales afectaría carretera y pastizales.	Colocar muros transversales a las quebradas. Construir badenes a lo largo de la trocha afirmada.
78. Carretera Chivay - Arequipa km 53+000 / Cerro Taco Ancara (Yanque)	Área sujeta a caída de rocas. Se aprecian afloramientos de rocas volcánicas son frente de lava, se encuentran fracturadas y muestran pendiente fuerte, que ante movimientos sísmicos o fuertes precipitaciones pluviales pueden activarse. La zona que puede ser afectada tiene una longitud de 150m, la altura que puede alcanzar la caída de rocas es menor a los 80.m. En el cuerpo del antiguo depósito se observan bloques hasta de 1m (fotografía 7.20).	Afectaría carretera .	Muros de contención.
79. Río Chili - Puente Imata (San Antonio de Chuca)	Área sujeta a inundación fluvial y erosión fluvial. En tiempos de lluvias excepcionales, la llanura se inunda. Las inundaciones se pueden presentar en ambas márgenes del cauce, también se pueden presentar erosiones fluviales (fotografía 7.21).	Fenómeno que podría afectar a puente Imata, terrenos de cultivo y pastizales	Limpieza del cauce antes del periodo lluvioso para evitar la colmatación. Canalizar el río.
80. Vertiente sur de los nevados Ampato y Sabancaya (Lluta)	Flujos de detritos (lahares). Se reconocen varios flujos recientes, probablemente asociados a la última actividad eruptiva del Sabancaya (1986-1990), canalizados en las quebradas, sobre una altiplanicie volcánica (Pampa Jatun Pampa) disectada por varias quebradas (Quellocancha, Jaruma y Yurachuyajo).	Si bien es cierto no existe mucha infraestructura en esta zona, se debe prever su ocurrencia en el caso de proyectos futuros sobre esta área.	Zona no apta para la construcción de obras de infraestructura.



Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
81. Mina de Sal / Quebrada Quishuarmayo (Lluta)	<p>Área sujeta a deslizamientos, erosión de laderas y caídas de rocas. Se observan eventos antiguos y modernos.</p> <p>El deslizamiento que destaca se ubica en la mina El Sol. Se da en capas rojas con niveles de sal, meteorizadas. La escarpa principal tiene una longitud de 350 m. Los agrietamientos de forma paralela y transversal a la escarpa principal tienen aberturas hasta de 10 cm y con profundidades comprobadas hasta de 2 m.</p> <p>El terreno con pendiente moderada y con ausencia de vegetación. Las rocas presentan venillas de sal y yeso, lo que contribuye a un aceleramiento de los movimientos, pues, el yeso al saturarse de agua aumenta su volumen, lo que lo hace inestable. Con las lluvias estacionales, se satura el terreno, que pierde estabilidad. En la parte alta de la quebrada Quishuarmayo, sucedieron dos eventos: un deslizamiento (margen derecha) y una caída de rocas (margen izquierda) que llegaron a represar la quebrada. Se aprecia también antiguos deslizamientos que han llegado a represar la quebrada. En caso de un sismo, es muy probable que se generen caídas de rocas.</p>	<p>Podría afectar camino rural y antiguas labores mineras.</p> <p>También puede ser afectado el canal de regadío.</p> <p>Puede represar la quebrada Quishuarmayo.</p>	<p>Forestar zona.</p> <p>En la zona de la mina de sal, restringir el acceso hacia las labores.</p> <p>No realizar cortes de talud en las zonas inestables.</p> <p>En las zonas de caídas de rocas y por donde discurre el canal de regadío, es recomendable que el canal sea cubierto.</p> <p>Forestar la zona.</p>
82. Huasamayoc/Jesau (Lluta)	<p>Área sujeta a deslizamientos, derrumbes, erosión de laderas y flujos de detritos.</p> <p>Rocas sedimentarias meteorizadas y fracturadas generan suelos potentes e impermeables. En la margen derecha, se observa un deslizamiento de tipo traslacional y en la margen izquierda deslizamientos rotacionales y derrumbes.</p> <p>Los deslizamientos de la margen izquierda se han reactivado, por malas técnicas de regadío y también han influenciado la erosión fluvial del río Lluta (figura 7.44A).</p> <p>También se observó erosión en cárcavas que alimentan la quebrada y generan flujos de detritos.</p>	<p>Afectaría terrenos de cultivo y carretera de acceso a Lluta-Huasamayoc.</p> <p>Puede represar el río Lluta.</p>	<p>Cambiar el sistema de regadío. Realizar sistemas de drenaje en el cuerpo de los deslizamientos activados.</p> <p>No realizar cortes indebidos en el talud.</p> <p>Forestar en las zonas donde se ubican las cárcavas.</p>

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
83. Puente Vasco (Lluta)	<p>Área sujeta a deslizamientos, derrumbes, y erosiones de ladera. Se aprecian antiguos derrumbes que forman canchales, que se han activado por el corte de talud.</p> <p>El deslizamiento ubicado en la margen izquierda del río Pionijma es de tipo rotacional, con escarpa única de forma circular y con longitud de 250 m. En caso de reactivarse, puede represar el río (figura 7.44B y fotografía 7.22).</p> <p>Las erosiones en cárcavas alimentan con material suelto el río y generan flujos de detritos de menores proporciones (fotografía 7.23).</p>	Afecta carretera Huanca-Talla en 4 km.	<p>Realizar medidas correctivas (muros de contención).</p> <p>Mantener constantemente la carretera.</p> <p>No realizar cortes de talud en la zona del deslizamiento.</p> <p>Para las erosiones en cárcavas, colocar muros transversales a su cauce con la finalidad de atenuar su avance.</p> <p>Forestar.</p>
84. Cerro Cantera / Santuario del Señor de Huanca / Río Lihuala, Caylloma (Huanca)	<p>Área sujeta a deslizamientos, caídas de rocas y flujo de detritos. Se aprecian deslizamientos antiguos y recientes de tipo rotacional y traslacional ubicados en ambas márgenes del río Lihuala.</p> <p>Se presenta un flujo de detritos, que descendió por la quebrada Huaico en la margen derecha y represó el río Lihuala.</p> <p>Deslizamiento rotacional reciente en la margen izquierda del río Lihuala presenta escarpa única de forma circular con longitud de 150 m, desnivel entre escarpa y pie de 50 m. En la margen derecha, sector de Señor de Huanca, se presentan antiguas caídas de rocas, que pueden ser activadas por movimientos sísmicos: se observan bloques aislados con diámetros hasta de 4 m.</p>	Carretera de acceso y al Santuario del Señor de Huanca. Afectaría terrenos de cultivo.	<p>Para la caída de rocas, desatar bloques sueltos.</p> <p>Para la zona de deslizamientos, no irrigar los terrenos por inundación.</p>



**Figura 7.34** Carretera entre Huambo y Alto Sihuas. Derrumbe en la margen izquierda de la quebrada Mulapampa, erosión por el huaico generado aguas abajo.



**Fotografía 7.18** Huaico de gran dimensión que acarrea bloques de hasta 10 m de longitud y que está afectando la carretera que conduce al poblado de Cabanaconde.



**Figura 7.35** Constantes derrumbes en el poblado de Aji por lo que los pobladores han tenido que ser reubicados. Imagen Google Earth.





**Figura 7.36** Vista panorámica de los deslizamientos de Lari y Madrigal en la margen derecha del río Colca. Se distingue con líneas punteadas de color amarillo a las escarpas superiores irregulares. Terrenos escalonados en el material deslizado, con afloramientos de agua y basculamiento del terreno en el pie del deslizamiento. También presenta erosión o socavamiento del río Colca. Imagen Google Earth.

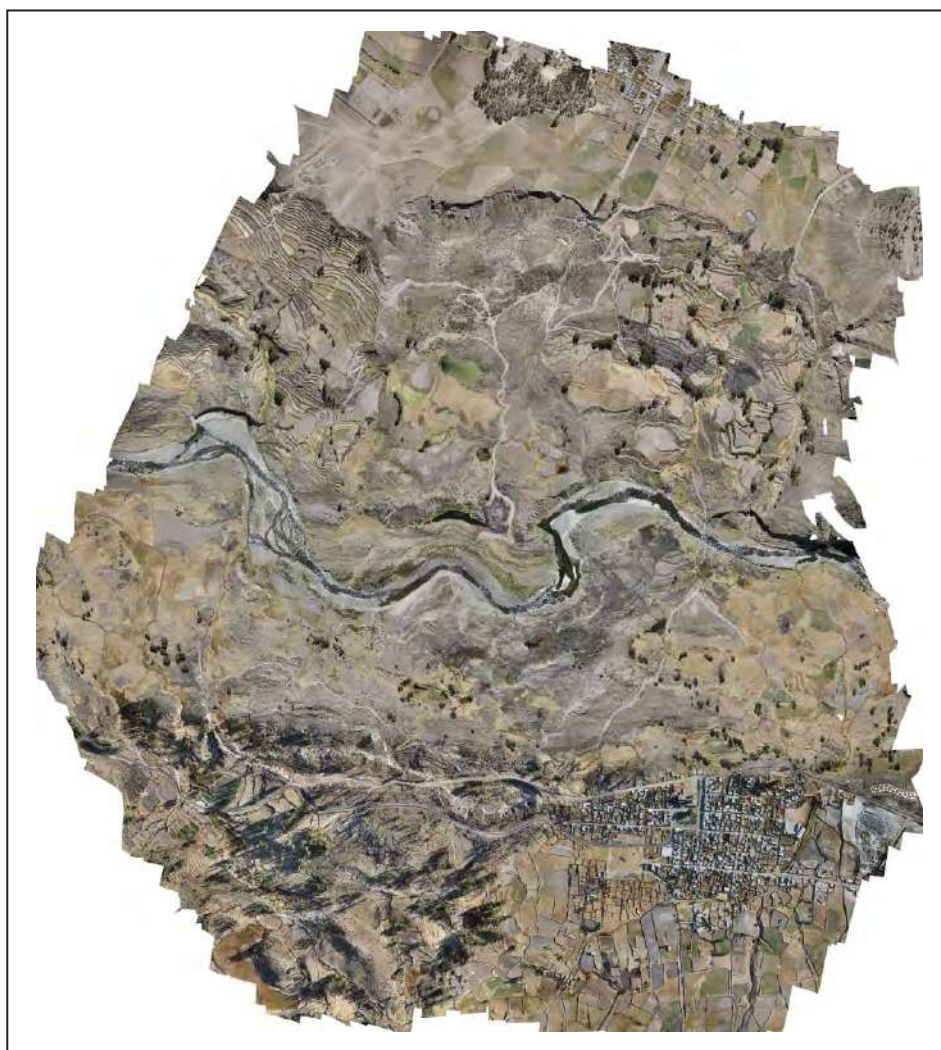


**Fotografía 7.19** Deslizamiento de Madrigal, en la margen derecha del río Colca.





**Figura 7.37** Sector Tapay – Malata, deslizamiento antiguo que produjo el asentamiento de la ladera donde se han ubicado dichos poblados. Además, caída de rocas desde laderas superiores.



**Figura 7.38** Ortomosaico del deslizamiento de Maca.





**Figura 7.39** Deslizamiento rotacional de Maca-Chacaña que afecta al distrito de Maca y la carretera hacia Cabanaconde (arriba). Reactivación de deslizamiento por construcción de carretera entre Maca y Lari (abajo).



**Figura 7.40** Vistas del deslizamiento de Maca-Chacaña.





**Figura 7.41** Vistas panorámicas y de detalle de los sectores de Baños Termales “La Calera”, Pucaloma y Hospedaje el Bosque. Se ven afectados por deslizamientos, caídas de rocas y flujos que afectan la infraestructura del lugar y los vehículos que transitan por la zona.





Figura 7.42 Deslizamiento rotacional que en el año 2005 produjo asentamientos de terrenos afectando la casa de maestranza de la bocatoma de Tuti.



Figura 7.43 Sector de Callalli. Tramo de carretera de unos 600 m que se ve afectado por derrumbes y huaicos.





Fotografía 7.20 Caída de rocas en la carretera Chivay, km 53+000.



Figura 7.44 A) Deslizamiento antiguo en el sector Huasamayoc, aprovechado como terreno de cultivo. B) Deslizamiento en el sector Puente Vasco.



Fotografía 7.21 Área susceptible a erosión fluvial y flujos de detritos en el río Chili Puente Imata.



Fotografía 7.22 Deslizamiento en la quebrada Lisera, margen derecha.



Fotografía 7.23 Erosión en cárcavas en la margen derecha de la quebrada Pichirijm.

Cuadro 7.7

Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Arequipa

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
85. Vitor-La Capilla-La Cano-Frente al Cerro Tacar-Savala-Berenguel (Vitor)	<p>Área susceptible a deslizamientos, flujos de detritos, caídas de rocas y arenamientos.</p> <p>En el área, afloran conglomerados y areniscas conglomerádicas, y limolitas. Se han observado eventos antiguos y recientes.</p> <p>La principal causa de los deslizamientos es la infiltración de aguas de las irrigaciones entre los conglomerados y la secuencia limolítica, lo que hace que pierdan estabilidad los conglomerados. Estos deslizamientos han llegado a hacer variar la dirección del cauce del río. También se presentan deslizamientos antiguos que han llegado a represar al río Vitor (fotografía 7.24).</p> <p>En la margen izquierda del río, se presentan algunos arenamientos que han cubierto el antiguo canal de irrigación y parte el cauce de las quebradas, en una zona de una extensión aproximada de 1000 m. En caso de presentarse lluvias excepcionales, se pueden generar flujos de lodo.</p> <p>Las caídas de rocas se pueden presentar en las escarpas de los antiguos deslizamientos.</p>	<p>Fenómeno afectaría terrenos de cultivo y carretera.</p> <p>El arenamiento llegó a cubrir al antiguo canal de regadío, y lo afectó seriamente.</p> <p>Al ocurrir un movimiento sísmico, podrían afectarse viviendas y camino rural.</p>	<p>Forestar.</p> <p>Monitorear el área.</p> <p>Cambiar el sistema de riego de los terrenos de cultivo.</p> <p>Desatar los bloques sueltos.</p> <p>Para el caso del arenamiento, el canal de regadío debe ser cubierto, y se debe eliminar las arenas que migran hacia los terrenos de cultivo.</p>
86. Pampa Repartición -Carretera La Cano (La Joya)	<p>Área sujeta a arenamiento.</p> <p>Ausencia de vegetación. Vientos en dirección noreste que acarrear partículas de arena, y son depositadas en las planicies, forman dunas aisladas (fotografía 7.25).</p> <p>Las arenas de las dunas están compuestas por partículas de cenizas.</p>	<p>Afecta carretera Panamericana, con invasión de dunas de arena.</p> <p>Este fenómeno se presenta por sectores.</p>	<p>Forestar.</p> <p>Limpieza permanente de las zonas invadidas por la arena.</p>
87. La Joya (La Joya)	<p>Área sujeta a arenamiento.</p> <p>Dinámica edáfica, ausencia de vegetación.</p> <p>Los depósitos edáficos se presentan en forma de mantos de arena y dunas aisladas.</p> <p>Las arenas de las dunas están compuestas por partículas de cenizas.</p>	<p>Afecta la zona urbana, cultivos y obstruye carretera de acceso de la ciudad de La Joya.</p>	<p>Forestar.</p> <p>Limpieza continua de las zonas invadidas por las arenas.</p>



Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
88. Vitor-La Cuesta, Toronta-margen izquierda de la quebrada Gramadal (Vitor)	<p>Área sujeta a deslizamientos, erosión en cárcavas, erosión fluvial y flujos de detritos/lodo, caídas de rocas.</p> <p>Se presentan en ambas márgenes del río Vitor.</p> <p>Para los deslizamientos, la principal causa es la infiltración de aguas de la irrigación La Cano, sustrato permeable conformado por conglomerados, arenas, y limolitas. Se presentan deslizamientos antiguos, de los que destaca el que se ubica entre las quebradas Millo y Quebrada con una escarpa de 2,5 km de longitud y que llegó a represar al río Vitor. Deslizamientos modernos con escarpas no mayores a los 800 m y saltos inferiores a 20 m (fotografías 7.26, 7.27 y 7.28).</p> <p>En los cauces de quebradas afluentes al río Vitor, se aprecia material suelto. Lluvias excepcionales podrían generar flujos de detritos o de lodo. Los antiguos flujos han llegado a represar al río en forma parcial. También se ha observado que en sectores el cauce del río ha cambiado de dirección.</p> <p>Las caídas de rocas se presentan en la margen derecha y pueden afectar viviendas. También se pueden presentar escarpes generados por los deslizamientos. Estos se pueden activar ante la presencia de sismos, lluvias intensas o actividad antrópica.</p>	<p>Los deslizamientos afectan terrenos de cultivo y carretera de acceso.</p> <p><b>De presentar flujos, afectarían viviendas</b> ubicadas en pleno cauce de la quebrada.</p> <p>Las caídas de rocas ubicadas en la margen derecha afectarían terrenos de cultivo y podrían afectar viviendas ubicadas en estas márgenes.</p> <p>También afectarían camino rural, campamento antiguo y torres de alta tensión.</p>	<p>Utilizar otro sistema de riego, forestar.</p> <p>Implementar un sistema de drenaje en la zona.</p> <p>No construir viviendas en las zonas inestables.</p> <p>Monitorear los deslizamientos activos.</p>
89. Margen izquierda del río Vitor (Vitor)	<p>Área sujeta a caída de rocas, derrumbes, erosión de laderas, arenamientos y flujos de detritos o de lodo.</p> <p>Para las caídas de roca, estratos favorables al talud, roca muy fracturada, pendiente moderada a fuerte del terreno, ausencia de vegetación y corte de talud. Rocas con rotura mixta, fracturamientos abiertos de 2 cm. Se observa depósitos en bloques aislados y canchales.</p> <p>En sectores, se observa arenamientos y erosión en cárcavas que alimentan la quebrada.</p>	<p>Evento que afecta carretera de acceso y terrenos de cultivo.</p>	<p>Realizar desquinche de rocas sueltas, aplicar medidas de sostenimiento y forestar.</p>
90. Carretera Arequipa -Uchumayo. Km 17-18 (Uchumayo)	<p>Área sujeta a caída de rocas y derrumbes.</p> <p>Substrato de mala calidad con fracturamiento abierto, diadamas con orientación a favor del talud, pendiente moderada del terreno, corte de talud para carretera, roca conformada por derrames andesíticos.</p> <p>El tramo afectado es de 400 m. Los derrumbes y caídas se presentan con alturas hasta de 10 m (figura 7.45).</p>	<p>Este fenómeno afecta la carretera Uchumayo. En el sismo del año 2001, interrumpió el tránsito vehicular.</p>	<p>Desquincar bloques sueltos, construcción de muros de contención y otras medidas de sostenimiento (mallas de anclaje y concreto lanzado).</p>
91. Casa Blanca (Uchumayo)	<p>Área sujeta a caída de rocas.</p> <p>Las rocas presentan un diclasamiento con orientación favorable a la pendiente. Terreno con pendiente media. Sin vegetación.</p> <p>Otro factor que ha influenciado es el corte de talud de carretera y de canal que ha desestabilizado en parte al talud.</p>	<p>El tramo afectado es una longitud de 1500 m, por sectores. Presenta alturas no mayores a los 40m. También afectaría canal de regadío.</p>	<p>Mantener el sistema de sostenimiento.</p> <p>Desatar bloques sueltos.</p> <p>Forestar.</p>



Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
92. Congala-Estación Huayco (Uchumayo)	Área sujeta a caída de rocas. Causas: substrato de mala calidad, rocas muy fracturadas con orientación desfavorable, pendiente fuerte de terreno, ausencia de vegetación. Ladera conformada por derrames lávicos, con longitud de arranque de 130 m y altura de 30 m. Zona con ocupación antrópica. Se aprecia que las bases de las viviendas están construidas con pircas, lo cual las hace inestable.	Por la presencia de movimientos sísmicos, afectaría 10 viviendas y 200 m de vía férrea.	Forestar. Desquinchar bloques sueltos y medidas de sostenimiento. Mejorar el sistema constructivo de las bases de las viviendas.
93. Cerro Buenavista/ Cerro San Pedro (Tiabaya)	Área sujeta a caída de rocas. En estos cerros, la población ha ocupado las laderas en una forma inadecuada. Han construido sus viviendas con cimientos a base de muros secos (pircas). Las rocas están formadas por intrusos muy fracturados; lo que genera cierta inestabilidad. Se aprecian antiguas caídas de rocas, como depósitos de canchales ocupados por la población. Un flanco del cerro San Pedro, está siendo lotizado para la construcción de viviendas. Se han realizado cortes en el talud, lo que puede generar cierta inestabilidad. En caso de un sismo, es muy posible que se generen caídas de rocas, o derrumbes de los muros secos.	De ocurrir un movimiento sísmico, afectaría las viviendas y camino rural que ocupan los terrenos de estos cerros.	Mejorar el sistema constructivo de las viviendas. No realizar cortes inadecuados de talud. No habitar en zonas inestables como en las zonas de canchales. Para construir viviendas en las laderas de los cerros, deben hacerse estudios puntuales.
94. Carretera Panamericana Antigua, Arequipa- Cerro Verde/ Larribure (Uchumayo)	Área sujeta a caída de rocas y derrumbes. Substrato fracturado con tipo de rotura mixta y abierta. Las fracturas tienen una orientación a favor del talud. Pendiente fuerte del terreno. La zona afectada es de 550 m. Por sectores, presenta alturas de 15 m. El factor que ha influenciado es el corte de talud para la carretera. Los movimientos sísmicos y las intensas precipitaciones pluviales son los factores desencadenantes. En el año 2001, por el sismo, se presentaron caídas de rocas.	Este fenómeno afecta especialmente la carretera Panamericana y obstaculiza el tránsito como lo ocurrido con el sismo del año 2001.	Desquinchar bloques sueltos, aplicar medidas de sostenimiento (muros de contención o mallas de anclaje).
95. Puente La Marina de Socabaya (Socabaya)	Área sujeta a erosión fluvial e inundación. Terrazas conformadas por gravas y bloques englobados en una matriz areno-limoso. Relleno en la margen derecha que ha estrechado el cauce. La longitud que puede ser erosionada es de 425 m. Este fenómeno se puede dar por lluvias ocasionales o de tipo excepcional. En el año 1980, se produjo inundación a raíz de la obturación del puente, se formó una represa y el agua se desbordó por ambas márgenes.	Puede afectar terrenos de cultivo y puente La Marina.	Limpeza del cauce.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
96. Yarabamba (Yarabamba)	Área sujeta a erosión fluvial e inundación. La población de Yarabamba está asentada sobre una zona de confluencia de quebradas; margen derecha sujeta a erosión fluvial (fotografía 7.29). Por la margen derecha, se muestra depósito de material de desmonte, que provoca la reducción del cauce. Esto puede originar colmatación del río e inundaciones por la margen izquierda.	Este fenómeno afectaría puente Yarabamba y terrenos de cultivo.	No arrojar desmonte en las márgenes del cauce del río para evitar la colmatación del río. Construir muros para evitar inundaciones
97. Cerro Pajonal. Carretera a Chapi (Mollebaya)	Área sujeta a caída de rocas, flujos de lodo y erosión de laderas (cárcavas). Se presenta un substrato de mala calidad, conformado por depósitos piroclásticos. Estos terrenos dan pendiente moderada. Los depósitos se activan en tiempos de lluvias, y por sus pequeños cauces se pueden generar flujos de detritos y/o lodo (fotografía 7.30).	La profundización de la erosión afecta la carretera en una longitud de 200 m. y terrenos de cultivo.	Forestar las laderas. Construir cunetas y badenes.
98. Honorio Zevallos Games, río Machahuay (Mollebaya)	Área sujeta a erosión fluvial. Terrazas conformadas por rocas de fácil erosión por la dinámica fluvial del río Machahuay. La longitud que puede ser erosionada es de 350 m. Este fenómeno se presenta en ambas márgenes.	De continuar la erosión, podría afectar la estructura del puente Afecta directamente terrenos de cultivo.	Mejorar el enrocado en la margen derecha y enrocar la margen izquierda del río Machahuay.
99. Mollebaya (Mollebamba/ Characato)	Área sujeta a erosión fluvial y derrumbes. Causas: Naturaleza de suelo, pendiente de terreno, ausencia de vegetación y dinámica fluvial. Planicie donde se observa niveles de terrazas que son erosionados en ambas márgenes donde también se generan derrumbes (fotografía 7.31).	Puede afectar el canal que se encuentra en la margen izquierda y cultivos.	Limpieza del cauce, mejorar los muros de contención.
100. Cerro Quisco (Sabandia)	Área sujeta a erosión de laderas y flujos de detritos. Rocas volcánicas de tipo tobos, de mala calidad y que, ante lluvias, son de fácil erosión. Los terrenos presentan pendiente moderada y están desprovistos de vegetación. Se pueden generar flujos de lodo de menores dimensiones.	Compromete viviendas y terrenos de cultivos.	Forestar. En las zonas acentuadas con erosiones, colocar muros, con el fin de atenuar la erosión.
101. Mosopuquio / Morocancha, Quebrada Canuma (Characato)	Área sujeta a erosión de laderas y flujo de detritos. Quebradas con material susceptible a ser removido, pendiente de las quebradas, terrenos desprovistos de vegetación. Los factores detonantes son las precipitaciones pluviales de tipo ocasional o excepcional. Se muestran antiguos depósitos de detritos. Estas quebradas tienen sus nacientes en el volcán Pichu Pichu. Dentro de los depósitos antiguos, se encuentran asentados los poblados de Mosopuquio y Morocancha. Se observó también erosiones en cárcavas. Estos flujos han tenido recorridos hasta de 5 km.	Afectaría: trocha carrozable de acceso a terrenos de cultivo y viviendas ubicadas próximas a los cauces de la quebrada.	Forestar. Construir badenes en las áreas que cruzan la vía de acceso a la quebrada. No permitir la construcción de viviendas dentro del cauce de las quebradas.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
102. La Calera - Canal Cangallo - Río Andamayo, Paucarpata-Chiguata-Sabandia (Paucarpata)	Área sujeta a derrumbes, erosión de laderas y flujo de detritos. Substrato de mala calidad, ausencia de vegetación, pendiente de terreno, dinámica fluvial. Los factores detonantes son los movimientos sísmicos y precipitaciones pluviales. Se observa derrumbes antiguos ocurridos en la confluencia del río Andamayo y el canal Cangallo, eventos con longitud de arranque hasta de 300 m y altura de 20 m. Las quebradas son alimentadas por erosiones en cárcavas y estas generan flujos de detritos que dejan depósitos que son utilizados como canteras de agregados.	Eventos afectarían tramo de carretera, puente, y cultivo. Puede represar el río Andamayo.	Realizar medidas de sostenimiento, realizar excavaciones con criterio técnico para no inestabilizar el talud. Forestar
103. Miguel Grau - Ciudad Blanca, Paucarpata (Paucarpata)	Área sujeta a flujos de detritos. Causas: Pendiente de terreno, ausencia de vegetación y, como factor detonante, precipitaciones. Quebrada con material suelto antiguo sin indicios de presencia de flujos modernos, utilizada como botaderos de desmonte y residuos sólidos (basura). Se genera erosión antrópica por la presencia de ladrilleras.	De presentarse lluvias excepcionales, podría afectar viviendas que se encuentran situadas en el cauce.	Forestar la zona, canalizar la quebrada y limpiar del cauce.
104. Poblado de Tambo de Sal (Chiguata)	El área está sujeta a la ocurrencia de flujos de detritos durante las temporadas de lluvias ocasionales o excepcionales. En el cauce, se evidencia material suelto compuesto por más del 50% de grueso, proveniente de un evento antiguo sobre el que está asentado el poblado Tambo de Sal. No se observa ningún tipo de vegetación.	Afectaría el poblado de Tambo de Sal, y tramo de carretera San Juan de Tarucani-Chiguata.	Canalizar la quebrada. Reubicar las viviendas ubicadas dentro del cauce de la quebrada. No construir más viviendas en el cauce de la quebrada.
105. La Rinconada, El Mirador, Villa Alto Cenepa, Mariano Bustamante (Miraflores/Mariano Melgar)	Área sujeta a la caída de rocas, erosión de laderas y flujo de detritos. Las rocas son de mala calidad (tobas), presentan una orientación favorable a la pendiente, en cauce de la quebrada se encuentra material de remoción antiguo. En las laderas, se observa ausencia de vegetación. La ciudad de Arequipa sigue su progresivo movimiento de expansión acelerada hacia las cabeceras de las torrenteras sin ninguna planificación urbana y muchas de ellas se encuentran en pleno cauce de estas torrenteras. Caídas de rocas por sectores. Se observan depósitos antiguos de caídas acumulados como canchales, con fragmentos de roca hasta de 0,5 m. También se presenta erosión de laderas. Los fenómenos mencionados aportan material a las torrenteras Venezuela y Los Incas y en caso de lluvias excepcionales pueden generar flujos (figura 7.46). En sectores de la torrentera, se observó canteras que han removido el material del cauce, que es de fácil transporte. Se observó también secuencias de antiguos lahares provenientes del Misti.	Podría afectar viviendas construidas dentro del cauce de la torrentera y en las laderas de los cerros, colegio Didascalio San José.	Forestar la ladera. Mejorar sistema constructivo de viviendas. Canalizar totalmente la torrentera. No construir nuevas viviendas dentro o muy cerca del cauce de la torrentera. Reubicar viviendas que se ubican en el cauce de la torrentera.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
106. Puente Amao-Tahuantinsuyo (Miraflores)	<p>Área sujeta a caída de rocas, derrumbes y flujo de detritos. Roca volcánica, con fracturamiento a favor de la pendiente con pendiente fuerte. Se observó la ausencia de vegetación, y corte de talud que ha desestabilizado el talud. Las fracturas de las rocas son de forma mixta.</p> <p>La zona afectada tiene una longitud de 125 m, su arranque es irregular y discontinuo. La altura que pueden tener las caídas es menor a 20 m en la cabecera de la torrentera Venezuela (ramal 02). También presenta derrumbes por socavación de talud y colapso de viviendas, en el puente Amao, sector San Juan XXIII (figuras 7.47 y 7.48).</p> <p>Se observó bloques sueltos al pie del talud por los trabajos realizados para la instalación de servicios básicos (agua y desagüe). Estos fenómenos se pueden presentar ante movimientos sísmicos o con fuertes precipitaciones pluviales.</p>	<p>Podría afectar a los transeúntes y la carretera obstaculizando el tránsito.</p>	<p>Desquinchar bloques sueltos.</p> <p>Medidas de sostenimiento. Para ello se requiere de estudios más detallados.</p>
107. Torrentera Venezuela, Terminal Pesquero, puente Sepúlveda (Arequipa)	<p>Área sujeta a flujos de detritos y flujo de lodo, erosión fluvial e inundaciones pluviales.</p> <p>La expansión y rehabilitación urbana ha llevado a la desaparición de la torrentera, variándose las dimensiones de su cauce a lo largo de la Av. Venezuela debido a la canalización de esta y la construcción de edificaciones que han reducido el mismo. El 08 de febrero de 2013, en un solo día, se registró 124.5 l/m<sup>2</sup> (SENAMHI), que saturaron los materiales involucrados e incrementaron material al flujo.</p> <p>El material descendió bruscamente por la torrentera Venezuela y se canalizó por un cauce relativamente angosto (ancho promedio de 9 a 3 m, el cual lo rebasó), y arrancó, además, maleza e incorporó el material de desmontes y basura. En algunos sectores, se represó debido a las pequeñas luces de los puentes que cruzan la Av. Venezuela, los cuales fueron obstaculizados por la basura y material acarreado por el flujo (figuras 7.49-7.52). A esto, le sumamos la falta de drenaje pluvial en las calles con pendiente moderada, lo cual incrementó la inundación de los desagües por colapso de buzones.</p>	<p>Afectó el C.C La Negrita y el mercado Don Manuel, el tramo de la Av. Venezuela en aproximadamente 135 m de longitud, al frente de la Facultad de Administración de la UNSA, el terminal pesquero y el mercado El Palomar, viviendas del cuartel Salaverry, tuberías de agua potable, el puente Sepúlveda, el puente Vidal Ranzarra, el puente Vidaurrázaga, y terrenos ENAFER.</p>	<p>Reubicar viviendas aledañas a las riberas de las torrenteras, sobre todo las viviendas ubicadas en la urbanización Juan el Bueno entre las calles Jacinto Ibañez y Vidaurrázaga.</p> <p>Elaborar un proyecto integral de alcantarillado para aguas de lluvias (drenaje pluvial).</p> <p>Limpiar las luces de los puentes, reforestar las cabeceras de las torrenteras. Actualizar catastro de la ciudad de Arequipa, así como un mapa topográfico base a detalle para realizar una buena planificación.</p> <p>Implementar un sistema de alerta temprano (SAT) integrado y sostenible en el tiempo (ubicación de más estaciones pluviométricas).</p> <p>Se debe prohibir la construcción de viviendas en zonas de terreno rellenados (desmonte), expuestas a inundaciones, muy cerca de las márgenes del cauce de las torrenteras.</p>



Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
108. Torretera Los Incas, puente Andrés Avelino Cáceres, puente Ernesto Gunther (Alto Selva Alegre)	<p>Área sujeta a flujos de detritos y flujo de lodo, erosión fluvial e inundaciones pluviales.</p> <p>Como producto de las lluvias excepcionales del 08/02/2013, se produjeron flujos de lodo, desbordes e inundaciones pluviales.</p> <p>Debido al abundante material suelto en la cabecera de la torretera, al arroyo de basura, a los desmontes en el cauce de la torretera y a la reducción del cauce de la torretera de 13 a 4 m aguas abajo, se generaron severos daños en el área urbana de Arequipa. El acarreo de basura y escombros obstruyó las luces de los puentes que cortan esta torretera, lo que originó en muchos sectores desbordes.</p> <p>En los sectores Las Peñas y Solidaridad, el ancho del cauce es de 14.3 m, el cual se encuentra colmatado y el dique transversal está muy socavado, que presenta erosión fluvial en la margen izquierda. Paralelamente, ocurrieron procesos similares en las torreteras contiguas (figura 7.53).</p>	<p>Puede afectar el puente Ernesto Gunther (Av. Arturo Ibañez), el puente contiguo al Centro Comercial Gran Terminal del Sur, el Altiplano hasta el Terminal Terrestre, el mercado Mariscal Castilla en la Av. Los Incas y las viviendas alrededores de la torretera.</p>	<p>Elaborar un proyecto integral de alcantarillado para aguas de lluvias (drenaje pluvial).</p> <p>Limpieza de cauce y luz del puente. Como la intersección con la Av. Andrés Avelino Cáceres se encuentra colmatada, no existe la luz suficiente, por lo que es necesario retirar dicho material. Reubicar viviendas aledañas a las riberas de las torreteras.</p> <p>Actualizar catastro de la ciudad de Arequipa, así como un mapa topográfico base a detalle para realizar una buena planificación.</p> <p>Implementar un sistema de alerta temprano (SAT) integrado y sostenible en el tiempo (ubicación de más estaciones pluviométricas).</p> <p>Se debe prohibir la construcción de viviendas en zonas de terreno rellenados (desmonte), expuestas a inundaciones, muy cerca de las márgenes del cauce de las torreteras. Definir sus fajas marginales.</p>
109. Quebrada San Lázaro, Puente Ricardo Palma, quebrada Honda/Churupara, Peregrinos de Chapi (Miraflores/Mariano Melgar)	<p>Área sujeta a flujos de detritos, erosión de laderas, erosión fluvial.</p> <p>El cauce de la torretera San Lázaro se encuentra con material suelto, generado por las labores antiguas y actuales de canteras (agregados), desmonte y basurales (figura 7.54 y fotografía 7.32).</p> <p>A lo largo del cauce de la torretera, se han construido edificaciones que han reducido el mismo.</p> <p>En caso de lluvias excepcionales, se podrían generar flujos de detritos que se desplazarían a lo largo del cauce de la torretera, como lo ocurrido el 08/02/2013.</p> <p>Sobre el cauce de la quebrada Honda/Churupara, está asentado el poblado de Los Peregrinos de Chapi. Se tienen algunas canteras (ladrilleras), que han removido el cauce de la quebrada que ha originado material suelto.</p> <p>Aguas abajo, frente a la edificación de la empresa Michell &amp; Cía S.A., se encuentran 3 árboles de gran tamaño en pleno cauce de la quebrada y que constituyen barreras que podrían embalsar el agua y posteriormente causar inundaciones. Bajo el puente que conduce a la Urb. Paisajista, existe gran cantidad de material que ha disminuido la luz libre de este puente, lo que representa un peligro.</p>	<p>Afectó edificaciones ubicadas a lo largo de la torretera y quebrada, como también vías de acceso y puentes.</p>	<p>Canalizar el cauce de la quebrada y limpieza con asesoramiento técnico. Prohibir el arroyo de desmonte y residuos sólidos al cauce de torretera.</p> <p>No construir más viviendas en el cauce y en los bordes de la torretera. Reubicar viviendas ubicadas cerca del cauce. Definir la faja marginal.</p>

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
110. Margen izquierda de la quebrada San Lázaro (Alto Selva Alegre)	Área sujeta a caída de rocas. Roca de tipo volcánica presenta un diaclasamiento con orientación favorable a la pendiente, terreno con pendiente fuerte. Al pie del talud, se encuentran ubicadas viviendas.	Por desprendimiento de rocas, pueden ser afectadas viviendas y camino rural.	Forestar las laderas. Desatar o desquichar bloques sueltos o inestables con sismo. No realizar corte inadecuado en el talud. No construir más viviendas en la ladera del cerro.
111. Torretera Chilina (Alto Selva Alegre)	<b>gÁrea sujeta a flujos de detritos, derrumbes y erosión fluvial.</b> Substrato rocoso de mala calidad, diadasas con orientación desfavorable, terreno con fuerte pendiente, ausencia de vegetación, Cuando se presentan flujos o huaiicos, se produce erosión fluvial en ambas márgenes, Como factores detonantes, se aprecia las precipitaciones pluviales y sismos. Las caídas de rocas se presentan en la margen izquierda de la quebrada y se pueden generar derrumbes y erosión de laderas (cárcavas). Estos fenómenos alimentan con material suelto a la torretera que, en caso de lluvias excepcionales, puede generar flujo (fotografía 7.33).	Afectaría terrenos de cultivo, y viviendas que se ubican próximas al talud y carretera de acceso. Existen algunas canteras en el cauce de la torretera que están removiendo el material del cauce.	Forestar. Canalizar cauce de la torretera, colocar muros de contención hacia la margen izquierda, completar el muro de contención. No permitir el crecimiento urbano hacia el cauce de la torretera. Definir la faja marginal.
112. Quebrada Peral/ Villa Ecológica Sector D (Alto Selva Alegre)	<b>Área sujeta a flujo de detritos y caída de rocas.</b> La torretera presenta material suelto incompetente, ausencia de vegetación, pendiente de terreno. El fenómeno puede ser desencadenado con lluvias ocasionales a excepcionales. También se presentan erosiones de ladera. Esta quebrada tiene sus nacientes en el volcán Misti. En el cauce de la quebrada, se han construido viviendas, también se aprecia terrenos de cultivo (fotografía 7.34). Rocas con diaclasamiento favorable a la pendiente, ausencia de vegetación, pendiente fuerte. En este sector, si se presentan movimientos sísmicos o intensas precipitaciones pluviales, es muy probable que el fenómeno se reactive. Las rocas son de tipo volcánico, andesítico. Las caídas de rocas tienen forma regular y discontinua, longitud de arranque 200 m y altura 50 m. En la parte inferior del talud, se construye viviendas.	De presentarse el fenómeno, afectaría viviendas, canal de riego y áreas de cultivo.	Definir la faja marginal, limpieza del cauce, colocar muros de atenuación de flujos a lo largo de la quebrada. Canalizar el cauce de la quebrada. Reubicar viviendas situadas al pie del cerro. Forestar las laderas
113. Margen izquierda del río Chili (Alto Selva Alegre)	Área sujeta a caída de rocas y derrumbes. Substrato fracturado compuesto por derrames lávicos, pendiente de terreno muy fuerte, ausencia de vegetación, corte natural de talud por dinámica fluvial, lluvias y movimiento sísmico. Depósitos coluviales se encuentran suspendidos en la ladera y podrían represar el cauce del río Chili (fotografía 7.35).	El fenómeno afectaría terrenos de cultivo, torres de alta tensión y provocaría el represamiento de cauce del río Chili.	Forestar la zona, colocar muro de contención. Mantener monitoreada el área.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
114. Margen derecha del río Chili (Cayma)	Área susceptible a derrumbes y caída de rocas. <b>Substrato de mala calidad compuesto por depósitos de flujos,</b> derrames lávicos, con pendiente abrupta, ausencia de vegetación. Por corte de talud, se ha desestabilizado. En el sismo del 2001, se presentaron derrumbes y caídas de rocas que afectaron a la carretera de acceso a la central hidroeléctrica.	Afectó la carretera de acceso a la central hidroeléctrica de Charcani en una extensión de 3 km, por sectores a parte baja, torres de alta tensión y terrenos de cultivo.	Forestar. Construir muros de contención. Desatar bloques sueltos.
115. Margen derecha del río Chili (Cayma)	Área sujeta a caída rocas y derrumbes. Las causas de los fenómenos son la ausencia de vegetación, la <b>pendiente del terreno (cañón), la dinámica fluvial, y el substrato</b> fracturado compuesto por derrames lávicos. Los factores detonantes son sismos y precipitaciones pluviales. El área involucrada tiene una longitud de 1200 m y presenta alturas no mayores de 30 m.	El fenómeno afectaría torres de alta tensión y podría represar el cauce del río Chili.	Forestar la zona. Desatar los bloques sueltos, colocar muro de contención. Realizar estudios detallados para estabilidad de taludes.
116. Quebrada Azufrera - Fundo Cabrera (Cerro Colorado)	<b>Área sujeta a flujo de detritos.</b> Flujo antiguo de material grueso mayor a 50% con algunos pequeños depósitos de flujos más modernos, que se generan en épocas de precipitaciones excepcionales. Actualmente, en las márgenes del cauce de la quebrada, se están construyendo viviendas, recientemente urbanizadas (Fundo Cabrera). (Fotografía 7.36). También se apreció explotación de agregados (canteras), que están dejando material removido en todo el cauce de la quebrada. Antiguos depósitos de lahares provenientes del Chachani.	Afectaría viviendas y carreteras afirmadas.	Forestar. Canalizar la quebrada desde aguas arriba. <b>Colocar muros de atenuación de flujos en el sector de Cabrera.</b> Se debe prohibir la expansión urbana hacia los cauces de la torrentera mediante una ordenanza municipal. Definir la <b>faja marginal</b> .
117. Ciudad de Dios/ Virgen de Chapi (Cerro Colorado/Yura)	<b>Área sujeta a flujos de detritos y erosión de laderas.</b> En el cauce de la quebrada, se encuentra material suelto y removido por labores de canteras; material grueso mayor al 50%. En los depósitos antiguos, se encuentran asentadas las viviendas, como también algunas viviendas ubicadas en pleno cauce de la quebrada. Los cauces de las quebradas están siendo rellenados por desmonte, que llegan a estrecharlos. No hay presencia de vegetación. También se pueden presentar erosiones de ladera, por ser rocas (tobas) de fácil erosión. El material proveniente de estos procesos alimentaría a las quebradas (fotografías 7.37 y 7.38). Se muestran construcciones de puentes, en la carretera.	Afectaría viviendas y puente (carretera a Yura) si se presentan lluvias excepcionales.	Canalizar la quebrada. <b>Muros de atenuación de flujos.</b> No rellenar con desmonte los cauces de la quebrada. Forestar el área. Prohibir el crecimiento urbano hacia los cauces de quebradas. <b>Definir las fajas marginales de la quebrada.</b>

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
118. Rio Chili/Central Hidroeléctrica Charcani (Alto Selva Alegre)	<p>Área sujeta a caída de rocas, derrumbes, flujos de detritos y deslizamientos.</p> <p>Rocas volcánicas (lavas y tobos) fracturadas que muestra inestabilidad.</p> <p>Se identificaron derrumbes y deslizamientos antiguos y modernos. Por corte de talud, en muchos sectores se presentaron caídas de rocas y derrumbes (sismo del 2001). Por lluvias de tipo excepcional, se generaron flujos o avalanchas de detritos. Se observó que en los frentes de lava se generan caídas de rocas (figura 7.55).</p> <p>Al parecer, algunos deslizamientos de tipo traslacional se reactivaron con el sismo del 2001.</p>	<p>Afectaría instalaciones de las centrales hidroeléctricas, y carretera afirmada que comunica a las centrales hidroeléctricas y torres de alta tensión.</p>	<p>Realizar desquinche de rocas sueltas.</p> <p>Realizar estudios puntuales o locales para estabilizar taludes.</p>
119. Toma Cuatro, Cayma- Alto Selva Alegre/ (Alto Selva Alegre/ Cayma)	<p>Área sujeta a flujo de detritos.</p> <p>El cauce de la quebrada se encuentra colmatado. A lo largo de la quebrada, se encuentran canchales de agregados que han removido el material del cauce. Ausencia de vegetación y como agente detonante las precipitaciones pluviales.</p>	<p>Puede afectar camino rural, puente y toma de agua IV.</p>	<p>Forestar.</p> <p>Construir muros de atenuación de flujos a lo largo de la quebrada.</p>
120. Pampa Patapampa- Parhualani (San Juan de Tarucani)	<p>Zona sujeta a flujo de detritos, proveniente de las quebradas.</p> <p>Depósitos de hualco compuestos por material grueso en más del 50% sobre el cual está asentado el poblado de Parhualani.</p> <p>Ante lluvias de tipo ocasional o excepcional, afectaría a viviendas ubicadas en el antiguo cauce de la quebrada.</p>	<p>Pueden ser afectadas viviendas de Parhualani, ubicadas en el cauce y depósito antiguo.</p>	<p>Forestar con plantas nativas para estabilizar laderas.</p> <p>Colocar muros de atenuación de flujos en el cauce de la quebrada.</p> <p>Reubicar las viviendas ubicadas dentro del cauce de la quebrada.</p>
121. Embalse El Frayle (San Juan de Tarucani)	<p>Área sujeta a erosión de laderas, derrumbes y flujos de lodo.</p> <p>Rocas conformadas por tobos (de mala calidad), que ante lluvias son de fácil erosión. El terreno presenta una pendiente suave a moderada.</p> <p>Las erosiones que se presentan son en cárcavas y "bad lands". Este evento se presenta al contorno del embalse. Se observó derrumbes y flujos de lodo de menores dimensiones.</p> <p>Los fenómenos mencionados están sedimentando la presa.</p>	<p>Afecta embalse El Frayle incrementando el nivel de sedimentación.</p>	<p>En las zonas más afectadas, construir muros en el cauce de las pequeñas quebradas con el fin de atenuar la erosión.</p> <p>En las inmediaciones, en uno de los diques ubicados en el sector oeste, se ha construido un muro con la finalidad de parar la erosión.</p>
122. Quebrada Jatun Occo (San Juan de Tarucani)	<p>Zona sujeta a caída de rocas.</p> <p>Las rocas que afloran son derrames lávicos andesíticos. En los frentes de lava, por estar fracturada la roca, se presenta caída de rocas. La pendiente del terreno es muy fuerte (frente de lava). Por corte de talud, se ha desestabilizado el talud.</p> <p>La zona afectada tiene una longitud de 1500 m. Se presentan caídas por sectores y tienen alturas no mayores a 15 m. Ante un movimiento sísmico o lluvias excepcionales, se pueden activar estos fenómenos.</p>	<p>Afectaría carretera antigua Arequipa-Puno y pastizales.</p>	<p>Mejorar el talud de corte, realizar trabajos de desquinche y forestación.</p>



Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
123. Quebrada Toronta / margen izquierda de la quebrada Gramadal (Yura)	Flujo de detritos, erosión de laderas y caída de rocas. Se observan antiguos flujos de detritos y modernos. En los cauces de las quebradas, se observa material suelto y no hay vegetación. Ante la presencia de lluvias de tipo ocasional o excepcional, se van a presentar flujos de detritos. El flujo con mayor recorrido es de 3500 m. La quebrada es alimentada con caída de rocas y erosión de laderas.	Afectaría camino rural, campamento antiguo y torres de alta tensión.	Forestar la ladera. Canalizar las quebradas que estén dentro de la influencia de las torres de alta tensión.
124. Carretera Yura - Huanca Km 8+880 (Yura)	Área sujeta a flujo de detritos, caída de rocas y derrumbes. Suelo incompetente, pendiente del terreno, ausencia de vegetación, precipitaciones pluviales y dinámica fluvial. Ladera con depósito en forma de abanico de material grueso mayor a 50% y distancia recorrida de 1150 m (figura 7.56).	Afectaría carretera Yura-Huanca-Lluta.	Forestar, canalizar y muros transversales a la quebrada.
125. Carretera Yura-Puno/ Yura Viejo (Yura)	Área sujeta a caída de rocas y erosiones de laderas. Afloran rocas volcánicas de tipo de derrames lávicos y tobos. Los derrames lávicos presentan caídas de rocas, las fracturas forman cuñas y tienen un sistema de fracturamiento a favor de la pendiente. El corte de talud desestabilizó la ladera. Los factores detonantes son sismos y precipitaciones pluviales. Con el sismo del año 2001, se presentaron grandes acumulaciones de bloques de caídas de rocas que obstaculizaron la vía Yura-Puno, de forma angulosa y con diámetros de hasta 2 m. La zona que puede ser afectada es 2,5 km aproximadamente. Se han presentado caídas de rocas con longitudes no mayores a los 100 m, con alturas no mayores a los 40 m. En las tobos, se generan erosiones de ladera.	La caída de rocas afecta la carretera Yura-Puno en un tramo de 2,5 km. Las erosiones de la ladera afectan el tramo de carretera mencionado como también pastizales.	Desquinchar bloques sueltos. Hacer estudios más detallados de estabilidad de taludes para tomar medidas correctivas correctas. Forestar las laderas.
126. Nueva Carretera Huanca-Yura (km7+280 al km 11+630) (Yura)	Erosión fluvial, caída de rocas, derrumbe, huaicos y erosión de ladera. Por las lluvias excepcionales del año 2012, la quebrada Liquirca incrementó su caudal, y provocó erosión fluvial en ambas márgenes. Se generaron también caídas de rocas y derrumbes cuyas causas son el corte de talud de la carretera y la estratificación a favor de la pendiente. (Figura 7.57). Por la reactivación de las erosiones de ladera, se generaron flujos de detritos.	La erosión fluvial afectó tramo carretera entre las progresivas 7+280 a 11+630, por sectores comprendidos entre 50 a 100 m. Los derrumbes y caídas de rocas en sectores menores a los 20 m.	Hacer estudios detallados para el nuevo trazo de carretera. Elevar el trazo de carretera, con la finalidad que esté fuera del cauce antiguo de la quebrada. Para las erosiones de ladera, en los cauces de las pequeñas incisiones del terreno, evitar la acumulación de material suelto, por ejemplo, mediante la construcción de muros disipadores.

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
<p>127.</p> <p>Siguas Zarsal. km 920+000-921+400 de la carretera Panamericana Sur (Santa Isabel de Siguas)</p>	<p>Área susceptible a deslizamientos y caídas de rocas. En el área afloran conglomerados, areniscas conglomeráticas y limolitas. Se ha observado eventos antiguos y recientes. La principal causa de los deslizamientos es la infiltración de las aguas de las irrigaciones entre los conglomerados y la secuencia limolítica, lo que hace que pierdan estabilidad los conglomerados. Estos deslizamientos han llegado a hacer variar la dirección del cauce del río Siguas, que algunos han llegado a represar. El denominado deslizamiento de Siguas se encuentra en la margen derecha del río y afecta los distritos de Majes y Siguas. Luego de la culminación de la primera etapa del proyecto Majes Siguas I, se dio inicio a la irrigación de las Pampas de Majes (1982), donde el volumen de agua utilizada para el riego de los cultivos superaba los límites de volumen de agua recomendada por el ANA y PROFONUA, condiciones poco favorables para el área (fotografías 7.39-7.40 y figuras 7.58-7.59). Por todo ello, Ingemmet viene monitoreando la zona desde el año 2015. En el periodo 2017-2018, se registraron desplazamientos horizontales entre 12 y 23 m con una velocidad de avance entre 1 a 1.9 m/ mes. También se pueden generar fenómenos en las zonas de las escarpas de los deslizamientos recientes. Las caídas de rocas se pueden presentar en las escarpas de los antiguos deslizamientos.</p>	<p>Afecta tramo 920+000 – 921+400 de la carretera Panamericana Sur, canal de irrigación Majes Siguas I, parcelas de cultivos y subestación eléctrica de la SEAL. Los deslizamientos actualmente están afectando terrenos de cultivo y trocha carrozable de acceso.</p>	<p>Monitorear el área. Cambiar el sistema de riego de los terrenos de cultivo. Sistemas de drenajes para los sectores donde hay infiltración. Desalar los bloques sueltos. Para el caso de las caídas, en lo posible desalar los bloques sueltos. Cambiar el trazo de la carretera Panamericana Sur</p>
<p>128.</p> <p>Carretera Panamericana Sur Km 93+000 a 94+000 (Santa Isabel de Siguas)</p>	<p>Área sujeta a arenamiento. Material suelto (cenizas volcánicas) de fácil remoción por el viento. Esta zona presenta escasa vegetación. Los depósitos eólicos se presentan en forma de mantos de arena y dunas aisladas que invaden la carretera.</p>	<p>Afecta a la carretera Panamericana en un tramo de 1 km.</p>	<p>Limpieza constante de las dunas que invaden la carretera. Corta vientos. Forestar.</p>

Continuación...

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
129. Pie de Cuesta, Gonzales Telaya (Vitor, La Joya)	<p>Área sujeta a deslizamientos. Erosión en cárcavas, erosión fluvial y flujos de detritos/lodo, caídas de rocas se presentan en la margen izquierda del río Vitor. El fenómeno geodinámico se inició en octubre de 1974 y se reactivó el año 2016. Actualmente, el desplazamiento afecta directamente a siete familias, de las cuales, cinco se encuentran en alto peligro debido a que sus viviendas están ubicadas entre 10 y 40 metros del pie del deslizamiento.</p> <p>Además, en la zona de acumulación del deslizamiento, existe una tubería de riego que abastece de agua a 120 hectáreas de cultivo, situadas en la parte baja del valle de Vitor. Si el conducto es aplastado, las chacras se quedarán sin recurso hídrico (fotografía 7.41).</p> <p>Aunque son muchos los factores que contribuyen en la inestabilidad de Pie de Cuesta, se considera que el exceso de agua empleado por los agricultores para el riego de cultivo de la irrigación La Joya Antigua ha originado filtraciones que desencadenaron el deslizamiento.</p>	<p>Afectó 16 hectáreas de terrenos destinados a vivienda, cultivo y una carretera debido a su constante avance.</p>	<p>Utilizar otro sistema de riego, forestar Implementar un sistema de drenaje en la zona. No construir viviendas en las zonas inestables. Monitorear los deslizamientos activos. Es preciso indicar que la autoridad distrital y regional instalaron tubos de plástico para el drenaje de los afloramientos de agua, pero solo se ha drenado un pequeño porcentaje.</p>



Fotografía 7.24 Deslizamiento y erosión de laderas (cárcavas) en el sector La Capilla, margen derecha del río Vitor.



Fotografía 7.25 Arenamiento en Pampa Repartición que afecta carretera La Cano.



Fotografía 7.26 Deslizamiento rotacional en el río Vitor a su margen derecha.





Fotografía 7.27 Derrumbes en el río Vitor (margen izquierda) afectan e interrumpen camino rural.



Fotografía 7.28 En la margen izquierda del río Vitor, Sector La Cuesta, se observa un deslizamiento antiguo.



**Figura 7.45** A) Taludes propensos a caída de rocas y derrumbes en tramo de la variante de Uchumayo. B) Rocas fracturadas que pueden generar caídas de rocas. Antigua carretera Panamericana.



**Fotografía 7.29** Río Yarabamba. Botadero de desmonte en la margen derecha que estrecha su cauce.



**Fotografía 7.30** Caída de rocas, erosión y flujo de detritos en las laderas del cerro Pajonal, ocupadas por el sector de Villa Mirador.





Fotografía 7.31 Erosión Fluvial en el río Mollebaya.



Figura 7.46 Cabecera de la torrentera Venezuela presenta derrumbes, caída de rocas, erosión de laderas por la que, en época de lluvias excepcionales como las ocurridas el 08/02/2013, discurren huaicos por las laderas con material suelto, que aportan material al cauce de la torrentera. Además, se aprecia el mal diseño de obras como en la foto del lado izquierdo en el sector Mariano Bustamante, Villa Alto Cenepa, y derrumbes y huaicos en el A.H Villa El Triunfo.



Figura 7.47 A) Caída de rocas en el puente Arnao Tahuantinsuyo. B) Fuerte erosión fluvial y colapso de muros de viviendas dentro del cauce de la torrentera, puente Arnao.





Figura 7.48 Flujo de detritos y derrumbes en ambas márgenes de la torrentera S/N. Cabecera de la torrentera Venezuela, sector San Juan XXIII, confluencia de ramal I y II. En la margen izquierda, se observa una plataforma deportiva.



Figura 7.49 Erosión fluvial en la margen derecha de la torrentera Venezuela se llevó parte plataforma de la vía de la Av. Venezuela hasta la berma central, de aprox. 135 m de longitud y un ancho de 11 m.



Figura 7.50 Vistas del estrangulamiento del cauce de la torrentera Venezuela, afectado por inundaciones de lodo. El depósito alcanzó hasta 1 m de altura.





**Figura 7.51** A) Colapso de muros de contención en la margen izquierda de torrentera, con pérdida de plataforma de la calle Virgen del Pilar. Este colapso permitió el descubrimiento de un muro antiguo a más de 1 m detrás del actual con 17 m de ancho. B) Colapso de muros de los puestos del mercado del Altiplano. C) El cauce de la torrentera se ha estrechado a 4.54 m de ancho por construcción de edificaciones. Por efecto del flujo, socavó los cimientos del muro de contención en la margen izquierda, lo que generó el colapso de las columnas de la fábrica textil y el rebose en ambas márgenes, en el pasaje Victoria. El puente en forma de arco a 11 m aguas abajo tiene un ancho de 3.78 m, el cual estranguló aún más la torrentera. D) Intersección de la Av. Venezuela con el pasaje Jacinto Ibáñez, frente a la Urb. Juan El Bueno. Allí se encuentran ubicadas 6 viviendas y un total de 20 personas que habitan dicho espacio. En la margen derecha de la torrentera, pese a que se realizó la limpieza del cauce, es evidente que las viviendas han avanzado hacia el cauce de la torrentera. Al incrementar el caudal de la torrentera el 8 de febrero, se represó debido a un obstáculo en el puente Vidaurrázaga (letrero de centro comercial). Al desfogar, erosionó 93 m en su margen derecha. E) El cauce de torrenteras se encuentra invadido por edificaciones que, por ganar terreno, han construido por encima de la torrentera.





**Figura 7.52** Presenta erosión de la vía asfaltada en la Av. Venezuela, debido al socavamiento de los cimientos de muros de sillar del mercado que generó el colapso de los mismos en el mercado Mariscal Castilla.



**Figura 7.53** A y B) Las cabeceras de las torrenteras se encuentran afectadas por deslizamientos y flujos. Además, los cauces se encuentran colmatados de material, sector La Rinconada, distrito Mariano Melgar. C) Av. Los Incas y Agricultura (altura de la Gerencia Regional de Salud). Estrechamiento del cauce por obras del bypass de 13 a 4 m de ancho con muros de contención de 4 a 5 m de alto.





**Figura 7.54** A) Erosión de laderas de tipo cárcavas y derrumbes en ambas márgenes de la quebrada San Lázaro (parte alta) aportan material suelto al cauce de la quebrada. B) Presencia de canteras en el cauce de la quebrada San Lázaro acumula material suelto. C y D) Viviendas se encuentran al borde del acantilado formado en la quebrada San Lázaro, algunas ya han colapsado. E). Desmonte y basura acumulada en la parte alta de la quebrada San Lázaro. F) Plataforma deportiva en terraza baja de la quebrada San Lázaro.



Fotografía 7.32 Vivienda afectada y colapso de muro de contención en la margen derecha de la quebrada San Lázaro debido al incremento del caudal por efecto de las lluvias excepcionales del 08/02/2013.



Fotografía 7.33 Sector Chilina, sujeta a derrumbes, flujos de detritos y erosión fluvial. Esta quebrada llega a desembocar en la ciudad de Arequipa.





Fotografía 7.34 Flujo de detritos en la quebrada Peral, por la presencia de lluvias excepcionales, afectaría canal de riego y terrenos de cultivo.



Fotografía 7.35 Río Chili (margen izquierda): se observa caída de rocas que puede afectar cultivos, y canal de regadío.



Fotografía 7.36 Río Chili (margen izquierda): se observa caída de rocas que puede afectar cultivos, y canal de regadío.



Fotografía 7.37 Zona susceptible a flujos de detritos y erosión en las laderas adyacentes al centro poblado de Ciudad de Dios.



Fotografía 7.38 Erosión en cárcavas y posibilidad de ocurrencia de flujo de detritos en el sector Virgen de Chapi.





**Figura 7.55** Laderas y taludes propensos a caída de rocas y derrumbes en el cañón del río Chili (ambas márgenes) que obstaculizarían el tránsito y afectan las centrales hidroeléctricas en Charcani.



**Figura 7.56** Flujos de detritos excepcionales que afectan tramo de carretera Yura-Huanca-Lluta, así como acceso a las canteras de las minas de calizas de Cementos Yura.



Figura 7.57 Quebrada Liquirca aumentó su caudal en el periodo lluvioso 2012, lo que generó erosión fluvial en la margen derecha, afectando tramo carretero Yura-Huanca en 100 m (Km 9+720).



Fotografía 7.39 Deslizamiento en el sector de Alto Sigwas (El Zarzal), margen derecha del río Sigwas.





Figura 7.58 Deslizamientos con represamientos parciales del valle de Sigüas, sector Pachaqui / Santa Ana.



Fotografía 7.40 Deslizamiento en el sector de Alto Sigüas (El Zarzal), margen derecha del río Sigüas.



Fotografía 7.41 Vista Panorámica del deslizamiento de Pie de Cuesta, en la margen izquierda del río Vitor (OVI, 2018).

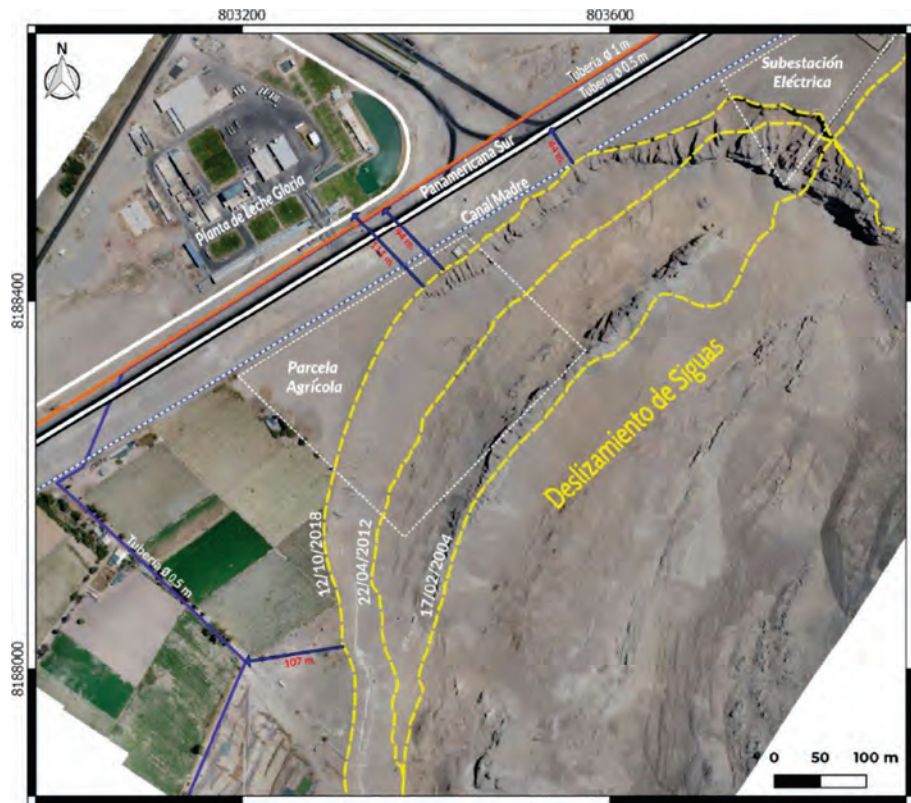


Figura 7.59 Evolución de la escarpa principal del deslizamiento de Siguas y distancias mínimas a la infraestructura amenazada. Vista de un ortomosaico con resolución de 3.7 cm/píxel (Taipe & Huanca, 2018).

Cuadro 7.8

Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Islay

Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
130. El Fisco-El Arenal (Dean Valdivia)	Área sujeta a derrumbes y arenamiento. Derrumbes en talud superior de carretera Mejía-Fiscal se dan en depósitos aluviales, con una longitud de zona de arranque de 257 m. Ladera cubierta por depósito eólico. Sobre la ladera, se han asentado viviendas. Para establecer sus bases, han realizado corte y relleno, lo que inestabiliza el talud (fotografía 7.42). El substrato está conformado por conglomerado polimítico en matriz areno-limosa. Ante lluvias excepcionales y sismo de gran magnitud, es muy probable que en las áreas que han modificado el talud, se generen derrumbes.	Puede afectar carretera Mejía-Fiscal y viviendas ubicadas en la ladera	Colocar muros de contención y mallas. No permitir el crecimiento urbano hacia las laderas del cerro, especialmente en la zona arenosa.
131. Chucarapi-Pacheco (Cocachacra)	Área sujeta a erosiones fluviales e inundaciones El río Tambo en este sector es de tipo anastomosado; por ende, tiende a variar la dirección de su cauce cada cierto tiempo, especialmente cuando se presentan lluvias excepcionales. Esta variación afecta ambas márgenes. Las quebradas Chucarapi, La Horca y Pacheco son secas, pero contienen en su cauce abundante material suelto, que es susceptible de ser removido. De presentarse lluvias excepcionales, se generarían flujos de detritos/lodo. La zona también es afectada por erosión de laderas y flujos de detritos. En los cortes de talud para carretera, se presenta caída de rocas y algunos vuelcos que se dan en rocas intrusivas medianamente fracturadas, con diaclasamiento en favor de la pendiente.	Las erosiones e inundaciones pueden afectar a los terrenos de cultivo, en ambas márgenes. Este fenómeno afectó el antiguo puente. Las erosiones de ladera y flujos de detritos pueden afectar los centros poblados Chucarapi y Pacheco. La caída de rocas y vuelcos pueden afectar un tramo de la carretera Puente Fiscal-Chucarapi.	Reforestar el área. En los cauces de las quebradas, construir muros disipadores de flujos, limpieza de cauce. Para la erosión de laderas, construir trinchos en el cauce de la quebrada. Desatar los bloques de roca sueltos ubicados en el talud. Se debe diseñar un sistema de sostenimiento para mejorar la estabilidad del talud. Colocar en el borde de la carretera letreros de avisos de área inestable que puede generar caída de rocas.
132. Puerto Viejo-Desamparados, quebrada Piedra Grande y Panamericana Sur (Cocachacra)	Área sujeta a erosiones fluviales e inundaciones, flujo de detritos y erosión de laderas. El centro poblado Desamparados se ubica sobre un antiguo depósito deluvial, generado por los depósitos de la erosión de las laderas. En este sector, también se presentan flujos de detritos (figura 7.60). Las quebradas Piedra Grande, Punta Negra y S/N, son alimentadas por material suelto generado por la erosión de laderas, que ante lluvias excepcionales generarían flujos de detritos. Las áreas cercanas al cauce del río Tambo son susceptibles a inundaciones y erosión fluvial. En los cortes de talud para carretera, se presenta caída de rocas.	Las erosiones e inundaciones pueden afectar los terrenos de cultivo. Las erosiones de ladera y flujos de detritos pueden afectar los centros poblados Desamparados y Puerto Viejo. La caída de rocas y vuelcos pueden afectar un tramo de la carretera Panamericana Sur, km (Puente-El Fiscal).	Reforestar el área. En los cauces de las quebradas, construir muros disipadores de flujos y limpieza de cauce. Para la erosión de laderas, construir trinchos en el cauce de la quebrada. Para la caída de rocas y vuelcos, desatar los bloques de roca sueltos, diseñar un sistema de sostenimiento para estabilizar el talud. En la carretera, se deben colocar avisos de área propensa a caída de rocas o derrumbes.



Paraje / sector (distrito)	Peligro geológico / comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
133. El Toro-Buenavista (Cocachacra)	<p>Área sujeta a flujos de detritos y erosión de laderas. Material suelto se encuentra acumulado en el cauce de la quebrada Los Tres Cerros, y puede ser removido ante lluvias y generar flujos de detritos. El centro poblado se ubica sobre un antiguo depósito proluvial, generado por flujos de detritos (figura 7.61).</p> <p>La zona también es afectada por intensa erosión de laderas que aportan material al cauce de la quebrada. Se presentan en conglomerados con matriz arenosa, no consolidados, de fácil erosión. Estas quebradas se pueden activar con lluvias de tipos ocasional o excepcional. Al incrementarse el caudal, se puede generar erosiones fluviales en la margen derecha del río Tambo, como también variaciones en la dirección del cauce. En este tramo, el río es de tipo anastomosado.</p>	<p>Puede afectar carretera afirmada, viviendas y terrenos de cultivo del sector de El Toro y Buenavista.</p>	<p>Reforestar el área.</p> <p>En los cauces de las quebradas, construir muros disipadores de flujos y realizar limpieza de cauce.</p> <p>Para la erosión de laderas, construir trinchos en el cauce de la quebrada.</p>
134. Santa María (Cocachacra)	<p>Área sujeta a flujos de detritos y erosión de laderas.</p> <p>En el cauce de las quebradas provenientes de los cerros Uchas y Chelgua (margen izquierda del río Tambo), se observa material suelto que puede ser removido ante lluvias y generar flujos de detritos.</p> <p>El centro poblado se ubica sobre un antiguo depósito proluvial, generado por flujos de detritos (figura 7.62).</p> <p>Se observa intensa erosión de laderas que genera material suelto que aporta material al cauce de la quebrada.</p> <p>Las rocas aflorantes son aglomerados volcánicos y areniscas, poco consolidados, fáciles de erosionar.</p> <p>Estas quebradas se pueden activar con lluvias de tipos ocasional o excepcional.</p>	<p>Puede afectar viviendas y terrenos de cultivo del sector de Santa María.</p>	<p>Reforestar el área.</p> <p>En los cauces de las quebradas, construir muros disipadores de flujos y limpieza de cauce.</p> <p>Para la erosión de laderas, construir trinchos en el cauce de la quebrada.</p> <p>No permitir el crecimiento urbano hacia el cauce de la quebrada.</p>
135. Carrizal - Len (Cocachacra)	<p>Área sujeta a flujos de detritos y erosión de laderas.</p> <p>En el cauce de las quebradas provenientes de los cerros Pan de Azúcar (margen derecha del río Tambo) y Len (margen izquierda del río Tambo), se observa material suelto que puede ser removido ante lluvias y generar flujos de detritos.</p> <p>Sobre los depósitos antiguos dejados por los flujos de detritos, se encuentran asentados los poblados de Carrizal y Len (figura 7.63).</p> <p>El área también es afectada por intensa erosión de laderas que aporta material al cauce de la quebrada.</p> <p>Estas quebradas se pueden activar con lluvias de tipo ocasional o excepcional.</p>	<p>Puede afectar viviendas y terrenos de cultivo de los centros poblados mencionados.</p>	<p>Reforestar el área.</p> <p>En los cauces de las quebradas, construir muros disipadores de flujos y limpieza de cauce.</p> <p>Para la erosión de laderas, construir trinchos o muros en el cauce, con la finalidad de disipar los flujos.</p>



Fotografía 7.42 Sector El Arenal, ladera cubierta por viviendas.



Figura 7.60 Imagen satelital del Google Earth del sector de Desamparados. Se muestra la defensa ribereña, el círculo de color rojo de línea entrecortada es el área afectada por la erosión fluvial. Los sectores con líneas de color azul entrecortadas son las quebradas que pueden generar flujos de detritos.



Figura 7.61 Imagen satelital del Google Earth. Se muestra en centro poblado El Toro, ubicado en un depósito proluvial generado por la quebrada en la margen derecha del río Tambo.



Figura 7.62 Imagen satelital del Google Earth, sector de Santa María. Se resalta en círculos de color amarillo las áreas que pueden ser afectadas por flujos de detritos en la margen izquierda del río Tambo.





Figura 7.63 Imagen satelital del Google Earth, sector de Carrizal. En círculo amarillo se ven las zonas rurales que pueden ser afectadas por flujos.



# 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 de los movimientos en masa es también un punto de importancia que las comunidades deben comprender y a las que deben estar alertas ante su aparición. Entre estas señales, 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 y las estructuras 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 ha tomado 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.

### 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 erosiones de laderas, entre otros, así como 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).

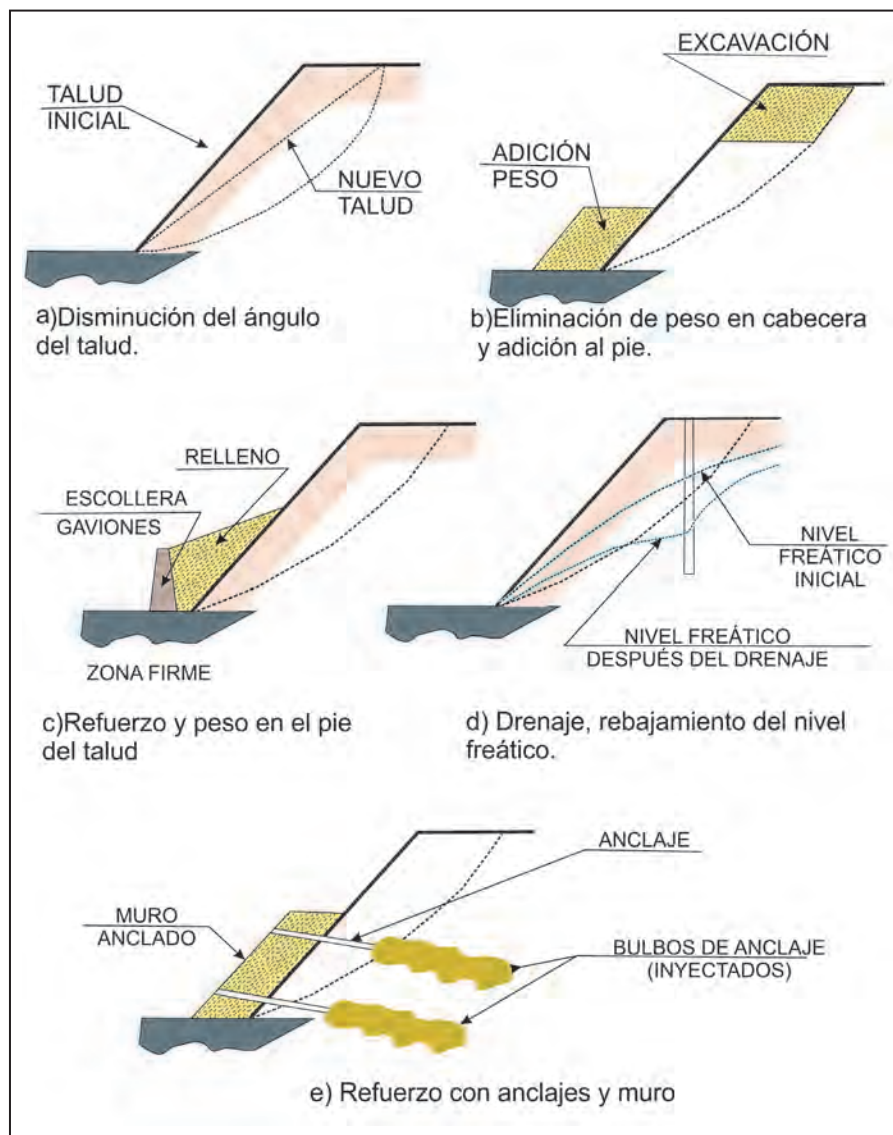
A continuación, se señalan una serie de recomendaciones que pueden servir como base para mitigar los peligros geológicos en las zonas críticas determinadas. Se recomienda evaluar al detalle estos sectores para el correcto diseño de las obras de mitigación sugeridas con especialistas.

### 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 al obstaculizar 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 es 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 de pendientes fuertes y cuya estabilización es necesaria. Para tener un factor de seguridad predeterminado y estabilizar fenómenos de rotura, los métodos más frecuentes se muestran en la figura 8.1.



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 empleados 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, y se obtiene una nueva configuración más estable.

**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 aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud para evitar 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 necesaria la participación de un hidrogeólogo para el diseño de los drenes.

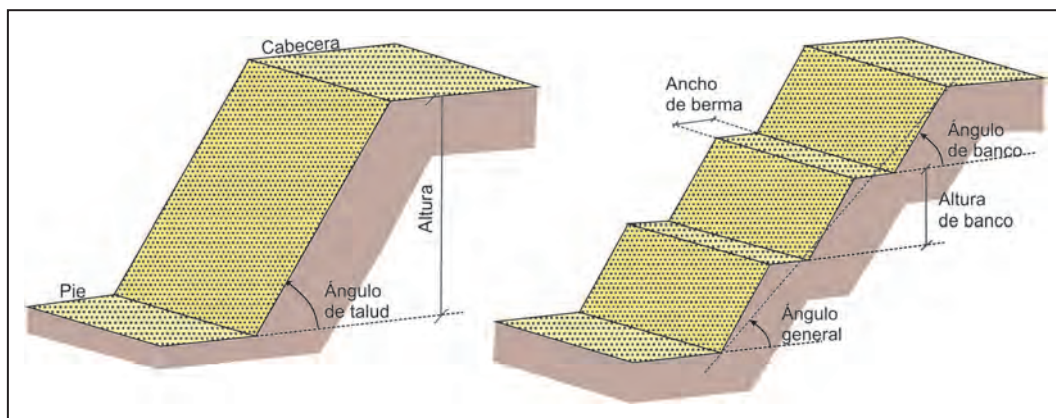


Figura 8.2 Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).

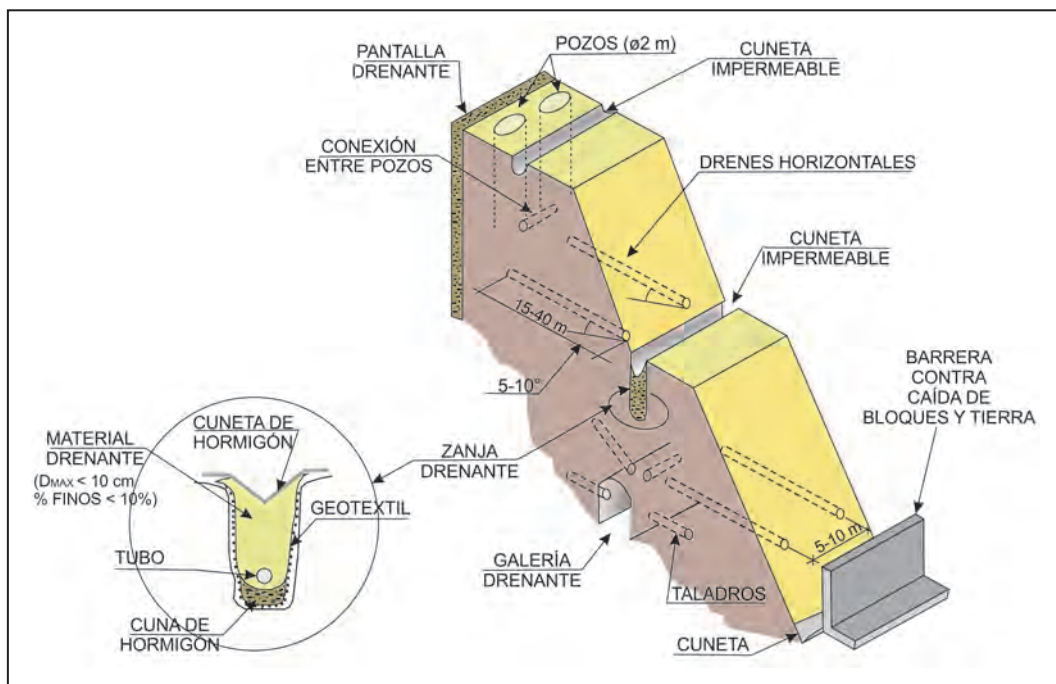


Figura 8.3 Medidas de drenaje y protección de taludes.

**Corrección por elementos resistentes:** Tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante sistemas más frecuentes como *anclajes* formados por cables o barras de acero que se anclan en zonas estables del macizo, que 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). Otro sistema es el uso de *muros*, que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 8.5). Estos

muros pueden ser de: 1) gravedad, que se construyen de hormigón en masa, concreto ciclópeo, mampostería, piedra seca o piedra argamasada para taludes pequeños (figura 8.6); 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 muros contrafuertes (figura 8.7).

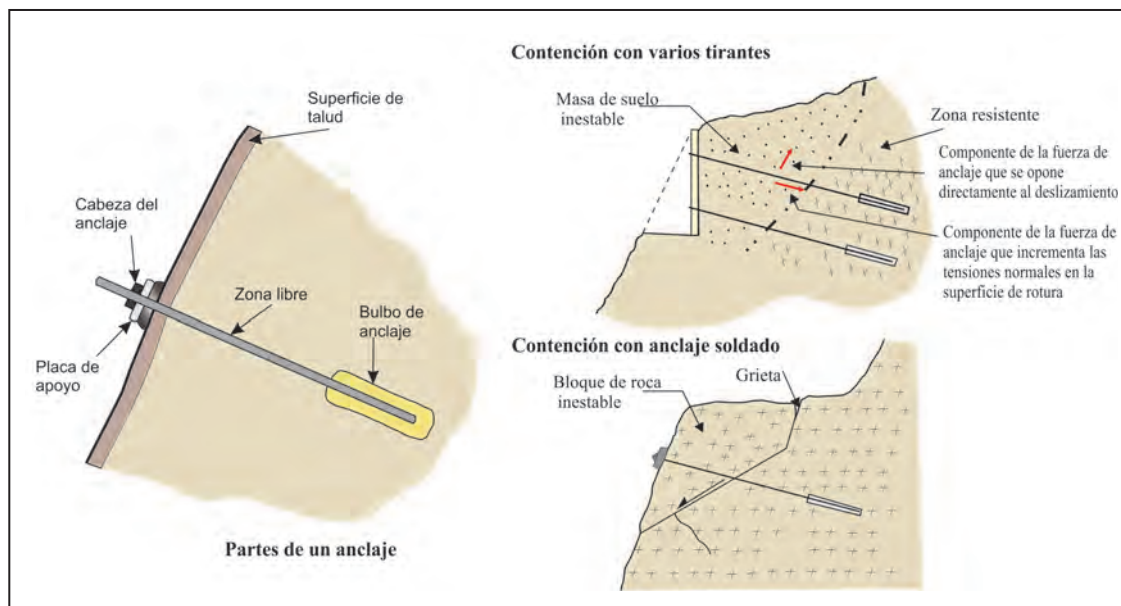


Figura 8.4 Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación.

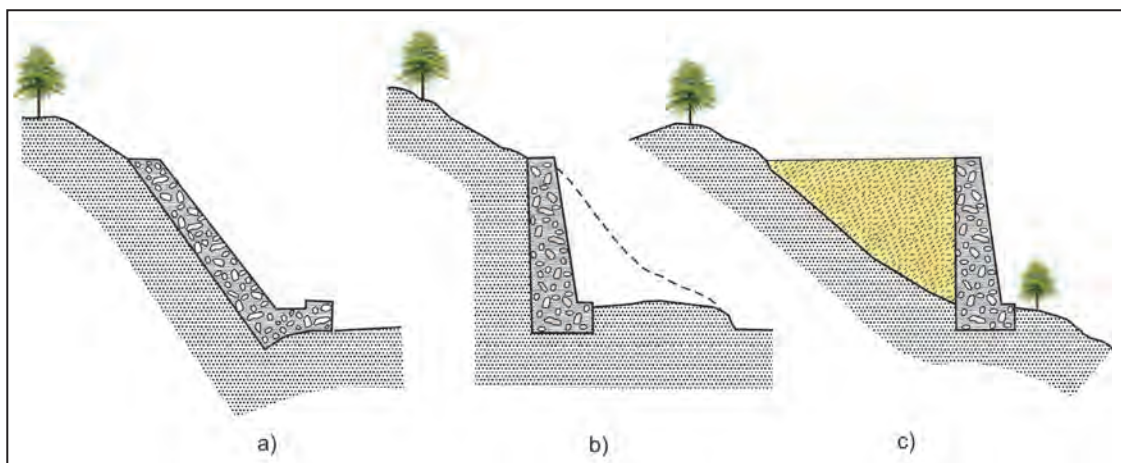


Figura 8.5 Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & *et al*, 1976).



Otro sistema lo conforman los *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, cuya altura puede ser de 5 a 10 m (figura 8.8). También tenemos las *pantallas de pilotes*, de hormigón armado, que constituyen alineaciones de pilotes cuyo diámetro varía entre

40 a 120 cm, y donde el espacio entre dos adyacentes es lo suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo (lamentablemente, son muy costosas). 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).

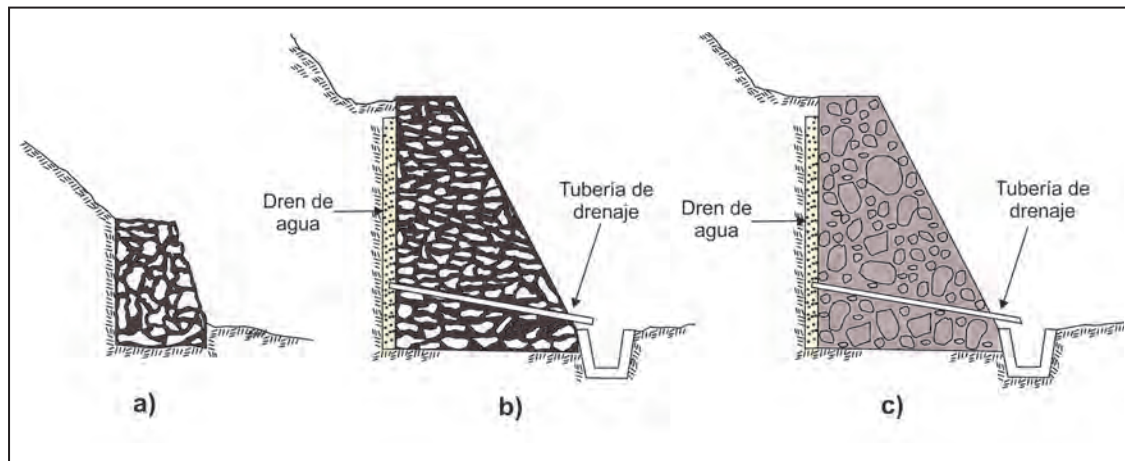


Figura 8.6 Muros de gravedad.

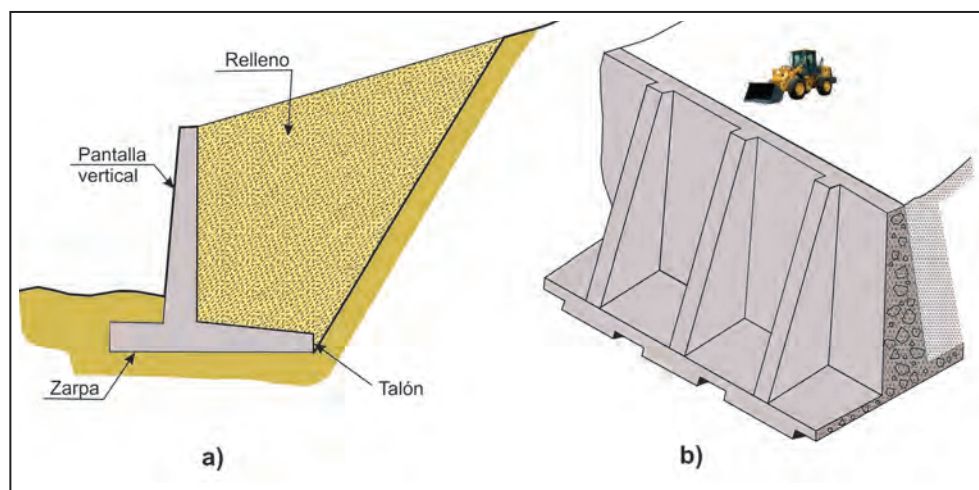


Figura 8.7 Muros aligerados: a) muro en L, b) muro con contrafuertes en el intradós (Jiménez, 1976).

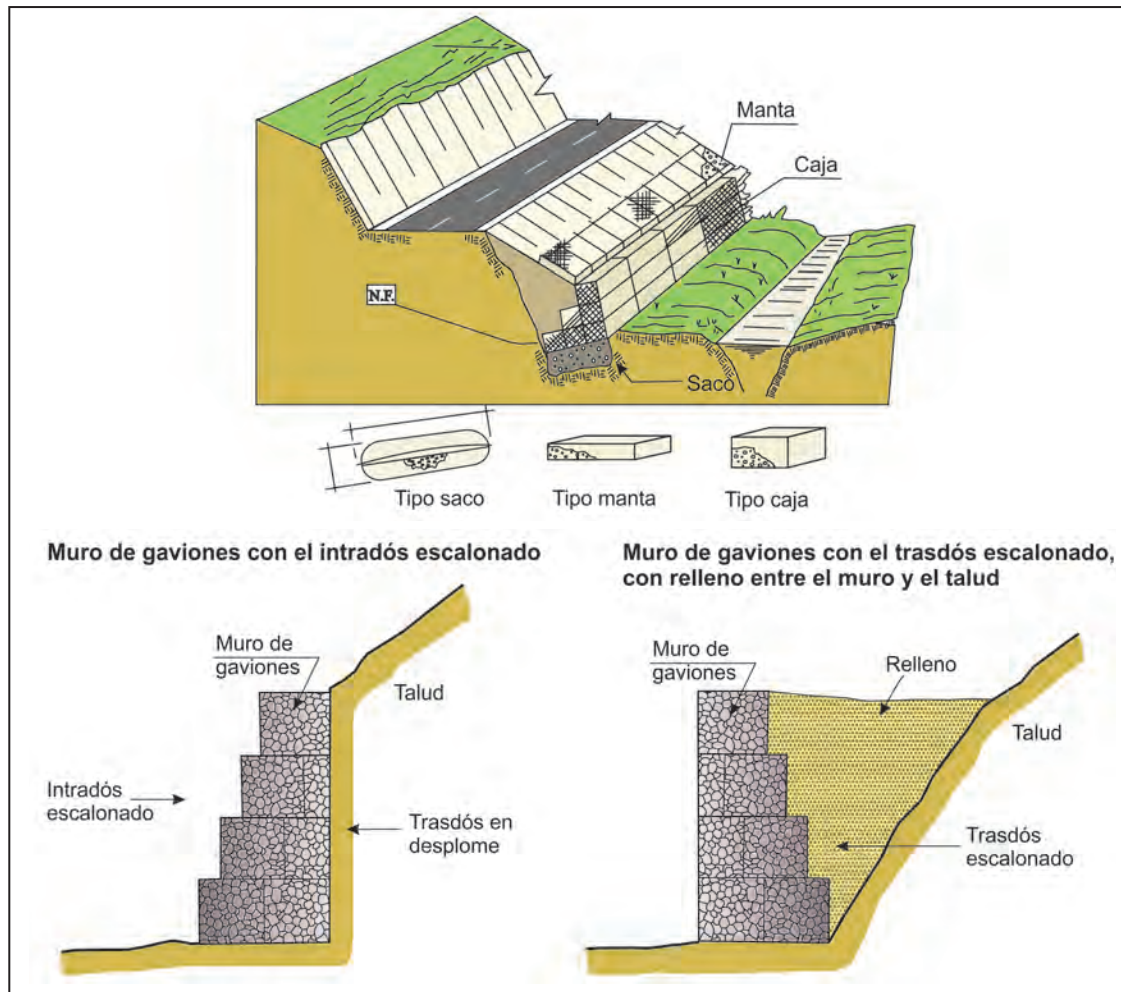


Figura 8.8 Muro de gaviones y ejemplos de aplicación.

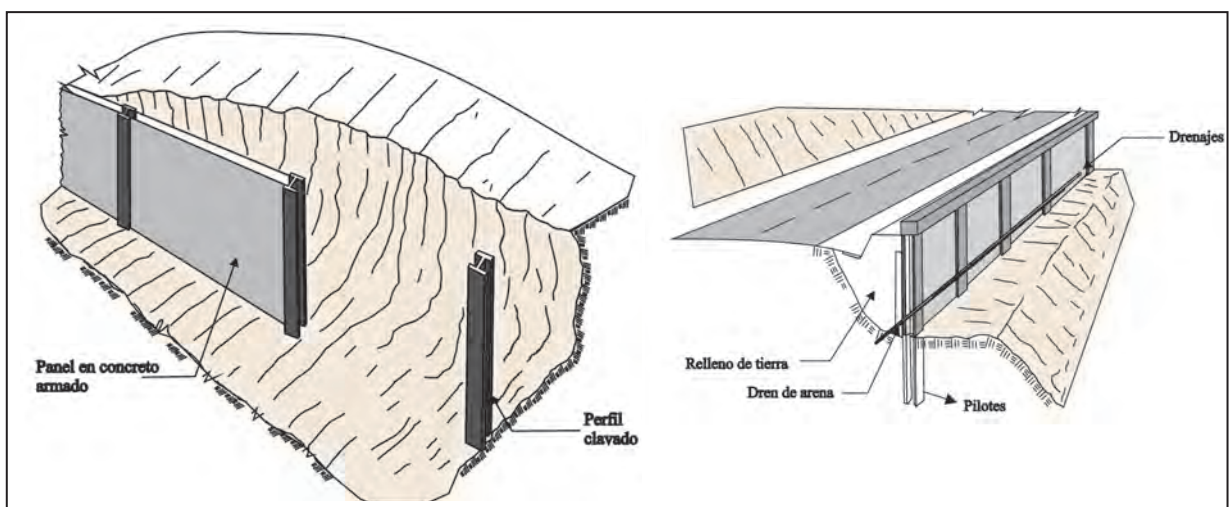


Figura 8.9 Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes.

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).

Los *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.

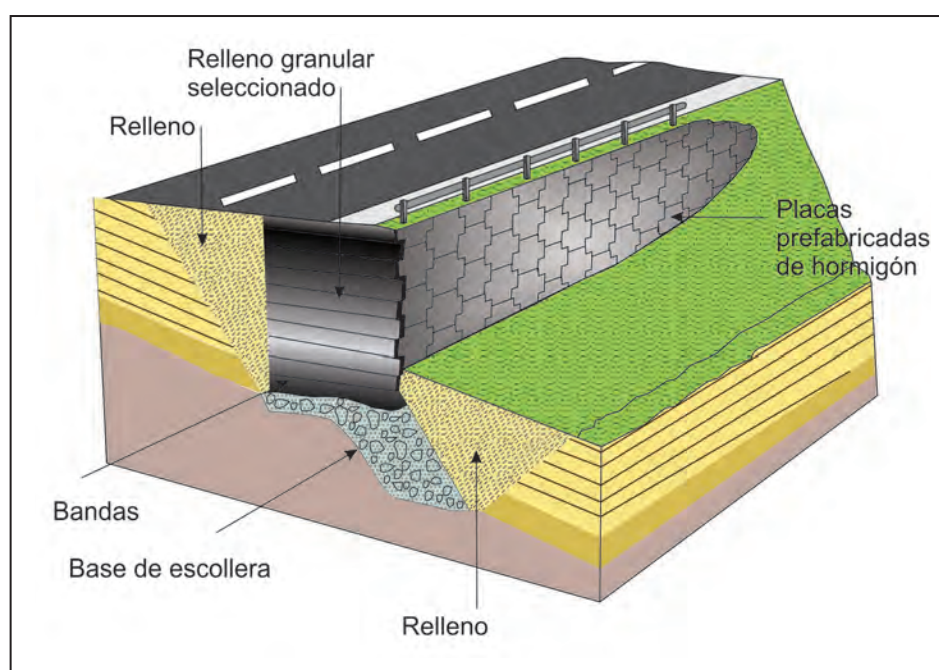


Figura 8.10 Muro de tierra armada (modificado de Canmet, 1977).



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 cubren 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 malla se suele dejar un

metro por encima de la zanja de acumulación de fragmentos sueltos de rocas, apropiados cuando el tamaño de roca por caer se encuentra entre 0,6 a 1 m (fotografía 8.1). En muchos taludes de las carreteras principales de la región Arequipa, 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 *margen 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 (ver acápite 8.2.1), son recomendables en caso de inestabilidades en macizos rocosos para evitar los deslizamientos y desprendimientos de bloques, mas no son

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.

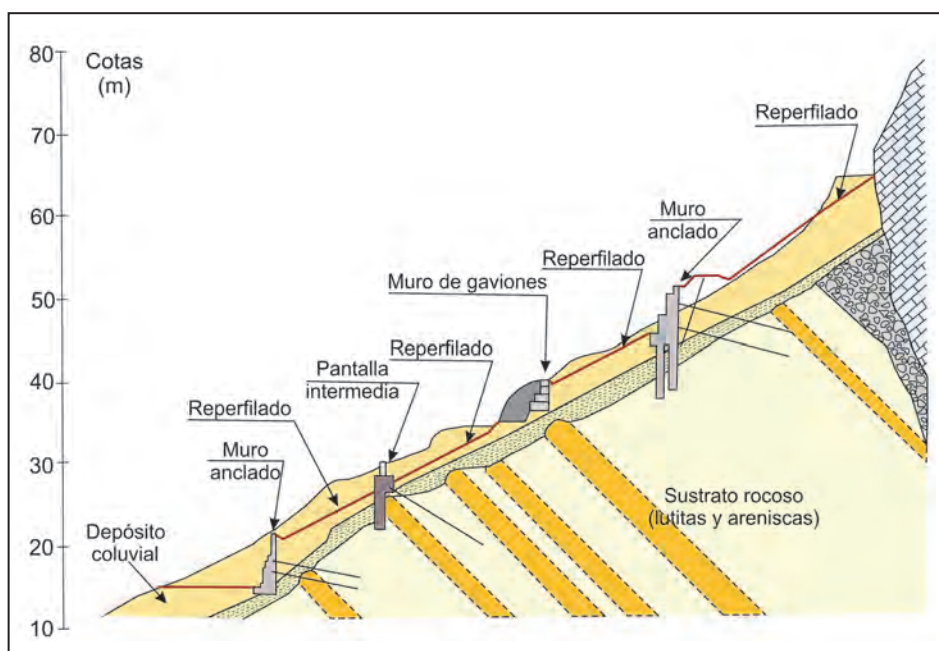


Figura 8.13 Esquema de las medidas de contención de un deslizamiento en suelo coluvial arcillo-limoso con sustrato formado por lutitas y areniscas (Rodríguez, Ortiz, 1997).

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, con lo cual se puede 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.

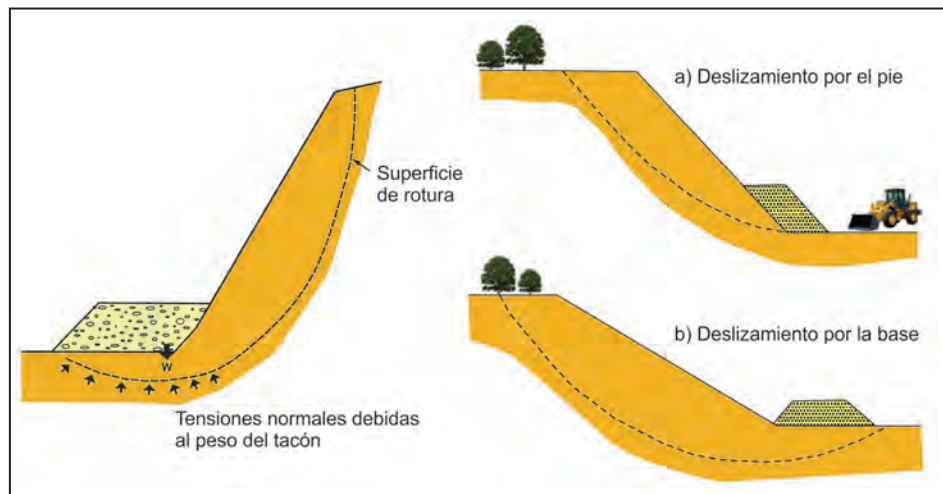


Figura 8.14 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno, en el pie de un talud (izquierda), colocación de escollera según el ángulo de rozamiento interno del terreno (derecha).

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.

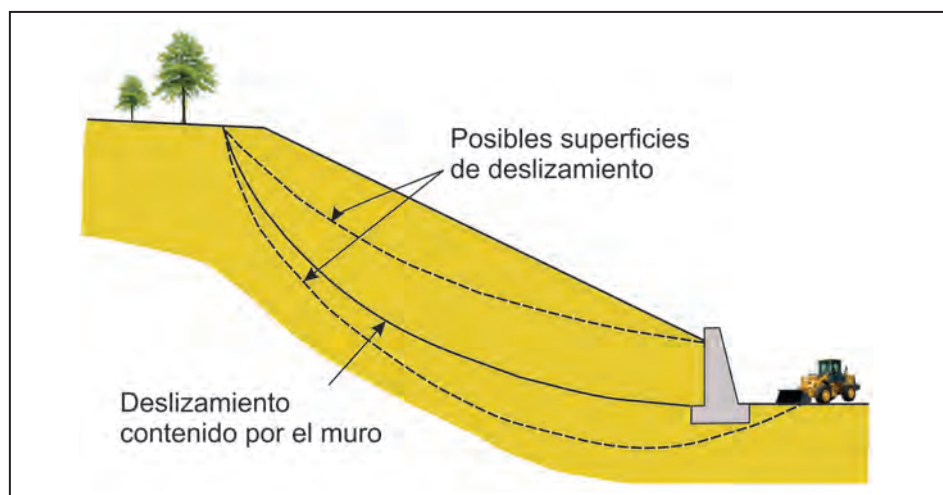


Figura 8.15 Control de un deslizamiento mediante un muro.

### 8.2.3 Mitigación de peligros por huaicos

Acá se desarrollan las medidas para 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. Considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, como en el caso del Fenómeno El Niño (figura 8.16); 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 acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico), ya sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y barras flexibles, fosas de decantación;

etc. (debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido) (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, con el fin de evitar 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 ante la ocurrencia de un flujo de detritos.

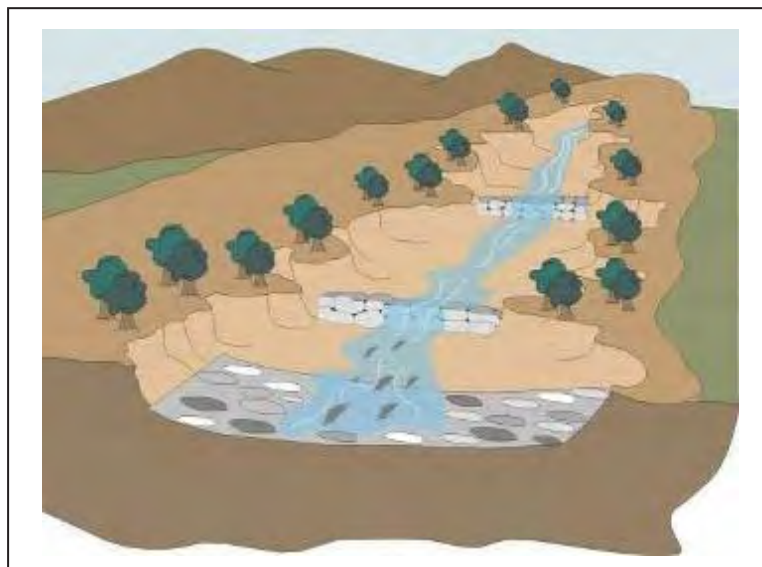


Figura 8.17 Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques ribereños.





Figura 8.18 Presas 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 de 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 por utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán 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, y finalmente evitar la quema de pajonales.

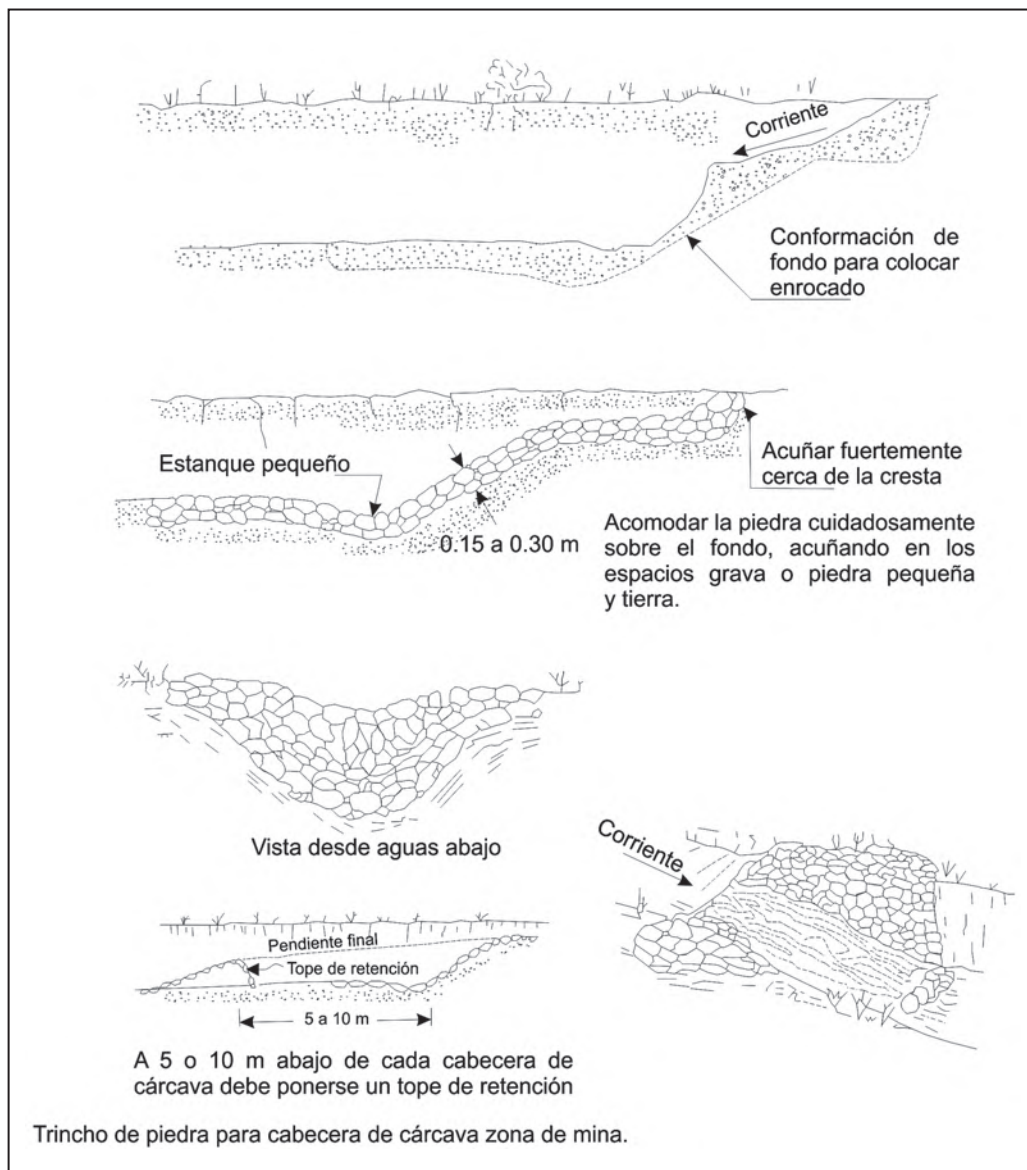


Figura 8.20 Trincho de piedra para cabecera de cárcava (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).

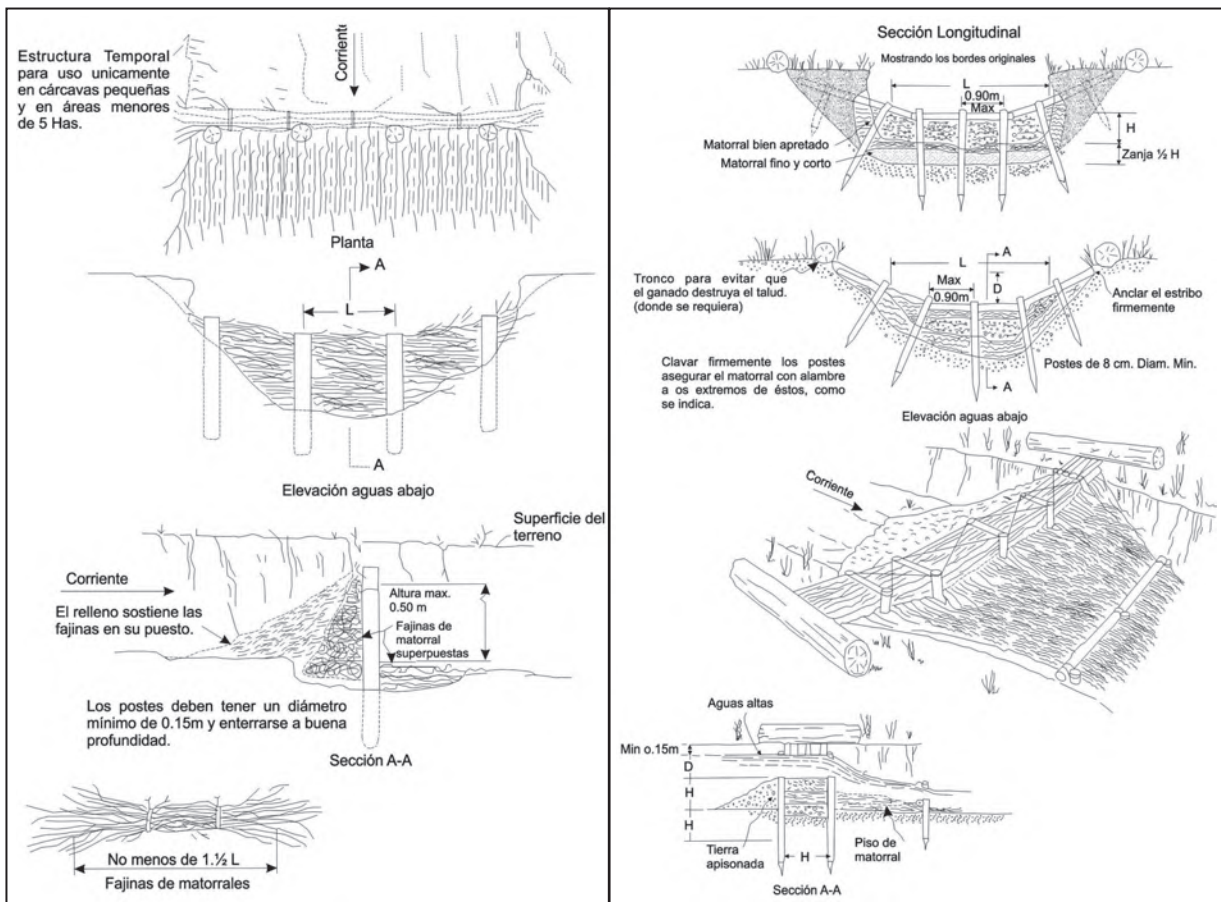


Figura 8.21 Trincho de matorral tipo una hilera de postes y trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).



Fotografía 8.4 Ejemplo de evacuación de aguas superficiales y control de erosión en cárcavas, mediante trinchos escalonados.



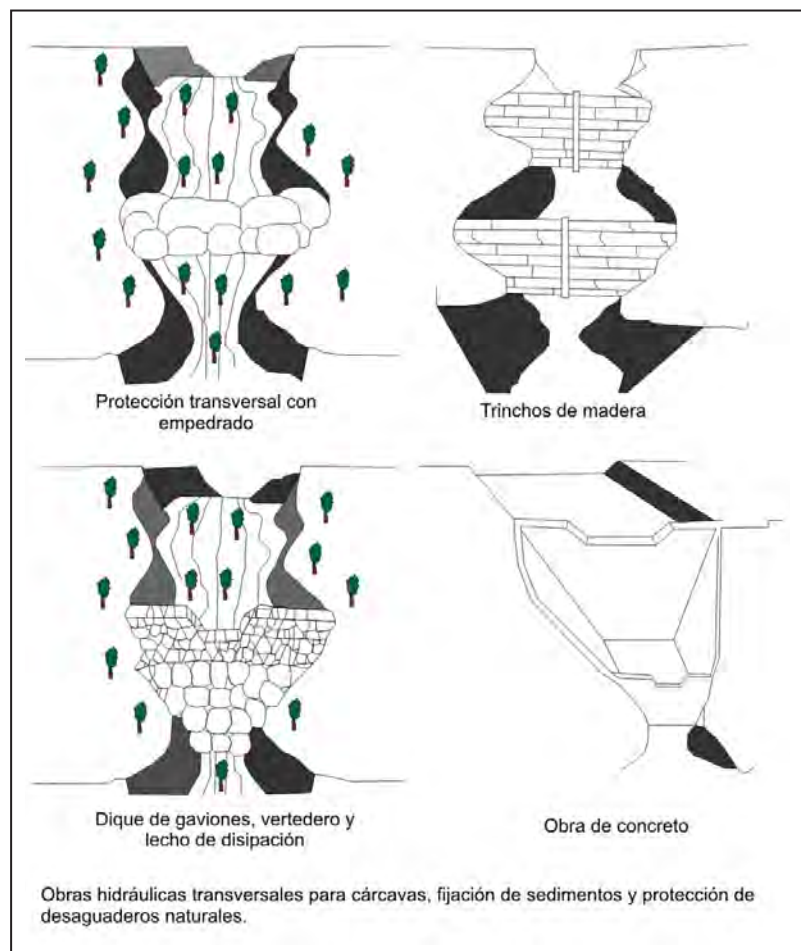


Figura 8.22 Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales (Tomado de Instituto Nacional de Vías, 1998).

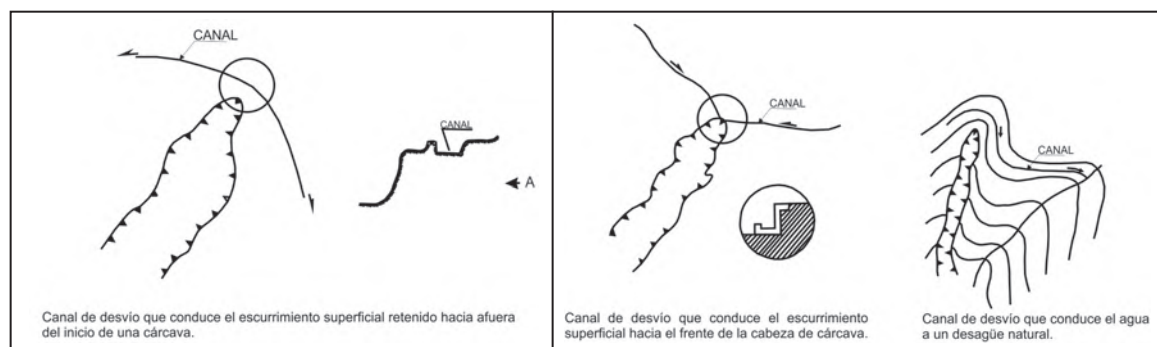


Figura 8.23 Canales de desvío.

### 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, enrocados 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.
- 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.
- 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 interrumpan el libre discurrir de los flujos hídricos.

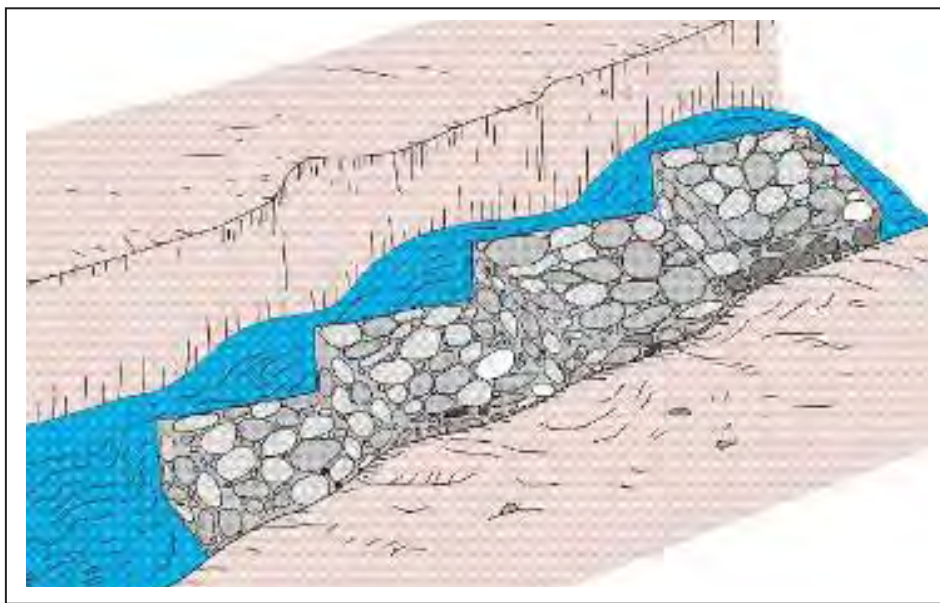


Figura 8.24 Gaviones para encauzar el lecho del río.







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.

### 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 las mismas, 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 ALARMAS

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 más frecuentes son:

- 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 pueden acelerarse. Es muy importante tomar los datos con precisión, de preferencia de forma automática, y la interpretación de las medidas obtenidas, así como las decisiones, que 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. Sobre la



base de 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), que 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 sistema de vigilancia y alerta en las quebradas por flujo 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 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 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).





## CONCLUSIONES

1. Litológicamente, el 75.3 % de la superficie de la región Arequipa está cubierta por sustrato rocoso (rocas intrusivas, volcánicas, volcánico-sedimentarias, sedimentarias, metamórficas) y el resto está cubierto por depósitos inconsolidados de origen fluvial, aluvial, proluvial, coluvial-deluvial, coluvial, volcánico y volcanoclástico, químico, lacustre, eólico, marino, glaciar y fluvio-glaciar que rellenan valles fluviales y glaciares, así como laderas y vertientes.
2. Las unidades geomorfológicas diferenciadas en la región se han producido por tres grandes grupos de unidades de relieve: a) geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional, b) geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional y c) geoformas de carácter depositacional y agradacional. Las primeras geoformas mencionadas se agrupan en montañas, montañas y colinas, colinas y lomadas, presentan mayor distribución en la región (49.36 %), y su origen está ligado a procesos sismo-tectónicos, volcánicos y erosivos ocurridos a lo largo de su historia geológica. Las unidades volcánicas comprenden el 27.36 %. Están conformadas por cráter, caldera volcánica, coladas y campos de lavas basalto-andesíticas, volcánicas o manto de piroclastos, colinas y lomadas ignimbriticas, complejo volcánico, domo volcánico, estratovolcán, cono de escorias monogenético, mesetas (volcánica lávica e ignimbritica), superficies con flujos piroclásticos y disectados, vertiente volcanoclástica. En cuanto a las unidades depositacionales (23.28 %), se dividen en función de su origen en abanicos, piedemontes, morrenas, vertientes coluviales de detritos, glacio-fluviales, con depósito de deslizamientos y de geligracción, valles fluviales y glaciares, altiplanicies, terrazas aluviales, terrazas indiferenciadas, planicie aluvial, llanura o planicie inundable, laguna y cuerpos de agua, bofedales, campo de dunas, mantos de arena, faja litoral, terrazas marinas, islas; ligados todos a procesos gravitacionales y depositacionales. También se incluyen los depósitos antropógenos como rellenos, botaderos, canteras, entre otros.
3. Producto de los trabajos geológicos de campo y gabinete en la región, se han identificado un total de 2721 eventos, según su origen: por movimientos en masa (79.23 %); peligros geohidrológicos (7.28 %) y otros peligros geológicos (13.49 %). En función de la tipología similar, ocurre una mayor frecuencia de: caídas y derrumbes (26.42 %), flujos de detritos, lodo y avalanchas (36.68 %), deslizamientos (10.58 %), movimientos complejos (2.65 %), erosión fluvial (4.37 %), inundaciones fluviales (2.90 %), reptación (2.50 %), vuelco (0.40 %) y otros peligros geológicos como erosión de laderas (11.40 %), arenamientos (1.91 %) y hundimientos (0.19 %).
4. El estudio de la sismicidad en la región de Arequipa indica que se han producido sismos con intensidades máximas de entre VII hasta X en la escala modificada de Mercalli y con magnitudes de hasta 8.4 Ms en la escala de Richter (terremoto de 24 de noviembre de 1604). Han sido los sismos de los años 1960, 1868 y 2001 los que más afectaron a la región. 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 212 a 340 gals (moderadamente alta a muy alta); mientras que para 50 años varían de 270 a 405 gals (alta a muy alta) y para 100 años varían de 320 a 458 gals (muy alta). Estudios anteriores sobre neotectónica de Perú y la región Arequipa han permitido identificar la presencia o influencia de fallas activas en la región (Zonas de Fallas Cuesta Calaveras, Parinacochas, Sondor-Paucaray, Chuquibamba, Mauca-Llacta, Firula, Andagua, del Colca; Falla Alhuayo-Challahuire; los Sistema de Fallas Iquipi, Atiquipa-Caravelí-Sicera-Lluta-Vítor, Tisco-Huayllane, entre otras), muchas de las cuales producen sismos continuamente.
5. 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 (11.49 %), con una importante distribución en la región. 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 es posteriormente

acarreado y forma flujos de detritos cuando se presentan lluvias en estas zonas, que permanecen secas por largos periodos. 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. En esta zona, se encuentran trazados varios tramos de carreteras que permiten el acceso hacia la sierra y Ayacucho (por ejemplo, las carreteras Charcana-Andamarca, carretera Puyca-Cotahuasi, Tuti-Cabanillas, entre otros).

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, puentes, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana.

- En las zonas de **alta** susceptibilidad (29.02 %), confluyen la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa. Dentro de esta zona, se localizan los poblados de Maca, Callalli, Tapay, Puyca, Aplao, Andamayo, Lomas de Mamas, Quicacha, Pirca, Iquipi, Tauria, Ayancay, San Juan de Chorunga, Vilcan 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 Arequipa, así como las torrenteras que pasan por la ciudad de Arequipa. Dentro de esta zona, se tiene varios tramos de la vía férrea Arequipa-Juliaca, la carretera Panamericana Sur, la carretera Corire-Aplao y varias carreteras de penetración hacia la sierra de Ayacucho y Cusco.

Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones o estas deben ser muy bien planificadas 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 realizar estudios geotécnicos de detalle.

- Las zonas de **media** susceptibilidad (32.99 %) 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. En colinas y lomadas modeladas en rocas sedimentarias que bordean el litoral, se producen derrumbes y deslizamientos por desestabilización de acantilados a efecto de la erosión marina en la base; como sucede en la zona de Puerto Matarani, Playa Las

Cuevas, Punta El Pesquero, entre otras. Dentro de esta zona, se ubican las localidades de Cabanaconde, Mina Sincona, Chaviña, Pescadores, anexo Barrera. También se encuentra trazada parte de la carretera Yauca-Laytaruma, tramos de la carretera Atico-Caraveli y algunos tramos de la Panamericana Sur (Puente Yauca, Chaviña, sector Cerro Arena) y varios tramos de la vía férrea Arequipa-Juliaca, carreteras de penetración a la región 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.

- En las zonas de **baja** susceptibilidad (18.61 %), se localizan obras de infraestructura vial muy importantes (Panamericana Sur, tramo que pasa por las pampas del Toro y Cincocruces; Chala-Morro Abra de los Chaparrinos, Pampas Mendoza, Yauca y Jahuay, 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. Asociados 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. También comprenden los abanicos aluviales de los ríos Acarí, Camaná; las terrazas de la cuenca media-baja del río Acarí, quebrada de Pescadores, Camaná, Colca, también las terrazas y llanuras inundables correspondientes al valle del río Yauca, Ocoña, Quilca-Vitor, Tambo. Dentro de esta zona, se tiene los poblados La Pampa, Yanacancha, Ancasi, Anonta, Accomma, 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.

- Las zonas de **muy baja** susceptibilidad (7.89 %) constituyen terrenos con laderas de inclinación llana donde 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. Esta zona 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 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 Arequipa, cubiertas en grandes extensiones por mantos de arena eólica. En esta zona, se encuentran trazados varios tramos de la carretera Panamericana Sur (entre Sor Ana de Los Ángeles-Estación Cachendo y tramos en la Pampa Sihuas) y de la carretera de acceso a Matarani (San Camilo-Estación Guerrero); la línea férrea del ferrocarril del Sur, tramo La Joya-Puerto Matarani, donde se asientan poblados importantes como Huchas Santa Rita de Sigwas, Fundo San Miguel, Hunter, entre otros.

6. Las inundaciones combinadas con la erosión fluvial son las que afectan principalmente a las poblaciones que se encuentran en los valles de los ríos Tambo, Quilca-Vitor-Sihuas, Majes-Camaná, Ocoña, Yauca, Acari Socabaya, Chili, Colca, quebrada de Pescadores, Chaparra, Chala y torrenteras de Arequipa. Estas ocurrencias se producen por desborde y cambio de nivel de agua de estos ríos y sus tributarios principales, y son las zonas de alta y muy alta susceptibilidad a las inundaciones y erosiones fluviales que corresponde el 14.04 % de la superficie total de la región.
7. En la región Arequipa, se han identificado un total de 134 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos. La mayor cantidad de zonas críticas a la ocurrencia de peligros geológicos se ubica principalmente en la provincia

de Arequipa (43) seguida por las provincias de Caylloma (24), Castilla (20), Caravelí (15), Camaná (10), Condesuyos (8), La Unión (8) e Islay (6). Cabe mencionar que las recomendaciones que se indican en este informe deben implementarse con la asesoría de especialistas.

8. Es importante resaltar que, a lo largo de su historia, la región Arequipa 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, este es el mayor problema que deben solucionar las autoridades competentes para disminuir las condiciones de riesgo existentes.
9. La ocurrencia de diferentes tipos de movimientos en masa en valles principales como Yauca, Ocoña, Camaná, Majes, Sigwas, Chili, Tambo, etc., donde se ubica infraestructura vial nacional o binacional que permite la interconexión comercial y abastecimiento de Arequipa, es muy frecuente. La pronta alternativa de vías seguras que contemplen estudios, construcción, supervisión y mantenimiento adecuados se hace necesaria para evitar pérdidas de vidas, pérdidas económicas e interrupción de las actividades comerciales en la región.





## RECOMENDACIONES

1. Para realizar una buena planificación urbana, se debe tener en cuenta los mapas de susceptibilidad a 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 y los procesos que originarían; con el fin es prevenir futuros desastres.
2. En las zonas que indicaron valores de susceptibilidad alta y muy alta, es necesario investigar con 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, con el fin de que sepan cómo actuar ante eventos catastróficos, así como brindarles 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

- Alva, J. (1981) - Bibliografía sobre los terremotos peruanos: aspectos ingenieriles. *El Ingeniero Civil*, 3(15): 50-51.
- 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. [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis16\\_a.pdf](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. [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf)
- Alva, J. & Chang L. (1987) - *Mapa de áreas de deslizamientos por sismos en el Perú* (en línea). En: Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 5, Lima, 1987, 11 p.. [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis18\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis18_a.pdf)
- Atencio, E. & Romero, D. (2000) - *Memoria Descriptiva de la Geología del cuadrángulo de Puquina 34-t, Escala 1:50,000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 15 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2048>
- Autoridad Nacional del Agua (2014) - *Inventario de glaciares y lagunas*. Lima: ANA, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, 35 p. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/374269/Inventario-de-Glaciares-y-Cuenca.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua (2012) - *Recursos hídricos en el Perú*. Lima: ANA, 491 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1888>
- 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. & Narváez, S. (1960) - Geología del cuadrángulo de Atico, Hoja 33-o. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín*, 2, 59 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/32>
- Bellido, E. & Guevara, C. (1963) - Geología de los cuadrángulos de Punta de Bombón y Clesesí (Hojas 35-s y 35-t). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín*, 5, 92 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/125>
- Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E & Audin, L. (2017) - Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en La región Arequipa. *Ingemmet. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 64, 390 p., 1 mapa. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1223>
- Bernal, I. & Tavera, H. (2002) - *Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 63 p.
- Caldas, J. (1978) - Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acari y Yauca. *Instituto de Geología y Minería, Boletín*, 30, 78 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/149>
- Caldas, J. (1993) - Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa, Hojas: 32-r, 31-r. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 46, 62 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/166>
- Carrara, A.; Cardinali, M.; Guzzetti, F. & Reichenbach, P. (1995) - GIS technology in mapping landslide hazard. En: Carrara, A. & Guzzetti, F., eds. *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 135-175.
- 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.
- Carpio, J. & Tavera, H. (2002) - Estructura de un catálogo de tsunamis para el Perú basado en el Catálogo de Gusiakov. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (94): 45-59.

- Cerpa, L.; Cereceda, C.; Torres, D.; Muñoz, L.; Aguilar, R. & Rodríguez, F. (2011) - Geología del cuadrángulo de Condoroma hoja 31-t, escala 1: 50 000. *INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 143, 83 p., 4 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/105>
- 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. <https://cutt.ly/gbYAUde>
- Cotrino, 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.
- Dávila, D. (1988) - Geología del cuadrángulo de Cailloma, hoja 31-s. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 40, 93 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/160>
- Dávila, D. (1991) - Geología del cuadrángulo de Pacapausa, hoja 30-p. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 41, 75 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/161>
- Dávila, J. (1999) - *Diccionario geológico*. 3a. ed. Lima: INGEMMET, 1006 p.
- Dávila, J. (2006) - *Diccionario geológico bilingüe español-inglés*. Lima: [s.e.], 696 p.
- Dávila, S. (1987) - *Inspección de la seguridad física de Madrigal, Dpto. de Arequipa*. Servicio de Geología y Minería, División de Geotecnia, Lima, 8 p. Informe Técnico A4281.
- De la Cruz, N. (1995) - Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, Hojas: 30-s, 30-t, 30-u y 30-v. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 58, 144 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/179>
- Díaz, G. & Milla, D. (2003) - *Revisión y actualización de los cuadrángulos de Jaqui (31-ñ), Coracora (31-o), Chala (32-ñ) y Chaparra (32-o), Escala 1:100 000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 57 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2058>
- Dumont, J.F. (1992) - Rasgos morfoestructurales de la llanura amazónica del Perú: efecto de la neotectónica sobre los cambios fluviales y la delimitación de las provincias morfológicas. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 21(3): 801-833.
- Empresa Editora El Comercio (2009) - *Atlas geográfico, económico y cultural del Perú: Volumen 12, Arequipa-Moquegua*. Lima: Producciones Cantabria, 95 p.
- Fidel, L.; Morche, W. & Núñez, S. (1997) - Inventario de volcanes del Perú. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 15, 90 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/304>
- Freeman, P.K.; Martin, L.A.; Linnerooth-Bayer, J.; Warner, K. & Pflug, G. (2003) - *Gestión de riesgo de desastres naturales: sistemas nacionales para la gestión integral del riesgo de desastres estrategias financieras para la reconstrucción en caso de desastres naturales* (en línea). Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo, 80 p. <https://cutt.ly/SbAQISB>
- García, W. (1968) - Geología de los cuadrángulos de Mollendo y La Joya (Hojas 34-r, 34-s). *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 19, 104 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/137>
- 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>
- García, W. & Guevara, C. (1963) - *Deslizamiento del cerro Quehuísa en los distritos de Lari y Madrigal (Provincia de Caylloma – Dpto. Arequipa)*, informe inédito. Lima: Comisión Carta Geológica Nacional, 13 p. Informe técnico A1283.
- Guevara, C. (1969) - Geología del cuadrángulo de Characato (hoja 33-t). *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 23, 53 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/141>
- Guizado, J. (1968) – Geología del cuadrángulo de Aplao. *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 20, 56 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/138>
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación, 732 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.

- Hoek, E. & Bray, J. (1981) - *Rocks slope engineering*. 3. ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 358 p.
- 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>
- Hylsky, J. (1970-1972) - *Erosión en cárcavas*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geología. Serie Oriente, 7-11. (Primera a quinta parte: capítulos 1 al 14).
- 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 Geológico Minero y Metalúrgico (2020) – *Monitoreo del deslizamiento Alto Sigvas periodo 2018-2019. Región Arequipa, provincia Caylloma, Arequipa, distritos Majes, San Juan de Sigvas*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 16 p. Informe Técnico A7032. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3048>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (1995-2013) - *Compendios Estadísticos* (en línea). Lima: INDECI, ediciones 1996-2013. (consulta: 05 julio 2015). <https://www.indeci.gob.pe/direccion-politicas-y-planos/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* (en línea). Lima: INEI, 181 p. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1533/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1533/)
- 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) - *Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017: Arequipa* (en línea). Lima: INEI, 14 t. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1551/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1551/)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018e) - *Resultados definitivos de los censos nacionales 2017. Perú*. Tomos I-XVI, 18 255 p.
- Instituto Nacional de Vías (1998) – *Manual de estabilidad de taludes – Geotecnia Vial*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 340 p.
- Lain, L.; Llorente, M.; Díez, A.; Rubio, J.; Maldonado, A., et al. (2011) - *Mapas de peligrosidad geológica en el término municipal de Albuñol (Granada)*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 160 p. Informes Técnicos, 3.
- León W.; Palacios, O. & Torres, V. (2000) - *Sinopsis sobre la revisión de la geología de los cuadrángulos de Atico, Ocoña, Camaná, La Yesera, Aplao y Mollendo*, Escala 1:100,000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 8 p., 6 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2038>
- León, W. & Torres, V. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Punta Grande (29-k), Ica (29-l), Lomitas (30-l), Palpa (30-m), San Juan (31-m), Acarí (31-n) y Yauca (32-n)*, Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 26 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2069>
- Lipa, V.; Valdivia, W. & Carrasco, S. (2001) – *Memoria explicativa de la revisión geológica del cuadrángulo de Ichuña (33-u)*, Escala 1:50 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 12 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2040>
- Luque, G. & Rosado, M. (2014) - *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p.
- 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.; Rivera, M.; Thouret, J.C. & Macedo, L. (2016) - Geología y mapa de peligros del volcán Misti. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 60, 170 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/310>
- Marocco, R. & Del Pino, M. (1966) - Geología del cuadrángulo de Ichuña (hoja 33-u). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín*, 14, 57 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/131>



- Martínez, W. & Cervantes, J. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Pausa (31-p), Escala 1:100,000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero Y Metalúrgico, 19 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2067>
- 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>
- Mendivil, S. & Castillo, W. (1960) - Geología del cuadrángulo de Ocoña (Hoja 33-p). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín*, 3, 54 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/33>
- 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. [http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)
- Núñez, S. & Gómez, D. (2012) - *Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Tambo. Reporte preliminar de zonas críticas por peligro geológico cuenca del río Tambo. Regiones Arequipa, Moquegua y Puno*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Informe Técnico, 53 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2013>
- 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.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1976) - *Mapa ecológico del Perú a Escala 1:1.000.000: guía explicativa*. Lima: ONERN, 146 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1052>
- Olchouski, E. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, Hojas 31-ñ, 31-o, 32-ñ, 32-o. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 34, 69 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/153>
- Olchouski, E. & Dávila, D. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, Hojas: 32-q, 31-q. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 50, 52 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/171>
- Palacios, O.; De La Cruz, J.; De La Cruz, N.; Klinck, B.A.; Allison, R.A. & Hawkins, M.P. (1993) - Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca - Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 42, 257 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/162>
- Palacios, O. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 51, 73 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/172>
- Pecho, V. & Morales, G. (1969) - Geología de los cuadrángulos de Camaná y La Yesera. *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 21, 72 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/139>
- Pecho, V. (1983) - Geología de los cuadrángulos de Pausa y Caravelí, Hojas: 31-p y 32-p. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 37, 125 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/156>
- Perú. Marina de Guerra. Dirección de Hidrografía y Navegación (2018) - *Carta de inundación* (en línea). Lima: Dirección de Hidrografía y Navegación. (consulta: 5 mayo 2018). Disponible en: [https://www.dhn.mil.pe/secciones/departamentos/oceanografia/apps/cartastsunamis/tsunamis\\_preencion/tsunamis\\_inundacion.htm](https://www.dhn.mil.pe/secciones/departamentos/oceanografia/apps/cartastsunamis/tsunamis_preencion/tsunamis_inundacion.htm)
- Perú. Ministerio de Economía y Finanzas. Dirección General de Programación Multianual del Sector Público (2010) - *Evaluación de la rentabilidad social de las medidas de reducción del riesgo de desastre en los proyectos de inversión pública* (en línea). Lima: MEF, 107 p. Serie Sistema Nacional de Inversión Pública y la Gestión del Riesgo de Desastres, 4.
- Perú. Ministerio de Educación (2017) - *ESCALE Estadísticas de la Calidad Educativa. Magnitudes*. (Padrón de locales escolares, matrículas por tipo de gestión y área del departamento de Arequipa). Consultado el 21 de enero de 2018. <http://escale.minedu.gob.pe/magnitudes>
- 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: MINSAL, 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. Ministerio del Ambiente (2015) - *Mapa nacional de cobertura vegetal: Memoria descriptiva* (en línea). Lima: MINAM, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, 105 p. <https://cutt.ly/cbDoh0o>
- 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. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Quispesivana, L. & Navarro, P. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (33-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p)*, Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 42 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2052>
- Ramírez, P. & Alejano, L. (2008) - *Mecánica de Rocas: Fundamentos e ingeniería de Taludes*. [Madrid]: Red DESIR, 728 p.
- Rivera, M.; Mariño, J.; Samaniego, P.; Delgado, R. & Manrique, N. (2016) – Geología y evaluación de peligros del Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya (Arequipa). *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 61, 122 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/297>
- Rodríguez, R.; Palomino, F. & Cuellar, E. (2000) - Mapa geológico del cuadrángulo de Pichacani (33-v), Escala 1:50 000. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 4 mapas.
- Romero, D. & Ticona, P. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huambo (32-r)*, escala 1:50 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 28 p., 4 mapas
- Salas, G.; Chávez, A.; Aguilar, E.; Chávez, E.; Lajo, J., et al. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chulca (30-q), Cayarani (30-r), Cotahuasi (31-q) y Orcopampa (31-r)*, Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 67 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2054>
- 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), Huaylillas (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>
- 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 Áreas Naturales Protegidas por el Estado (2017) - *Áreas naturales protegidas de administración nacional con categoría definitiva* (en línea). Lima: SERNANP. (consulta: abril 2017). Disponible en: <<http://www.sernanp.gob.pe/documents/10181/165150/Listado+ANP+12.02.2019.pdf/d9f3ac65-ecf6-42ce-a8d3-941a1708e2e0>>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2010) - *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/SENAHII/02\\_precipitacion.jpg](http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Images/Atlas/SENAHII/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](http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Images/Atlas/SENAMHI/05_pp_nino.jpg)>
- Sharp, J.C.; Ley, G.M.M. & Sage, R. (1977) - *Pit slope manual. Chapter 4: Groundwater* (en línea). Ottawa: Canada Centre for Mineral and Energy Technology, 240 p., Canmet Report 77-13. <http://publications.gc.ca/site/eng/9.865773/publication.html>
- 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>
- Tavera, H. (2017) – *Mapa sísmico del Perú 2017*. (en línea). Lima: Instituto Geofísico del Perú. (consulta: 15 junio 2017). Disponible en: <[https://scts.igp.gob.pe/sites/scts.igp.gob.pe/files/mapas/mapa-sismico/2017/Mapa\\_sismico\\_2017\\_B1.pdf](https://scts.igp.gob.pe/sites/scts.igp.gob.pe/files/mapas/mapa-sismico/2017/Mapa_sismico_2017_B1.pdf)>
- 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>
- Torres, D.; Santos, A.; Ccallo, W.; Soberon, D.; Weimin, G.; Junan, L.; Yong, Z. & Ming, X. ((2017) - Geología de los cuadrángulos de Atico y Cháparra hojas 33o y 32o, (Actualización de la Carta Geológica Nacional, escala:1:100 000). *INGEMMET, Boletín*, 149, 189 p., 2 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1009>
- Valencia, M. & Chacaltana, C. (2000) - *Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de La Joya (34-s), Escala 1:50 000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 11 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2042>
- Vargas, L. (1970) - Geología del cuadrángulo de Arequipa. *Servicio de Geología y Minería, Boletín*, 24, 64 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/142>
- 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.
- 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.
- Zavala, B. (2017) - *Aspectos geológicos y geomorfológicos del valle y cañón de Cotahuasi (Reserva paisajística Subcuenca de Cotahuasi, provincia La Unión, Arequipa)*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 10 p. Informe Técnico A6779. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/921>
- Zavala, B.; Mariño, J.; Lacroix, P.; Taipe, E. ; Tatard, L., et al. (2012) - *Evaluación de la seguridad física del distrito de Maca: Estudios geológicos, geofísicos y monitoreo de movimientos en masa. Provincia de Caylloma, región Arequipa*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 159 p. Informe Técnico A6628. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1494>
- Zavala, B.; Núñez, S. & Gómez, D. (2012) - *Estudio geoambiental en la cuenca Quilca-Vitor-Chili. Reporte preliminar de zonas críticas por peligros geológicos. Región Arequipa*. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 48 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2012>
- Zavala, B.; Vilchez, M. & Rosado, M. (2008) - *Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, Primer reporte*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 36 p. Informe Técnico A6540. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2011>
- Zavala, B.; Vilchez, M. & Rosado, M. (2009) - *Aspectos geodinámicos en los distritos de Lari, Madrigal y Maca. Provincia Cailloma, región Arequipa*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 24 p. Informe Técnico A6779. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1970>
- Zavala, B.; Vilchez, M.; Rosado, M.; Pari, W. & Peña, F. (2014) - Estudio geoambiental en la cuenca del río Colca. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 57, 236 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/293>.



## ANEXOS

Anexo I.I	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Caleta Lomas
Anexo I.II	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Puerto Chala
Anexo I.III	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Atico
Anexo I.IV	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector La Planchada
Anexo I.V	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Balneario Camaná "A"
Anexo I.VI	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Balneario Camaná "B"
Anexo I.VII	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Balneario Camaná "C"
Anexo I.VIII	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Caleta Quilca
Anexo I.IX	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Puerto Matarani
Anexo I.X	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Puerto Mollendo
Anexo I.XI	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Balneario Mejia
Anexo I.XII	Cartas de inundación en caso de tsunami en el sector Punta Bombón

Los anexos están disponibles en formato digital desde el Repositorio Institucional del Ingemmet en la siguiente dirección:  
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>



## 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 Arequipa.
Figura 2.2	Perfil físico y servicios básicos de las viviendas del departamento de Arequipa.
Figura 2.3	Principales unidades mineras en producción y proyectos mineros en el departamento de Arequipa.
Figura 2.4	Infraestructura vial, agrícola, minera y energética del departamento Arequipa.
Figura 2.5	Mapa climático del departamento de Arequipa (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010a).
Figura 2.6	Mapa de isoyetas de Arequipa para el periodo lluvioso, setiembre-mayo (arriba) y con presencia del Fenómeno El Niño 1997-1998 (abajo). Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010 b y c.
Figura 2.7	Mapa de cuencas hidrográficas de la región Arequipa.
Figura 2.8	Áreas Naturales Protegidas en el departamento Arequipa. Fuente: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, SERNANP actualizadas al 2018.
Figura 4.1	Se observa las laderas de la unidad de montaña con dominio estructural (paquetes de estrato) de areniscas, cuarcitas y lutitas del Grupo Yura. Frente al poblado El Dique, en el distrito de Uraca, provincia de Castilla. Imagen del Google Earth.
Figura 4.2	Vistas de los nevados Pichu Pichu y Ampato.
Figura 4.3	Caldera del volcán Misti de 935 m de largo y 150 m de alto en las paredes. En el extremo sureste, se ubica el cráter anidado de 530 m de diámetro. Fotografía aérea tomada en dirección norte (Servicio Aerofotográfico Nacional, 1943).
Figura 4.4	Domos y domo-coladas del Chachani, que se levantan sobre la planicie ignimbrítica que ha sido cubierta parcialmente por flujos de lavas del volcán Chachani y por donde se encuentra el Aeropuerto Internacional Rodríguez Ballón, en la ciudad de Arequipa (imagen del Google Earth).
Figura 4.5	Vistas del estratovolcán Misti situado al noreste de la ciudad de Arequipa, donde se puede observar el avance acelerado de viviendas (1947-2018) sobre la planicie ignimbrítica.

- Figura 4.6 Vista del valle de Andahua, donde sobresalen los conos volcánicos monogenéticos (Imagen del Google Earth).
- Figura 4.7 Vertiente de gelifractos acumulados al pie del nevado Solinama afectada por el retroceso glaciar; distrito de Chichas, provincia de Condesuyos.
- Figura 4.8 Terrenos planos en ambas márgenes del río Sihuas y Vitor, en los distritos de Quilca, Santa Rita de Sigwas y Majes, provincias de Camaná y Caylloma.
- Figura 4.9 A) Vista de la presa Angostura. B) Lagunas de Mejía ubicadas en el distrito de Dean Valdivia, provincia de Islay.
- Figura 4.10 Imagen Google Earth, vista panorámica del tajo abierto y área de operaciones mineras de Cerro Verde.
- 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 de reptación.
- Figura 6.8 Ubicación y trayectoria de las cinco torrenteras que atraviesan la ciudad de Arequipa, en la margen izquierda del río Chili.
- Figura 6.9 Esquema de erosión fluvial.
- Figura 6.10 Erosión en cárcavas que afectan al talud superior e inferior de carretera.
- Figura 6.11 Mapa de isosistas del sismo del 24 de noviembre de 1604, Arequipa (Silgado, 1985) y del sismo del 13 de agosto de 1868, Arica-Arequipa (Askew y Algermissen, 1985).
- Figura 6.12 Esquema de erosión fluvial.
- Figura 6.13 Erosión en cárcavas que afectan al talud superior e inferior de carretera.
- Figura 6.14 Mapa de isosistas del sismo del 24 de noviembre de 1604, Arequipa (Silgado, 1985) y del sismo del 13 de agosto de 1868, Arica-Arequipa (Askew y Algermissen, 1985).
- Figura 6.15 Mapa de isosistas del sismo del 13 de agosto de 1868, Arica-Arequipa (Silgado, 1983) y del sismo del 23 de junio del 2001, Arequipa (Tavera *et al.*, 2002).
- Figura 6.16 Distribución de máximas intensidades sísmicas en la región Arequipa (Alva *et al.*, 1984).
- Figura 6.17 Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la región Arequipa con una sección sísmica transversal A-A' (SO-NE). Fuente: Tavera, 2017.
- Figura 6.18 Aceleraciones sísmicas máximas para 20 años de la región Arequipa (para un 10 % de excedencia).
- Figura 6.19 Aceleraciones sísmicas máximas para 50 años de la región Arequipa (para un 10 % de excedencia).
- Figura 6.20 Aceleraciones sísmicas máximas para 100 años de la región Arequipa (para un 10 % de excedencia).
- Figura 6.21 Zonificación Sísmica del Perú. Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016.
- Figura 6.22 Mapa neotectónico de la región Arequipa (Benavente *et al.*, 2017).
- Figura 6.23 Curva de peligro anual para el poblado de Cotahuasi (-15.21 S, - 72.89 W).
- Figura 6.24 Curva de peligro anual para el poblado de Chala (-15.85 S, - 74.25 W).
- Figura 6.25 Mapa neotectónico de la región Arequipa (Benavente *et al.*, 2017).
- Figura 7.1 Vistas del sector Machaynioc afectado por erosión fluvial en la margen derecha del río Machaynioc. El poblado se encuentra sobre depósitos de flujos antiguos como se muestra en la imagen del Google Earth.
- Figura 7.2 A) Arenamiento en el sector Acari, cerro El Toro, que afecta terrenos agrícolas. B y C) Inundación en el sector Chaviña. Aún se observan restos de antiguo puente.



- Figura 7.3** A) Área sujeta a inundación fluvial en ambas márgenes del río Yauca. B) Arenamiento en la margen izquierda del río Yauca. C) Derrumbes en talud superior de la carretera Panamericana Sur en depósitos de conglomerados y de arena. D) Invasión de dunas en carretera Panamericana Sur, km 578+000.
- Figura 7.4** A) Derrumbes en talud superior de la carretera Panamericana con presencia de asentamientos en plataforma de la carretera Panamericana Sur km 615+100 al km 616+200. B) Sector de La Aguadita afectado por derrumbes y caída de rocas que afectaron camino peatonal a la playa. C) Quebradas Cementerio y Chala. Aguas arriba de la quebrada Cementerio, se ha obstruido el cauce de la quebrada con rellenos. Tomado el 03 de octubre del 2013, después del sismo del 25/09/13.
- Figura 7.5** Derrumbes en depósitos eólicos y marinos en el km 648+000 de la carretera Panamericana Sur.
- Figura 7.6** Poblado Tiruque se encuentra sobre abanico en margen izquierda del río Chaparra, km 55+800. B) Quebrada Rinconada forma un abanico en la margen izquierda del río Chaparra. Sobre depósito antiguo, se encuentra asentado el poblado El Convento.
- Figura 7.7** A) Erosión fluvial en la margen izquierda del río Atico, en el km 11+420 de la carretera Atico-Caravelí. B, C y D) Derrumbes en talud superior de carretera Atico-Caravelí, en los km 22+250, km 18+320, km 21+300 respectivamente.
- Figura 7.8** A) Erosión fluvial en la margen derecha del río Atico. B) Erosión fluvial en la margen derecha del río Atico. C) Puente La Florida. D) Puente Atico presenta daños en estribo derecho del puente.
- Figura 7.9** Vistas de arenamiento en cerro de Arena, en el km 743 de la carretera Panamericana Sur.
- Figura 7.10** Vista panorámica del poblado de Caravelí, ubicado sobre depósitos proluviales, dejados por huaicos muy antiguos.
- Figura 7.11** Quebrada Pescadores: Todos los años acarrea huaicos y obstruye vía en el km 755 de la carretera Panamericana Sur.
- Figura 7.12** Caída de rocas en el km 766 de la carretera Panamericana Sur, sector La Planchada, distrito de Atico.
- Figura 7.13** Zona de huaicos en el sector Pueblo Viejo. Con flechas rojas, se indica la dirección de antiguas ocurrencias de huaicos. Imagen Google Earth.
- Figura 7.14** Zona de huaicos en el poblado Urasqui y alrededores. Con flechas rojas, se indican la dirección de antiguas ocurrencias de huaicos. Imagen Google Earth.
- Figura 7.15** Crecimiento urbanístico de Secocha (2004-2009) sobre depósitos de antiguos huaicos. Imagen Google Earth.
- Figura 7.16** A) Vista aguas arriba del río Camaná: frente a la quebrada Puluviñas; área susceptible a inundación con avenidas estacionales. B) Erosión en el río Camaná en la margen izquierda frente a Cardos. Se distingue el enrocado colocado en este sector.
- Figura 7.17** Zona de huaicos y caída de rocas en el poblado Iquipi y alrededores. Las flechas rojas indican la dirección de huaicos. Imagen Google Earth.
- Figura 7.18** El poblado Barrera se ubica sobre un huaico antiguo. Las flechas de color rojo indican la dirección de este flujo. Imagen Google Earth.
- Figura 7.19** El poblado San Juan de Chorunga se ubica sobre un flujo antiguo. Las flechas rojas indican la dirección de estos huaicos. Imagen Google Earth.
- Figura 7.20** Presencia de huaicos, derrumbes y cárcavas en el sector Vilcane. Imagen Google Earth.
- Figura 7.21** A) Carretera a Chichas – Yachanguillo, a la altura del km 7+120 afectada por derrumbes y huaicos. Se observa el substrato de mala calidad. B) Derrumbes y erosión en cárcavas en el sector Chichas.
- Figura 7.22** Se observa procesos de erosión fluvial que podrían afectar viviendas y tierras de cultivo del sector Yachanguillo. Además, se observa ocurrencias de flujos de detritos. Imagen Google Earth Pro.
- Figura 7.23** Se observa la población de Chichas asentada sobre depósitos de flujos antiguos provenientes de la quebrada Añavilca. Imagen Google Earth.

- Figura 7.24 Se observa que la población de Allancay está asentada entre el río Sañucanta y la quebrada Challallauca. Imagen Google Earth.
- Figura 7.25 Poblado de Huarhua asentado sobre depósito coluvio-deluvial susceptible a proceso de erosión en cárcava y deslizamientos. También se observa carretera de acceso que podría ser afectada por derrumbes. Imagen Google Earth.
- Figura 7.26 En sector de Chacaylla, se observan viviendas sobre antiguos depósitos de flujos de detritos con presencia de erosión en cárcava. Imagen Google Earth.
- Figura 7.27 Población de la Urbanización Pampa de Aymaña III Etapa, ubicada en la margen izquierda de río Cotahua. Además, se observa la ribera del río, susceptible a pequeños derrumbes, erosión en cárcava y fluvial. Imagen Google Earth.
- Figura 7.28 Carretera de acceso entre Cotahuasi y Chuquibamba (Km 8+100) afectada y susceptible a derrumbes por corte de talud para su construcción. Imagen Google Earth.
- Figura 7.29 Tramo de carretera de acceso al poblado Puyca con muy alta susceptibilidad a derrumbes y caídas de rocas. Imagen Google Earth.
- Figura 7.30 Laderas del cerro Pichihua con erosión en cárcavas y flujos de detritos que afectan periódicamente un tramo de la carretera Andahua-Orcopampa.
- Figura 7.31 Erosión de laderas que han afectado un tramo de carretera en más de un kilómetro en el sector Lomas de Mamas.
- Figura 7.32 Sector de Andamayo. Tramo de carretera de acceso a Tipan y Viraco que en épocas de lluvia es intransitable.
- Figura 7.33 Viviendas de Aplao, Casquina y Cosos asentadas en material proluvial que en épocas de precipitaciones fuertes pueden resultar afectadas, en la margen derecha del río Majes. Imagen Google Earth.
- Figura 7.34 Carretera entre Huambo y Alto Sihuas. Derrumbe en la margen izquierda de la quebrada Mulapampa, erosión por el huaico generado aguas abajo.
- Figura 7.35 Constantes derrumbes en el poblado de Ajpi por lo que los pobladores han tenido que ser reubicados. Imagen Google Earth.
- Figura 7.36 Vista panorámica de los deslizamientos de Lari y Madrigal en la margen derecha del río Colca. Se distingue con líneas punteadas de color amarillo a las escarpas superiores irregulares. Terrenos escalonados en el material deslizado, con afloramientos de agua y basculamiento del terreno en el pie del deslizamiento. También presenta erosión o socavamiento del río Colca. Imagen Google Earth.
- Figura 7.37 Sector Tapay – Malata, deslizamiento antiguo que produjo el asentamiento de la ladera donde se han ubicado dichos poblados. Además, caída de rocas desde laderas superiores.
- Figura 7.38 Ortomosaico del deslizamiento de Maca.
- Figura 7.39 Deslizamiento rotacional de Maca-Chacaña que afecta al distrito de Maca y la carretera hacia Cabanaconde (fotografía arriba). Reactivación de deslizamiento por construcción de carretera entre Maca y Lari (foto abajo).
- Figura 7.40 Vistas del deslizamiento de Maca-Chacaña.
- Figura 7.41 Vistas panorámicas y de detalle de los sectores de Baños Termales “La Calera”, Pucaloma y Hospedaje el Bosque. Se ven afectados por deslizamientos, caídas de rocas y flujos que afectan la infraestructura del lugar y los vehículos que transitan por la zona.
- Figura 7.42 Deslizamiento rotacional que en el año 2005 produjo asentamientos de terrenos afectando la casa de maestranza de la bocatoma de Tuti.
- Figura 7.43 Sector de Callalli. Tramo de carretera de unos 600 m que se ve afectado por derrumbes y huaicos.
- Figura 7.44 A) Deslizamiento antiguo en el sector Huasamayoc, aprovechado como terreno de cultivo. B) Deslizamiento en el sector Puente Vasco.
- Figura 7.45 A) Taludes propensos a caída de rocas y derrumbes en tramo de la variante de Uchumayo. B) Rocas fracturadas que pueden generar caídas de rocas. Antigua carretera Panamericana.

- Figura 7.46** Cabecera de la torrentera Venezuela presenta derrumbes, caída de rocas, erosión de laderas por la que, en época de lluvias excepcionales como las ocurridas el 08/02/2013, discurren huaicos por las laderas con material suelto, que aportan material al cauce de la torrentera. Además, se aprecia el mal diseño de obras como en la foto del lado izquierdo en el sector Mariano Bustamante, Villa Alto Cenepa, y derrumbes y huaicos en el A.H Villa El Triunfo.
- Figura 7.47** A) Caída de rocas en el puente Arnao Tahuantinsuyo. B) Fuerte erosión y colapso de muros de viviendas dentro del cauce de la torrentera, puente Arnao.
- Figura 7.48** Flujo de detritos y derrumbes en ambas márgenes de la torrentera S/N. Cabecera de la torrentera Venezuela, sector San Juan XXIII, confluencia de ramal I y II. En la margen izquierda, se observa una plataforma deportiva.
- Figura 7.49** Erosión fluvial en la margen derecha de la torrentera Venezuela se llevó parte plataforma de la vía de la Av. Venezuela hasta la berma central, de aprox. 135 m de longitud y un ancho de 11 m.
- Figura 7.50** Vistas del estrangulamiento del cauce de la torrentera Venezuela, afectado por inundaciones de lodo. El depósito alcanzó hasta 1 m de altura.
- Figura 7.51** A) Colapso de muros de contención en la margen izquierda de torrentera, con pérdida de plataforma de la calle Virgen del Pilar. Este colapso permitió el descubrimiento de un muro antiguo a más de 1 m detrás del actual con 17 m de ancho. B) Colapso de muros de los puestos del mercado del Altiplano. C) El cauce de la torrentera se ha estrechado a 4.54 m de ancho por construcción de edificaciones. Por efecto del flujo, socavó los cimientos del muro de contención en la margen izquierda, lo que generó el colapso de las columnas de la fábrica textil y el rebose en ambas márgenes, en el pasaje Victoria. El puente en forma de arco a 11 m aguas abajo tiene un ancho de 3.78 m, el cual estranguló aún más la torrentera. D) Intersección de la Av. Venezuela con el pasaje Jacinto Ibáñez, frente a la Urb. Juan El Bueno. Allí se encuentran ubicadas 6 viviendas y un total de 20 personas que habitan dicho espacio. En la margen derecha de la torrentera, pese a que se realizó la limpieza del cauce, es evidente que las viviendas han avanzado hacia el cauce de la torrentera. Al incrementar el caudal de la torrentera el 8 de febrero, se represó debido a un obstáculo en el puente Vidaurrázaga (letrero de centro comercial). Al desfogar, erosionó 93 m en su margen derecha. E) El cauce de torrenteras se encuentra invadido por edificaciones que, por ganar terreno, han construido por encima de la torrentera.
- Figura 7.52** Presenta erosión de la vía asfaltada en la Av. Venezuela, debido al socavamiento de los cimientos de muros de sillar del mercado que generó el colapso de los mismos en el mercado Mariscal Castilla.
- Figura 7.53** A y B) Las cabeceras de las torrenteras se encuentran afectadas por deslizamientos y flujos. Además, los cauces se encuentran colmatados de material, sector La Rinconada, distrito Mariano Melgar. C) Av. Los Incas y Agricultura (altura de la Gerencia Regional de Salud). Estrechamiento del cauce por obras del bypass de 13 a 4 m de ancho con muros de contención de 4 a 5 m de alto.
- Figura 7.54** A) Erosión de laderas de tipo cárcavas y derrumbes en ambas márgenes de la quebrada San Lázaro (parte alta) aportan material suelto al cauce de la quebrada. B) Presencia de canteras en el cauce de la quebrada San Lázaro acumula material suelto. C y D) Viviendas se encuentran al borde del acantilado formado en la quebrada San Lázaro, algunas ya han colapsado. E). Desmonte y basura acumulada en la parte alta de la quebrada San Lázaro. F) Plataforma deportiva en terraza baja de la quebrada San Lázaro.
- Figura 7.55** Laderas y taludes propensos a caída de rocas y derrumbes en el cañón del río Chili (ambas márgenes) que obstaculizarían el tránsito y afectan las centrales hidroeléctricas en Charcani.
- Figura 7.56** Flujos de detritos excepcionales que afectan tramo de carretera Yura-Huanca-Lluta, así como acceso a las canteras de las minas de calizas de Cementos Yura.
- Figura 7.57** Quebrada Liquirca aumentó su caudal en el periodo lluvioso 2012, lo que generó erosión fluvial en la margen derecha, afectando tramo carretero Yura-Huanca en 100 m (Km 9+720).
- Figura 7.58** Deslizamientos con represamientos parciales del valle de Sigüas, sector Pachaqui / Santa Ana.
- Figura 7.59** Evolución de la escarpa principal del deslizamiento de Sigüas y distancias mínimas a la infraestructura amenazada. Vista de un ortomosaico con resolución de 3.7 cm/pixel (Taipe & Huanca, 2018).

- Figura 7.60 Imagen satelital del Google Earth del sector de Desamparados. Se muestra la defensa ribereña, el círculo de color rojo de línea entrecortada es el área afectada por la erosión fluvial. Los sectores con líneas de color azul entrecortadas son las quebradas que pueden generar flujos de detritos.
- Figura 7.61 Imagen satelital del Google Earth. Se muestra en centro poblado El Toro, ubicado en un depósito proluvial generado por la quebrada en la margen derecha del río Tambo.
- Figura 7.62 Imagen satelital del Google Earth, sector de Santa María. Se resalta en círculos de color amarillo las áreas que pueden ser afectadas por flujos de detritos en la margen izquierda del río Tambo.
- Figura 7.63 Imagen satelital del Google Earth, sector de Carrizal. En círculo amarillo se ven las zonas rurales que pueden ser afectadas por flujos.
- Figura 8.1 Métodos más frecuentes para aumentar el coeficiente de seguridad en taludes de suelos (González, 2002).
- Figura 8.2 Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González *et al.*, 2002).
- 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 (Jiménez *et al.*, 1976).
- Figura 8.6 Muros de gravedad.
- Figura 8.7 Muros aligerados: a) muro en L, b) muro con contrafuertes en el intradós (Jiménez, 1976).
- 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 (modificado de Canmet, 1977).
- 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 (Rodríguez, Ortiz, 1997).
- 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 amazón 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 (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 desaguaderos naturales (Tomado de Instituto Nacional de Vías-Colombia-1998).
- Figura 8.23 Canales de desvío.



- Figura 8.24 Gaviones para encauzar el lecho del río (Fuente: Ingemmet, 2003).
- 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).

### Fotografías

- Fotografía 3.1 Vista de depósitos fluviales en el río Acarí, sector Acarí, con vista al Noreste.
- Fotografía 3.2 Depósito proluvial en ambas márgenes de la quebrada San Lázaro, Soc. Minera de Responsabilidad Ltda., Ampliación de la Torrentera San Lázaro. Es posible observar la cantidad de grabas y bloques que acarreoó el evento, con vista al Noroeste.
- Fotografía 3.3 Depósitos coluviales en talud superior de la carretera Atico-Caravelí desde el km 40+000 al km 43+000 aproximadamente, en laderas del cerro Pan de Azúcar en la margen derecha del río Atico.
- Fotografía 3.4 Depósito bofedal en el sector Pampa Calera, en la margen derecha del río Apurímac, con vista al Noroeste.
- Fotografía 3.5 Depósitos de flujos piroclásticos y ceniza del volcán Chachani en ambas márgenes de la quebrada Gamarra, sector AA.HH. Los Jardines de Chachani a inmediaciones del aeropuerto Rodríguez Ballón.
- Fotografía 3.6 Depósito de arenas poco consolidadas, en el km 645+000 de la carretera Panamericana Sur, sector Playa Arenosa, con vista hacia el Norte.
- Fotografía 3.7 Depósito marino constituido de capas de arenas con lentes de conchuelas en el sector Playa El Horno, Quilca, con vista hacia el Norte.
- Fotografía 3.8 Afloramiento de granodiorita de grano grueso de la S.U. Tiabaya en la margen izquierda del río Acarí, laderas del cerro Cuesta Huarato.
- Fotografía 3.9 Afloramiento de ignimbritas de la Formación Añashuayco en la cantera Cañaguaro, margen derecha del río Chili, distrito Cerro Colorado (tomada del Google Earth)..
- Fotografía 3.10 Afloramiento de ignimbritas soldadas con presencia de “fiammes” alineados en forma horizontal de la Formación Añashuayco en el sector Charcani Chico, margen izquierda del río Chili, distrito de Cayma.
- Fotografía 3.11 Derrames andesíticos de la Formación Copara, en talud superior de la carretera Yauca-Jaqui en laderas del cerro Mendoza, con vista al Noroeste.
- Fotografía 4.1 Relieve de montañas modeladas en roca intrusiva en el cerro Santa Rosa, en la margen derecha del río Acarí, sector Santa Rosa.
- Fotografía 4.2 Montaña en roca metamórfica, en el cerro Cuesta de Lima, en ambas márgenes de la quebrada Pescadores, con vista al Noreste.
- Fotografía 4.3 En la foto se observan las subunidades de montañas y colinas en rocas tipo monzonitas de la Super unidad Incahuasi. Está ubicada al este del centro poblado El Convento en el distrito de Chaparra de la provincia de Caravelí.
- Fotografía 4.4 Montañas y colinas en roca metamórfica del complejo Basal de la Costa en el sector en ambas márgenes de la quebrada Pescadores.
- Fotografía 4.5 Vista de relieves de montañas y colinas en rocas sedimentarias que muestran laderas con carcavamiento. En el fondo a la derecha de la vista se observa los nevados del volcán Ampato.

- Fotografía 4.6 Relieve de montañas y colinas en brechas volcánicas y lavas andesíticas de la Formación Chocolate, en el sector Quaragua Chico en el distrito de Chaparra, provincia de Caravelí.
- Fotografía 4.7 Relieve de colinas en roca metamórfica en el sector Platanal.
- Fotografía 4.8 Colinas en rocas volcánico-sedimentarias en el cerro Amanterani, parte superior del río Yura.
- Fotografía 4.9 Colinas estructurales en ambas márgenes del río Colca. Vista aguas arriba de la represa de Condoroma.
- Fotografía 4.10 Colinas y lomadas en roca intrusiva de la Unidad Linga, en Loma Alto Bombón, en la margen derecha de la quebrada Corral Peña.
- Fotografía 4.11 Sector suroeste de la ciudad de Arequipa; colinas alargadas intrusivas ocupadas por la expansión creciente de la ciudad en el distrito de Jacobo Hunter.
- Fotografía 4.12 Cráter del volcán Sabancaya con pequeñas emisiones de fumarolas tenues (Rivera *et al.*, 2016).
- Fotografía 4.13 El Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya, a 70 km al NO de la ciudad de Arequipa, en la provincia de Caylloma.
- Fotografía 4.14 Superficie con flujo piroclástico en el sector Cuesta de Bombón, provincia de Caravelí, con vista al Sureste.
- Fotografía 4.15 Abanico de piedemonte en la desembocadura de la quebrada que confluye en la margen derecha del río Chaparra, sector Convento.
- Fotografía 4.16 Acumulación de depósitos de piedemonte aluvio-lacustre (paleolago Colca), en la margen derecha del río Colca, frente a Achoma (Zavala *et al.*, 2014).
- Fotografía 4.17 Piedemonte aluvio-torrencial, compuesto por una superposición de abanicos proluviales de quebradas secas activadas con lluvias excepcionales en quebrada del Cerro Santo en la margen derecha del río Atico.
- Fotografía 4.18 Canchales de detritos en laderas del cerro Molle del Gato, en la margen derecha del río Atico.
- Fotografía 4.19 Depósitos de deslizamiento en el sector Madrigal (Zavala, *et al.*, 2014).
- Fotografía 4.20 Vista de bofedales en el sector Cachimayo, confluencia de la quebrada Cachimayo y río Hornillos, distrito de Sibayo, provincia de Caylloma.
- Fotografía 4.21 Dunas trepadoras y manto de arena en el cerro Azul, en la margen derecha de la quebrada Yerbabuena, con vista hacia el Norte.
- Fotografía 4.22 Campo de dunas en la pampa San José, con vista hacia el Oeste.
- Fotografía 4.23 Playa Catarindo en el sector Mollendo, con vista al Oeste.
- Fotografía 4.24 Acantilado en el puerto Matarani, distrito y provincia de Islay, con vista al Noroeste.
- Fotografía 4.25 Llanura inundable en ambas márgenes del río Quilca, aprovechado para uso agrícola, con vista al Sur.
- Fotografía 4.26 Mantos de arena en Loma La Yesera, distrito de Ocoña, provincia de Camaná.
- Fotografía 4.27 Mantos de arena en el sector Cerro de Arena, en las Lomas Agua Blanca, en el distrito de Atico, provincia de Caravelí.
- Fotografía 4.28 Valle de la quebrada Pescadores, sector Pescadores. Se aprecia un valle encajonado en donde se puede diferenciar su cauce o llanura de inundación y amplias terrazas aluviales en ambas márgenes, ocupadas por terrenos agrícolas.
- Fotografía 4.29 Terrazas aluviales en ambas márgenes de la quebrada Huarangal, sector Balcones de Chilina.
- Fotografía 4.30 Terraza marina en el sector Playa Las Cuevas, en el distrito de Punta de Bombón, provincia de Islay, con vista al Noroeste.
- Fotografía 6.1 Huaico en la margen derecha del río Atico, altura del km 22+250 de la carretera Atico-Caravelí.
- Fotografía 6.2 Huaico en la quebrada Pescadores, que cruza la carretera Panamericana Sur y deja aislada a una gran parte del poblado del mismo nombre.
- Fotografía 6.3 Derrumbes en forma de canchales de detritos en laderas, en playa Las Cuevas, debajo del Faro.

- Fotografía 6.4** Derrumbes en forma de canchales de detritos en laderas del cerro Tunush, km 22+320 de la carretera Atico-Caravelí, margen izquierda del río Atico.
- Fotografía 6.5** Caída de rocas en la carretera Panamericana Sur km 766+000, sector La Planchada, distrito de Atico.
- Fotografía 6.6** Vista Panorámica del deslizamiento de Siguas (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2020).
- Fotografía 6.7** Vistas del deslizamiento de Pachaqui y Santa Ana que propiciaron el represamiento temporal del río Sihuas.
- Fotografía 6.8** Deslizamiento rotacional de Achoma, ocurrido el 18 de junio de 2020, con desplazamiento retrogresivo. La escarpa principal del deslizamiento tiene entre 100 a 150 m de altura, 950 m de longitud y 500 m de desplazamiento. A consecuencia del deslizamiento, un área de 40 hectáreas de terreno de cultivo se deslizó en dirección del río Colca, formando un dique natural de 1140 m de longitud, 75 m de altura, y provocó su represamiento. Podría afectar terrenos de cultivo en las márgenes del río de las poblaciones asentadas aguas abajo del río.
- Fotografía 6.9** Reptación en laderas del cerro Condorpillo en ambas márgenes del río Ichucaña, en la provincia de Caylloma.
- Fotografía 6.10** Erosión fluvial en la margen izquierda del río Atico afecta tramo de la carretera Atico-Caravelí (km 19+200).
- Fotografía 6.11** Erosión fluvial en la margen derecha del río Acari, sector Machaynioc, provincia de Caravelí.
- Fotografía 6.12** Área sujeta a inundación fluvial en la margen derecha del Quilca, terreno usado para cultivo, sector Playa Quilca, provincia de Camaná.
- Fotografía 6.13** Área sujeta a inundación fluvial en ambas márgenes de la quebrada Pescadores, sector Pescadores, provincia de Camaná.
- Fotografía 6.14** Erosión de laderas en surcos en las Lomas de Guzmán, provincia de Caravelí.
- Fotografía 6.15** Erosión de laderas (cárcavas) en el cerro India Vieja, cabecera de la quebrada Pedregal Llocllasco, provincia de Caravelí.
- Fotografía 6.16** Mantos de arena y dunas trepadoras en laderas del cerro Azul.
- Fotografía 6.17** Mantos de arena y dunas invaden carretera Panamericana, km 578+000, en Lomas El Rodadero.
- Fotografía 7.1** Erosión fluvial en el km 32+200 de la carretera Yauca-Laytaruma, en la margen izquierda de la quebrada Acaville.
- Fotografía 7.2** Vista donde se observa que el poblado de Urasqui se encuentra sobre depósito de flujo.
- Fotografía 7.3** A Vista panorámico donde se observa que el poblado de Secocha está asentado sobre depósito de flujo de detritos en forma de abanico.
- Fotografía 7.4** Sector Quebrada Molles en su desembocadura en el río Camaná. En época de crecida, podría afectar viviendas del poblado de Soccco.
- Fotografía 7.5** Canchales de detritos en talud superior, encima del poblado de Iquipi.
- Fotografía 7.6** Poblado de San Juan de Chorunga asentado sobre depósitos de flujos de detritos en forma de abanicos.
- Fotografía 7.7** Vista aguas abajo del poblado Chichas en la margen derecha del río. En la zona, se observa intensa erosión en cárcavas donde en época de lluvias intensas discurren huaicos a través de ellas.
- Fotografía 7.8** Talud de pendiente muy escarpada con sustrato rocoso muy fracturado y meteorizado, susceptible a la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes en talud superior de la carretera Andamarca-Charcana.
- Fotografía 7.9** Tramo de carretera de acceso entre los poblados de Cotahuasi y Velinga susceptible a la ocurrencia de derrumbes, flujos y cárcavas en periodo lluvioso.
- Fotografía 7.10** Zona de derrumbes en el tramo de carretera Cotahuasi-Chuquibamba, Km 8+100.
- Fotografía 7.11** Sector en la quebrada Tarcapata – Chapacoco. Un próximo flujo excepcional podría afectar al poblado de Chapacoco y a la carretera a Orcopampa.
- Fotografía 7.12** Vista del sector de Andamayo. Cárcavas y canales que se activan con lluvias y afectan un tramo de la carretera de acceso a Tipan y Viraco.
- Fotografía 7.13** Viviendas de Aplao se ubican sobre un abanico por donde constantemente cae material de las laderas superiores.

- Fotografía 7.14 Derrumbes del Cerro Huancarqui afectan aproximadamente 500 m de carretera desde la salida del puente de Aplao.
- Fotografía 7.15 Derrumbes y agrietamientos en el sector Recodo Cerro que afectan a la carretera Aplao –Huancarqui.
- Fotografía 7.16 Área susceptible a erosión e inundación fluvial del río Majes entre Caspini y Querulpa.
- Fotografía 7.17 Vista aguas abajo del río Colca frente a Ayo. Se aprecia parte del material caído por un derrumbe del cerro Filayoc, margen izquierda que represó el río Colca y su afluente Ayo (A): Laderas con fuerte pendiente, con secuencias del Grupo Yura muy plegadas y fracturadas que caracterizan la inestabilidad del lugar con sismos o fuertes lluvias.
- Fotografía 7.18 Huaico de gran dimensión que acarrea bloques de hasta 10 m de longitud y que está afectando la carretera que conduce al poblado de Cabanaconde.
- Fotografía 7.19 Deslizamiento de Madrigal, en la margen derecha del río Colca.
- Fotografía 7.20 Caída de rocas en la carretera Chivay, km 53+000.
- Fotografía 7.21 Área susceptible a erosión fluvial y flujos de detritos en el río Chili Puente Imata.
- Fotografía 7.22 Deslizamiento en la quebrada Lisera margen derecha.
- Fotografía 7.23 Erosión en cárcavas en la margen derecha de la quebrada Pichirijm.
- Fotografía 7.24 Deslizamiento y erosión de laderas (cárcavas) en el sector La Capilla, margen derecha del río Vítor.
- Fotografía 7.25 Arenamiento en Pampa Repartición que afecta carretera La Cano.
- Fotografía 7.26 Deslizamiento rotacional en el río Vítor a su margen derecha
- Fotografía 7.27 Derrumbes en el río Vítor (margen izquierda) interrumpiendo camino rural.
- Fotografía 7.28 Sector La Cuesta a la margen izquierda del río Vítor se observa un deslizamiento antiguo.
- Fotografía 7.29 Río Yarabamba. Botadero de desmonte en la margen derecha que estrecha su cauce.
- Fotografía 7.30 Caída de rocas, erosión y flujo de detritos en las laderas del cerro Pajonal, ocupadas por el sector de Villa Mirador.
- Fotografía 7.31 Erosión Fluvial en el río Mollebaya.
- Fotografía 7.32 Vivienda colapsada en la margen derecha de la quebrada San Lázaro debido al incremento del caudal por efecto de las lluvias excepcionales del 08/02/2013.
- Fotografía 7.33 Sector Chilina, sujeta a derrumbes, flujos de detritos y erosión fluvial. Esta quebrada llega a desembocar en la ciudad de Arequipa.
- Fotografía 7.34 Flujo de detritos en la quebrada Peral, por la presencia de lluvias excepcionales, afectaría canal de riego y terrenos de cultivo.
- Fotografía 7.35 Río Chili (margen izquierda): se observa caída de rocas que puede afectar cultivos, y canal de regadío.
- Fotografía 7.36 Flujo de detritos en la quebrada Azufrera - fundo Cabrería.
- Fotografía 7.37 Zona susceptible a flujos de detritos y erosión en las laderas adyacentes al centro poblado de Ciudad de Dios.
- Fotografía 7.38 Erosión en cárcavas y posibilidad de ocurrencia de flujo de detritos en el sector Virgen de Chapi.
- Fotografía 7.39 Deslizamiento en el sector de Alto Sigwas (El Zarzal), margen derecha del río Sigwas.
- Fotografía 7.40 Vista Panorámica del deslizamiento de Sigwas (Taípe & Huanca, 2018).
- Fotografía 7.41 Vista Panorámica del deslizamiento de Pie de Cuesta, en la margen izquierda del río Vítor (OVI, 2018).
- Fotografía 7.42 Sector El Arenal, ladera cubierta por viviendas.
- 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.



## Gráficos

- Gráfico 2.1** Edad en grupos quinquenales según sexo del departamento de Arequipa. Fuente: Censo nacional de población y vivienda 2007 (INEI).
- Gráfico 2.2** Tendencia urbana y rural del departamento de Arequipa. Fuente: Censos nacionales de población y vivienda (INEI) 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.
- Gráfico 2.3** Población total y tasa de crecimiento promedio anual del departamento de Arequipa. Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI- Censos Nacionales de Población y Vivienda 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 y 2007.
- Gráfico 2.4** Viviendas por provincia, según el Censo INEI – 2017.
- Gráfico 2.5** Producción Sectorial del departamento de Arequipa. Fuente: INEI, 2018.
- Gráfico 6.1** Inventario de peligros geológicos en la región Arequipa.
- Gráfico 6.2** Ocurrencia de peligros geológicos en la región Arequipa.
- Gráfico 6.3** Ocurrencias de movimientos en masa en el departamento de Arequipa.
- Gráfico 6.4** Porcentaje de ocurrencias de movimientos en masa en el departamento de Arequipa.
- Gráfico 6.5** Ocurrencias de peligros geohidrológicos en el departamento de Arequipa.
- Gráfico 6.6** Ocurrencias de otros peligros en el departamento de Arequipa.
- Gráfico 6.7** Grado de peligro asignado a las ocurrencias de peligros geológicos inventariados en el departamento de Arequipa. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, R: reptación, 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 el departamento de Arequipa. C: caídas, D: deslizamientos, F: flujos, MC: movimientos complejos, R: reptación, 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 Arequipa.

## Cuadros

- Cuadro 2.1** Población censada por provincias y sexo del departamento de Arequipa, 2017
- Cuadro 2.2** Densidad poblacional por años censales del departamento Arequipa, 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 Arequipa, 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 Arequipa
- Cuadro 2.8** Población censada de 15 y más años de edad, según nivel educativo alcanzado, 2017
- Cuadro 2.9** Locales escolares por tipo de gestión y área geográfica, según etapa, modalidad y nivel educativo ofrecido del departamento de Arequipa, 2017
- Cuadro 2.10** Establecimientos de salud en el departamento Arequipa, 2016
- Cuadro 2.11** Población censada del departamento de Arequipa con seguro social, 2007-2017
- Cuadro 2.12** Población censada con cobertura de salud, según el tipo de seguro, 2017
- Cuadro 2.13** Principales unidades en producción de la región Arequipa, 2017

Cuadro 2.14	Principales proyectos mineros de la región Arequipa, 2017
Cuadro 2.15	Infraestructura vial del departamento Arequipa, por tipo de superficie, 2017 (km)
Cuadro 2.16	Infraestructura ferroviaria por empresa, tramo y longitud según régimen de propiedad, 2013-2017 en el departamento de Arequipa
Cuadro 2.17	Infraestructura portuaria del departamento de Arequipa, 2017
Cuadro 2.18	Infraestructura aeroportuaria operativa en el departamento de Arequipa, 2017
Cuadro 2.19	Presas inventariadas en la región Arequipa
Cuadro 2.20	Centrales eléctricas por unidad de generación de la región Arequipa, 2016
Cuadro 2.21	Áreas Naturales Protegidas en el departamento de Arequipa
Cuadro 5.1	Unidades hidrogeológicas presentes en la región Arequipa
Cuadro 6.1	Cronología de eventos desastrosos por peligros naturales ocurridos en el departamento de Arequipa
Cuadro 6.2	Ponderación de variable temáticas
Cuadro 6.3	Unidades consideradas y susceptibilidad a los movimientos en masa en el departamento de Arequipa
Cuadro 6.4	Ponderación de variables temáticas
Cuadro 6.5	Unidades consideradas y susceptibilidad a las inundaciones en el departamento de Arequipa
Cuadro 6.6	Peligro asignado a los peligros geológicos en el departamento de Arequipa
Cuadro 6.7	Vulnerabilidad asignada a los peligros geológicos en el departamento de Arequipa
Cuadro 6.8	Descripción de los datos macrosísmicos ocurridos en la región 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 Arequipa
Cuadro 6.12	Relación de fallas activas y Cuaternarias de la región Arequipa
Cuadro 7.1	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Caravelí
Cuadro 7.2	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Camaná
Cuadro 7.3	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Condesuyos
Cuadro 7.4	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de La Unión
Cuadro 7.5	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Castilla
Cuadro 7.6	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Caylloma
Cuadro 7.7	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Arequipa
Cuadro 7.8	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Islay





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](http://www.gob.pe/ingemmet)

[comunicacion@ingemmet.gob.pe](mailto:comunicacion@ingemmet.gob.pe)