

**INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 74**



Peligro Geológico en la Región Cusco

**Lima, Perú
2020**



**INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 74**

Peligro Geológico en la Región Cusco

**Dirección de Geología Ambiental y Riesgo
Geológico**

Equipo de Investigación:

**Manuel Vilchez Mata
Norma Sosa Senticala
Walter Pari Pinto
Fluquer Peña Laureano**

**Lima, Perú
2020**

INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 74

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-02354

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, INGENMET 2020

Se terminó de imprimir el 17 de febrero 2020 en los talleres de INGENMET

Tiraje: 50

© INGENMET

Presidente Ejecutivo: Henry Luna Córdova.

Gerente General (e): Yelena Alarcón Butrón.

Comité Editor: Jorge Chira Fernández, César Chacaltana Budiel, Verónica Falcone

Mispireta.

Dirección encargada del estudio

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico: César Chacaltana Budiel.

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Verónica Falcone Mispireta.

Revisión Técnica: Bilberto Zavala Carrión, Lionel Fidel Smoll, Jorge Chira Fernández, Hugo Rivera Mantilla.

Revisor Externo: Ricardo Aniya Kohatsu.

Corrección gramatical y de estilo: Nelly Córdova Núñez.

Diagramación: A&M Soluciones Tecnológicas S.R.L.

Figura de la carátula: Flujo de detritos que baja por la quebrada Meclaypata afluente por la margen izquierda del río Paucartambo; viviendas del poblado de Meclaypata se encuentran asentadas muy cerca de la quebrada; distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo, departamento de Cusco.

Referencia bibliográfica

Vilchez, M.; Sosa, N.; Parí, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 74, 202 p, 9 mapas.

Publicación disponible en libre acceso en Repositorio Institucional del Ingemmet. 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	11
CAPÍTULO I	13
INTRODUCCIÓN	13
1.1 PRESENTACIÓN.....	13
1.2 ANTECEDENTES.....	14
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	15
1.4 PARTICIPACIÓN.....	15
1.5 OBJETIVOS.....	15
1.6 METODOLOGÍA.....	16
1.7 AGRADECIMIENTOS.....	16
CAPÍTULO II	17
ASPECTOS GENERALES DE LA REGIÓN CUSCO	17
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	17
2.2 UBICACIÓN.....	19
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN.....	19
2.4 FACTORES SOCIOECONÓMICOS.....	19
2.5 INFRAESTRUCTURA.....	30
2.6 GEOGRAFÍA.....	36
2.7 CLIMA.....	36
2.8 HIDROGRAFÍA.....	36
2.9 COBERTURA VEGETAL Y USOS DE SUELO.....	37
2.9.1 Bosques de zonas húmedas-zonas pluviales.....	40
2.9.2 Bosques de zonas áridas-zonas subhúmedas.....	43
2.9.3 Matorrales de zonas áridas a zonas húmedas.....	43
2.9.4 Herbazales de zonas húmedas a zonas pluviales.....	44
2.9.5 Coberturas antrópicas.....	44
2.9.6 Otras áreas.....	45
CAPÍTULO III	47
CONTEXTO LITOLÓGICO	47
3.1 GENERALIDADES.....	47
3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS.....	49
3.2.1 Depósitos inconsolidados.....	50
3.2.2 Unidades del substrato rocoso.....	56
CAPÍTULO IV	71
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	71
4.1 GENERALIDADES.....	71
4.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS-MAPA HIDROGEOLÓGICO.....	71
4.2.1 Acuíferos.....	72

4.2.2	Acuitardos	73
4.2.3	Acuicludos	74
CAPÍTULO V	75
ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS		75
5.1	PENDIENTE DE LOS TERRENOS	75
5.2	GEOMORFOLOGÍA Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	76
5.2.1	Geoformas de carácter tectónico-degradacional y denudacional-erosional	78
5.2.2	Geoformas de carácter depositacional y agradacional	95
CAPÍTULO VI	109
PELIGROS NATURALES		109
6.1	GENERALIDADES	109
6.2	PELIGRO/AMENAZA	110
6.3	REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS DESASTROSOS EN LA REGIÓN CUSCO	110
6.4	MOVIMIENTOS EN MASA	110
6.5	OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS	129
6.6	FACTORES DE INESTABILIDAD DE LAS LADERAS	129
6.7	EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD RECONOCIDAS	131
6.8	PELIGROS GEOHIDROLÓGICOS	131
6.9	INVENTARIO Y FRECUENCIA DE OCURRENCIAS	132
6.10	PELIGRO SÍSMICO EN LA REGIÓN CUSCO	134
6.10.1	Generalidades	134
6.10.2	Sismicidad histórica (región Cusco)	138
6.10.3	Distribución de máximas intensidades sísmicas	138
6.10.4	Distribución espacial de los sismos	139
6.10.5	Estudio sísmico probabilístico	139
6.10.6	Zonificación y aceleraciones máximas	139
6.10.7	Movimientos en masa detonados por sismos	140
6.10.8	Licuación de suelos y deformaciones superficiales	140
6.10.9	Actividad neotectónica	140
CAPÍTULO VII	155
SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL		155
7.1	SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA	155
7.2	FACTORES CONDICIONANTES DE LA INESTABILIDAD Y DETERMINACIÓN DE SU PESO EN LA OCURRENCIA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA	155
7.2.1	Pendiente de los terrenos (P)	156
7.2.2	Litología (L)	156
7.2.3	Geomorfología (G)	156
7.2.4	Hidrogeología (H)	157
7.2.5	Cobertura vegetal y uso del suelo (CV)	163
7.3	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA	163
7.4	GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA	163
7.4.1	Muy baja susceptibilidad	163
7.4.2	Baja susceptibilidad	164
7.4.3	Media susceptibilidad	164
7.4.4	Alta susceptibilidad	165
7.4.5	Muy alta susceptibilidad	169
7.5	SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL	169
7.6	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES FLUVIALES	169
7.7	GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES FLUVIALES	170

CAPÍTULO VIII	175
ZONAS CRÍTICAS.....	175
8.1 GENERALIDADES.....	175
8.2 DETERMINACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS.....	175
CAPÍTULO IX	289
ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS.....	289
9.1 GENERALIDADES.....	289
9.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS PARA MOVIMIENTOS EN MASA.....	290
9.2.1 Medidas para deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas.....	290
9.2.2 Para zonas de flujos y cárcavas.....	307
9.3 OTRAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA DESLIZAMIENTOS Y CÁRCAVAS.....	308
9.4 MEDIDAS PARA EL MANEJO DE SUBCUENCAS CON LECHOS FLUVIALES SECOS.....	308
9.5 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS PARA INUNDACIONES Y FLUJOS RÁPIDOS.....	309
CONCLUSIONES	317
RECOMENDACIONES	319
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	321
RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES	327

RESUMEN

La región Cusco, ubicada en la sierra sur-central del Perú; comprende territorios de las cordilleras Occidental y Oriental, la faja subandina, valles interandinos y la Llanura Amazónica. Las cordilleras están conformadas por montañas de fuerte pendiente y vastas altiplanicies, que configuran cuencas hidrográficas que drenan hacia el océano Atlántico y una sola cuenca que drena hacia el océano Pacífico (ríos Oscollo Mayo y Jaguay, ubicados en las nacientes del río Colca). El territorio de la región tiene por varios kilómetros como límites político-naturales a los ríos Santo Tomás y Apurímac, que sirven de frontera con las regiones Apurímac y Ayacucho, por el lado oeste; por el sur, limita con Arequipa, donde las divisorias de aguas son el límite natural; por el este, con Madre de Dios y Puno; y por el norte, con las regiones Junín y Ucayali, con esta última tiene como límite natural a los ríos Vinuya y Mishahua. Otros ríos importantes que recorren el territorio de la región Cusco son el Vilcanota, Urubamba, Picha, Camisea, Mantalo, Timpia, Yavero, Yanatile, Paucartambo, Mapacho, Quero, Tambo, Marcapata y Carbón.

Cusco se extiende de altitudes que varían desde los 278 m s. n. m. en el río Urubamba, al norte de la región, cerca al límite con la región Ucayali, hasta una altitud máxima de 6372 m s. n. m., en el Nevado de Auzangate. Geográficamente se ubica en las coordenadas 11° 11' 55" y 15° 27' 31" de latitud sur y 70° 20' 43" y 73° 58' 49" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Tiene una extensión territorial de 72 117 km², equivalente al 5.6 % del territorio nacional. Según cifras oficiales del Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, su población es de 1 205 527 habitantes, distribuida en trece provincias y 112 distritos. Entre los poblados más importantes se tienen Cusco, Urubamba, Calca, Písac, Anta, Paruro, Quillabamba, Paucartambo, Urcos, Acomayo, Sicuani, Yanaoca, Santo Tomás y Espinar. La población económicamente activa es de 777 211 habitantes y su densidad poblacional es de 16.71 hab/km².

En cuanto a la infraestructura de la región, destacan la carretera Interoceánica Sur, en su tramo puente Cunyac-Anta-Cusco-Urcos-Ocongate-Quincemil-puente Inambari, que permite la interconexión de la costa peruana con el Cusco y el Brasil; la carretera Central en su tramo Urcos-La Raya, que permite la interconexión con la región Puno; la carretera Urubamba-

Ollantaytambo-Quillabamba-Palma Real-Kimbiri, que posibilita el acceso hacia Ayacucho y el centro del Perú; así también se tienen las diferentes carreteras que interconectan la capital cusqueña con el resto de sus distritos y centros poblados. La región cuenta también con un aeropuerto internacional y doce aeródromos, una red ferroviaria que viene desde Puno y permite el acceso hacia la ciudadela Inca de Machupicchu. En cuanto a su infraestructura energética, esta utiliza el gas natural, el diésel y la fuerza hídrica para generar la energía eléctrica.

Como resultado del inventario y cartografía de peligros a escala 1:50 000, la interpretación de fotografías aéreas de los años 1962 y 1963, y las imágenes satelitales de Google Earth, de alta resolución, se identificaron 1682 ocurrencias de peligros; de los cuales las mayores ocurrencias se presentaron en el siguiente orden: primero se tienen los derrumbes, le siguen los deslizamientos, los flujos, los procesos de erosión de laderas, erosión fluvial, reptación de suelos, inundación fluvial y caída de rocas.

La frecuencia de peligros en la región, teniendo en cuenta la variabilidad del clima, la complejidad geológica-geomorfológica y una sismicidad de intermedia a alta, está marcada por la ocurrencia de grandes movimientos en masa en los valles de los ríos Vilcanota, Apurímac y Paucartambo; también se tienen episodios de inundaciones, erosión fluvial y sismos. Los registros históricos descritos en los reportes del país elaborados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), en los informes técnicos elaborados por INGEMMET, además de la información periodística, dan cuenta de la ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa tipo deslizamiento (Ranraccasa en Yaurisque, activo desde aproximadamente el año 1900, y Cuyo Chico en Písac), flujos de detritos y derrumbes; también se han producido inundaciones, en algunos casos como consecuencias del desborde de los ríos por efecto de la ocurrencia de grandes flujos de detritos, que ocasionaron graves daños a la infraestructura agrícola, vial y en viviendas en los poblados de Zurite (2010), Paucartambo (2014), así como San Sebastián y San Jerónimo (2010). Sísmicamente, la región ha sido afectada por sismos con intensidades máximas de entre IV y X en la escala modificada de Mercalli y con magnitudes de hasta 8.4 Ms en la escala de Richter.

El análisis del total de 1272 ocurrencias de los peligros geológicos por movimientos en masa muestra que en primer lugar se encuentran las caídas con 479 ocurrencias, le siguen los deslizamientos con 391 ocurrencias, flujos con 287 ocurrencias, reptación de suelos con 72 ocurrencias, los movimientos complejos con 42 ocurrencias y, finalmente, los vuelcos con una sola ocurrencia.

Del total de 214 ocurrencias de los denominados otros peligros geológicos, 206 corresponden a sectores afectados por procesos de erosión de laderas y 8 son zonas afectadas por hundimientos. Del total de 196 ocurrencias de peligros geohidrológicos, se tienen 142 zonas afectadas por procesos de erosión fluvial; 51 sectores registraron inundaciones fluviales y 3 sectores fueron afectados por inundación lagunar.

Se prepararon los mapas temáticos para cada factor condicionante de la susceptibilidad a los movimientos en masa y se ponderaron por separado con los siguientes valores: litología 27%, pendientes 20%, geomorfología 28%, hidrogeología 15%, cobertura vegetal y uso del suelo 10%. El mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa se elaboró utilizando el método de ponderación de mapas de factores, denominado también método heurístico (indirecto-cualitativo); de esta forma, se ha efectuado para la zona una estimación de la susceptibilidad a los movimientos en masa representada en 5 categorías: muy baja susceptibilidad, baja susceptibilidad, moderada susceptibilidad, alta susceptibilidad y muy alta susceptibilidad. Paralelamente se analizó la susceptibilidad a las inundaciones utilizando, como factores condicionantes en el análisis, la geomorfología y la pendiente de los terrenos.

Las zonas de muy alta susceptibilidad en donde se pueden generar movimientos en masa presentan todas las condiciones del terreno muy favorables para su generación; están relacionadas a áreas donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o han ocurrido recientemente. Se producen en zonas donde el substrato rocoso es de mala calidad, en tal sentido, se pueden presentar en rocas sedimentarias (calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas, margas, limolitas y lodolitas), volcano-sedimentarias (ignimbritas y lavas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados), rocas metamórficas (filitas, pizarras y esquistos), rocas intrusivas (dioritas, tonalitas y gabros). Presentan pendientes fuertes a muy fuertes (15-45°), morfologías de montañas modeladas en rocas metamórficas, sedimentarias, intrusivas, volcánicas y volcano-sedimentarias, montañas con cobertura glaciar; piedemontes coluvio-deluviales, vertientes con depósitos de deslizamiento, vertientes aluvio-torrenciales y glacio-fluviales; acantilados escarpados de valles encañonados y laderas de valles con fuerte pendiente. La vegetación es de tipo pajonal, matorral, y cuenta principalmente con zonas de bosques húmedos de montañas que han sufrido

deforestación intensa. Dentro de esta zona se encuentran las localidades de Checca, Quehue, Omacha, Paccaritambo, Paruro, entre otras.

Las zonas de alta susceptibilidad, donde la mayoría de condiciones del terreno son favorables para que se generen movimientos en masa, están vinculadas a las características del substrato rocoso conformado por rocas sedimentarias (intercalaciones de calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas; areniscas intercaladas con lutitas; conglomerados intercalados con areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas; así como areniscas, limoarcillitas y calizas); rocas intrusivas (granodiorita, dioritas, tonalitas y gabros); rocas volcánicas (piroclásticas); rocas volcano-sedimentarias (secuencias de ignimbritas y lavas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados); y también rocas metamórficas (esquistos, filitas y pizarras). Asimismo, se tienen depósitos de material superficial inconsolidado de tipo deluvial, proluvial, glaciar y glaciofluvial. Los terrenos presentan pendientes medias a muy fuerte (15-30°); incluyen morfología de montañas, montañas estructurales, vertientes o piedemontes coluvio-deluviales (se incluyen los depósitos de antiguos deslizamientos), vertientes glaciares, abanicos y piedemontes proluviales (huaicos); finalmente, se tienen laderas de montañas muy inclinadas. La vegetación es de tipo pajonal, matorral y bosques deforestados; las unidades hidrogeológicas comprometidas son los acucludos, acuitardos. Se ubican en estas zonas los poblados de Pilpinto, Capacmarca, Rondocán, Marcapata, Caicay, Oropesa, Saylla, Huanoquite, Yaurisque, Ccorcca, Chinchaypujio, Mollepata, Limatambo, Zurite, Huaracocondo, Poroy, Cusco, San Sebastián, entre otras.

Se analizó también la susceptibilidad a las inundaciones y la erosión fluvial, empleando para ello los mapas de geomorfología y pendientes. Las zonas de alta susceptibilidad a las inundaciones corresponden a las llanuras de inundación y terrazas bajas. Estos eventos se presentan con lluvias estacionales de carácter extraordinario, en los valles de los ríos Vilcanota, Paucartambo, Mapacho, Velille y Huatanay; se producen también inundaciones a lo largo de la altiplanicie andina y en zonas con topografía plana ondulada, configurada por morfologías de lomas y colinas de baja altura o en el cuerpo de grandes movimientos en masa. Las zonas de moderada susceptibilidad a las inundaciones corresponden a terrenos bajos adyacentes a la llanura de inundación, conformados por terrazas bajas, torrenteras y abanicos aluviales de baja pendiente; son zonas mal drenadas o con poca capacidad de infiltración.

En el estudio se determinaron 75 zonas críticas relacionadas con peligros geológicos (por movimientos en masa) y geohidrológicos (inundación y erosión fluvial), entre las que destacan los

sectores de Saylla y San Jerónimo; el deslizamiento del cerro Huamancharpa el distrito de Santiago; sectores de Hercca y Sicuani; valle del río Vilcanota, entre Combapata, Checacupe y Ocobamba; el poblado de Santa Teresa; la carretera abra Málaga-Incatambo-Umasbamba; el centro poblado de Quellouno; la carretera Ollantaytambo-Quillabamba, tramo Amaybamba-Huyro-Santa María; Carretera Puente Chaullay-Acospata-Sullucuyoc, en el distrito de Santa Teresa; sectores de Cuyo Chico y Ampay, en el distrito de Písac; y Ranraccasa en el distrito de Yaurisque.

Finalmente, se emiten las conclusiones y recomendaciones generales. Es bueno resaltar que los mapas temáticos elaborados con ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG) son importantes como herramienta de prevención, pues proporcionan una base importante para la planificación, que contribuye a solucionar la problemática de los peligros naturales en la región.

ABSTRACT

The Cusco region, located in the south-central sierra of Peru; It includes territories of the Western and Eastern Cordilleras, the Sub-Andean Belt, Inter-Andean Valleys and the Amazonian Plain. The mountain ranges are made up of steeply sloping mountains and high plateaus, which form watersheds that drain into the Atlantic Ocean and a single basin that drains into the Pacific Ocean (rivers Oscollo Mayo and Jaguay, located in the headwaters of the Colca River); the territory of the region has as natural political limits for several kilometers the Santo Tomás and Apurímac rivers, which serve as the limit with the Apurímac and Ayacucho regions, on the west side; on the south it borders on Arequipa, with the watershed being the natural limit; on the east, with Madre de Dios and Puno; and in the north, with the Junín and Ucayali regions, with this last region has the natural limit of the Vinuya and Mishahua rivers. Other important rivers that cross the territory of the Cusco region are Vilcanota, Urubamba, Picha, Camisea, Mantalo, Timpia, Yavero, Yanatile, Paucartambo, Mapacho, Quero, Tambo, Marcapata and Carbón.

Cusco extends from altitudes that vary from 278 masl in the Urubamba River, to the north of the region, near the limit with the Ucayali region; up to a maximum altitude of 6372 meters above sea level, in the Nevado de Auzangate. Geographically, it is located at the coordinates 11 ° 11' 55" and 15 ° 27' 31" south latitude and 70 ° 20' 43" and 73 ° 58' 49" west longitude of the Greenwich meridian. It has a territorial extension of 72 117 km², equivalent to 5.6% of the national territory. According to official figures of the XII National Census of Population and VI of housing and III of indigenous communities of 2017, its population is 1 205 527 inhabitants, distributed in 13 provinces and 112 districts. Among the most important towns are Cusco, Urubamba, Calca, Písac, Anta, Paruro, Quillabamba, Paucartambo, Urcos, Acomayo, Sicuani, Yanaoca, Santo Tomás and Espinar. The economically active population is 777 211 inhabitants and its population density is 16.71 people/km².

Regarding the infrastructure of the region, highlights the highway Interoceánica Sur in its stretch Puente Cunyac-Anta-Cusco-Urcos-Ocongate-Quincemil-puente Inambari, the Central Road in its section Urcos-La Raya, that allows the interconnection with the Puno region; the road Urubamba-Ollantaytambo-Quillabamba-Palma Real-Kimbiri, that allows access to Ayacucho and the center of Peru; the different roads that interconnect the capital

of Cusco with the rest of its districts and population centers are also present. The region also has an international airport and twelve airfields, a railway network that comes from Puno and allows access to the Inca citadel of Machupicchu. In terms of its energy infrastructure, it uses natural gas, diesel and water power to generate electricity.

As a result of the 1: 50.000 scale inventory and hazard mapping, the interpretation of 1962 and 1963 aerial photographs and high-resolution Google Earth satellite images identified 1 682 occurrences of hazards; of which, the greatest occurrences were presented in the following order: first there are landslides, followed by landslides, flows, erosion processes of hillsides, fluvial erosion, soil creep, fluvial flood and rock fall.

The frequency of hazards in the region, taking into account the climate variability, the geological-geomorphological complexity and an intermediate to high seismicity, is marked by the occurrence of large movements in mass in the valleys of the Vilcanota, Apurímac and Paucartambo rivers; there are also episodes of flooding, river erosion and earthquakes. The historical records described in the country reports prepared by the INDECI, in the technical reports prepared by INGEMMET, in addition to the journalistic information; they give an account of the occurrence of mass movement type phenomena (Ranraccasa in Yaurisque, active since around 1900, and Cuyo Chico in Písac), flows of debris and landslides; floods have also occurred, in some cases as a consequence of the overflowing of rivers due to the occurrence of large debris flows, which caused serious damage to agricultural, road and housing infrastructure in the villages of Zurite (2010); Paucartambo (2014); San Sebastián, San Jerónimo (2010). Seismically, the region has been affected by earthquakes with maximum intensities from IV to X on the modified Mercalli scale and with magnitudes of up to 8.4 Ms on the Richter scale.

The analysis of the total of 1 272 occurrences of the geological hazards by mass movements, shows that in the first place there are falls with 479 occurrences, followed by landslides with 391 occurrences, flows with 287 occurrences, soil creep with 72 occurrences, the complex movements with 42 occurrences; and finally, there are rollovers with a single occurrence.

Of the total of 214 occurrences of the so-called other geological hazards, 206 occurrences correspond to sectors affected by erosion processes of hillsides and eight are areas affected by subsidence. Of the total of 196 occurrences of geohydrological hazards, there are 142 areas affected by fluvial erosion processes, 51 sectors registered fluvial floods and three sectors were affected by lagoon flooding.

The thematic maps were prepared for each conditioning factor of the susceptibility to mass movements and weighted separately with the following values: lithology 27%, slope 20%, geomorphology 28%, hydrogeology 15%, vegetation cover and land use 10%. The map of susceptibility to mass movements was developed using the weighting method of factor maps, also called heuristic method (indirect-qualitative); In this way, an estimation of the susceptibility to mass movements represented in five categories has been carried out for the area: very low susceptibility, low susceptibility, moderate susceptibility, high susceptibility and very high susceptibility. At the same time, the susceptibility to flooding was analyzed, using the geomorphology and slope of the land as conditioning factors in the analysis.

Areas of very high susceptibility where mass movements can be generated, present all the conditions of the terrain very favorable for their generation, being related to areas where landslides occurred in the past or recent landslides have occurred. They occur in areas where the rocky substratum is of poor quality, and may occur in sedimentary rocks (limestones, carbonaceous shales, limoarcillitas, margas, siltstones and mudstone), volcano-sedimentary (ignimbrites and lavas interspersed with sandstones, siltstones, shales and conglomerates), metamorphic rocks (phyllites, shales and shales); Intrusive rocks (diorites, tonalites and gabros). They present strong to very strong slopes (15°-45°), mountain morphologies modeled on metamorphic, sedimentary, intrusive, volcanic and volcano-sedimentary rocks, mountains with glacier cover; coluvio-deluvial piedemontes, slopes with sliding deposits, alluvio-torrential and glacio-fluvial slopes; steep cliffs of canyons and slopes of valleys with steep slopes. The vegetation is of pajonal type, scrub and mainly zones of humid forests of mountains that have undergone intense deforestation. Within this area are the localities of Checca, Quehue, Omacha, Paccaritambo, Paruro, among others.

Areas of high susceptibility, where the majority of terrain conditions are favorable for generating mass movements, are linked to the characteristics of the rocky substratum formed by sedimentary rocks (intercalations of limestones, carbonaceous shales, limoarcillitas and marls; sandstones interspersed

with shales, conglomerates interspersed with sandstones, mudstone, silt-clay and shale, and sandstone, silt-clays and limestone); intrusive rocks (granodiorite, diorite, tonalite and gabros); volcanic rocks (pyroclastics); volcano-sedimentary rocks (sequences of ignimbrites and lavas interspersed with sandstones, siltstones, shales and conglomerates); and also metamorphic rocks (schists, phyllites and slates); There are also deposits of deluvial, proluvial, glacial and glaciofluvial unconcealed surface material. The terrains present medium to very strong slopes (15°-30°); include mountain morphology, structural mountains; coluvio-deluvial slopes or piedemontes (the deposits of ancient landslides are included), glacial slopes, fans and proluvial piedemontes (huacos), finally slopes of very inclined mountains are had. The vegetation is of pajonal type, scrub and deforested forests; The hydrogeological units involved are acuicludes, aquitards. They are located in these areas the towns of Pilpinto, Capacmarca, Rondocán, Marcapata, Caicay, Oropesa, Saylla; Huanquite, Yaurisque, Ccorcca, Chinchaypujio, Mollepata, Limatambo, Zurite, Huarcondo, Poroy, Cusco, San Sebastian, among others.

Susceptibility to floods and fluvial erosion was also analyzed, using geomorphology and slope maps. The areas of high susceptibility to flooding correspond to the flood plains and low terraces, these events occur with seasonal rainfall of an extraordinary nature, in the valleys of the Vilcanota, Paucartambo, Mapacho, Velille and Huatanay rivers; There are also floods along the Andean plateau and in areas with undulating flat topography, formed by morphologies of hills and hills of low height or in the body of large movements in mass. The zones of moderate susceptibility to flooding correspond to low terrain adjacent to the floodplain, formed by low terraces, torrenteras and alluvial fans of low slope; they are poorly drained areas or with little infiltration capacity.

The study determined 75 critical zones related to geological hazards (by mass movements) and geohydrological (flood and river erosion), among which the sectors of Saylla and San Jerónimo stand out; the landslide of Cerro Huamancharpa, the district of Santiago; sectors of Hercca and Sicuani; Valley of the Vilcanota River between Combapata, Checacupe and Ocobamba; the town of Santa Teresa; the highway opens Málaga-Incatambo-Umasbamba; populated center of Quellouno; the Ollantaytambo-Quillabamba road, Amaybamba-Huyro-Santa María stretch; Road Bridge Chaullay-Acospata-Sullucuyoc, in the district of Santa Teresa; sectors of Cuyo Chico and Ampay, in the district of Pisac; and Ranraccasa in the district of Yaurisque.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), en el marco del cumplimiento de sus funciones, entre las cuales se encuentran efectuar el estudio de los peligros geológicos que afectan el territorio nacional, que involucra centros poblados y obras de infraestructura, así como realizar estudios hidrogeológicos y brindar apoyo a las comunidades en estos temas, realizó el estudio denominado “Mapas de riesgos geológicos por regiones: Cusco y Puno”, que a través los diferentes temas tratados busca generar información geocientífica que sirva para prevenir, mitigar o reducir los efectos de los peligros naturales que se encarga de estudiar; también para reducir al mínimo o evitar la ocurrencia de desastres, finalmente para que sirvan como instrumento de planificación de futuros proyectos por desarrollarse en la región.

La región Cusco alberga el 4.1% de la población del Perú (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). Se tiene conocimiento de la presencia humana desde tiempos prehistóricos. Se destacan los habitantes de Marcavalle, Huaura y Chanapata (1000 a. C.), también se desarrollaron en la zona las culturas Tiahuanaco-Wari (750 d. C.). En esta región nació, se desarrolló y expandió el Imperio de los incas (1200 al 1533 d. C.), cuya fundación se explica a través de los mitos de Manco Cápac y Mama Occllo, y de los hermanos Ayar. El Imperio inca nace en el valle del Cusco, aproximadamente el año 1200 d. C., se expande a toda la región y posteriormente hacia otros territorios. En el periodo comprendido entre los años 1200 a 1438, tuvo 8 gobernantes; el noveno inca llamado Pachacútec fue el responsable de la consolidación del Tahuantinsuyo y, hasta el año 1525 d. C. se considera la época de apogeo, máximo desarrollo y expansión del Imperio, el cual llegó a abarcar territorios del sur de Colombia, hasta los valles centrales de Chile, el altiplano boliviano y el noreste de Argentina.

Es hacia el año 1525, con la muerte del inca Huayna Cápac en Quito, cuando se suscitó una crisis de sucesión de poder. Huáscar fue nombrado en el Cusco como el nuevo inca, lo que motivo que su medio hermano Atahualpa, que se encontraba en Quito, se rebelara por estar en desacuerdo con dicho nombramiento; es en estos momentos que comienzan a llegar los primeros españoles al Perú. Después de varios años de

paz en 1531, Huáscar se enfrenta a Atahualpa y tras varias batallas, en el año 1532 Huáscar fue tomado prisionero y muerto por orden de Atahualpa, quien luego fue a Cajamarca para ser coronado, pero muy por el contrario fue tomado prisionero y posteriormente muerto por los españoles, tras pagar un rescate que consistió en una gran cantidad de piezas de oro y plata.

La fundación española del Cusco, llevada a cabo el 23 de marzo de 1534, produjo un mestizaje arquitectónico y cultural; fue también escenario de varios movimientos de resistencia andina, entre los que destaca el de José Gabriel Condorcanqui, Túpac Amaru II, en 1780. El rebelde enfrentó a corregidores y autoridades que intentaban aplicar una serie de reformas y maltrataban a la población andina.

Años más tarde tras la declaración de la Independencia, el libertador don José de San Martín creó el departamento de Cusco el 26 de abril de 1822, aunque fue recién en 1825 con la llegada de Simón Bolívar, cuando se rompen definitivamente sus lazos con la corona española, y así se inició la época republicana en el Cusco y el Perú, en general.

La región Cusco cuenta con grandes recursos agrícolas que generan riqueza económica a la región y sus habitantes, entre sus principales productos se tiene a la papa, el café, la yuca y el maíz amiláceo; el sector minero se caracteriza por la producción de oro, plata y cobre; el sector hidrocarburos se encuentra asociado principalmente a la producción de gas natural de Camisea, que se extrae desde el campo Las Malvinas en la selva de Cusco y atraviesa el distrito de Echarate, en la provincia de La Convención, en su camino hacia la costa de Lima. Las actividades turísticas en la región Cusco son muy importantes, ya que se considera a esta región como el principal destino turístico del Perú, por los paisajes naturales que posee y los majestuosos centros arqueológicos heredados del Imperio incaico y de otras culturas predecesoras.

La región Cusco tiene una infraestructura vial importante que le permite comunicarse con Lima y las demás regiones del Perú. Cuenta con una longitud vial total de 11 879 km; por ejemplo, se tiene a la carretera Interoceánica Sur, en su tramo Puente Cunyac-Anta-Cusco-Urcos-Ocongate-Quincemil-Puente Inambari, que permite el tránsito hacia la costa peruana y hacia el

país vecino de Brasil; la carretera Central, en su tramo Urcos-La Raya, tramo asfaltado hasta el departamento de Puno; carreteras que permiten conectarse y realizar intercambios económicos entre la ciudad de Cusco y sus demás distritos. Cuenta con una infraestructura aérea importante conformada por 12 aeródromos, un helipuerto y un aeropuerto internacional; la red ferroviaria que comprende el tramo Puno-Cusco-Machupicchu permite el intercambio económico entre regiones, así como el acceso turístico hacia varios centros arqueológicos.

También cuenta con infraestructura energética importante, con centrales de generación de energía de más de 1.17 MW, entre las que destacan las centrales hidroeléctricas de Machu Picchu, Pluspetrol Corporation S. A. y Xstrata Tintaya S. A.

Esta región, debido a sus características geológicas, geográficas y climáticas, es afectada recurrentemente por fenómenos que han llegado a ocasionar desastres y que afectaron o afectan en diferentes grados a la población, las vías de comunicación e infraestructura y economía; los movimientos en masa y las inundaciones fluviales son considerados las causas más comunes de la ocurrencia de dichos desastres.

Este trabajo contribuye al conocimiento de los aspectos físicos del territorio (litología, geomorfología, hidrogeología), la ubicación de zonas críticas y la susceptibilidad a los peligros naturales (peligros geológicos por movimientos en masa, otros peligros geológicos y peligros geohidrológicos) y sísmicos a los que se encuentran expuestos centros poblados y obras de infraestructura desarrolladas en la región. Este conocimiento permitirá proponer políticas, programas y acciones de prevención ante los peligros naturales de tipo geológico y geohidrológico, así como de los peligros resultantes de los procesos de ocupación territorial; además, esta información constituye la base para el ordenamiento territorial y el desarrollo sostenible de la región.

1.2 ANTECEDENTES

La región Cusco, ubicada en la zona central-sur del Perú, entre las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes, la faja subandina y el llano amazónico, por sus condiciones geológicas, geodinámicas, geomorfológicas y climáticas, presenta la ocurrencia de movimientos en masa (deslizamientos, avalanchas, flujos de detritos o huaicos y movimientos complejos) e inundaciones fluviales, que han llegado a interrumpir sus actividades económicas y sociales, incluso causaron desastres con innumerables pérdidas económicas, con pérdida de vidas humanas. Por ejemplo, el aluvión ocurrido en enero de 1998, en el distrito de Santa Teresa, que causó la muerte de 20 personas y destruyó 573 viviendas; además, fueron afectados 15 km de la carretera Santa Teresa-Yanatile y 1880 m de la línea férrea Santa Teresa-Quillabamba (Indeci, 1998); también se afectaron

servicios agua, alcantarillado y electricidad. Otro evento que causó grandes daños fue el ocurrido en febrero de 1998, el aluvión del río Aobamba en el distrito de Santa Teresa destruyó las estructuras de la Central Hidroeléctrica de Machu Picchu; también fueron afectados caminos vecinales, 12 km de la vía férrea, los caseríos de Luycho, Collpani, Manqui y Manahuañusca, y se perdieron vidas humanas (Indeci, 1998).

Estudios regionales de geodinámica externa se han realizado con anterioridad en la zona. Entre ellos, resaltan los efectuados por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológico (DGAR) del INGEMMET, como el “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú-Franja N.º 2” (INGEMMET, 2002), paralelos 14° a 16° de latitud sur del Perú, que comprende las regiones de Ica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Cusco y Puno; el “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú-Franja N.º 3” (INGEMMET, 2003), paralelos 12° a 14° de latitud sur del Perú, que comprende parte de las regiones de Lima, Ica, Ayacucho, Cusco, Puno, Madre de Dios y Huancavelica; y el “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú-Franja N.º 4” (INGEMMET, 2004), paralelos 12° al 10° de latitud sur del Perú, que comprende las regiones de Lima, Áncash, Huánuco, Junín, Pasco, Cusco, Ucayali y Madre de Dios. En estos estudios, se identificaron los peligros geológicos y se efectuó una evaluación geodinámica de centros poblados y redes viales.

En el estudio denominado “La Geología en la Conservación de Machu Picchu” (Carlotto et al., 2007), realizado en el centro arqueológico de Machu Picchu, se analizan los problemas de geodinámica de la ciudadela inca de Machu Picchu, así como los peligros geológicos y el impacto ambiental de 2 caminos inca y de otros lugares del santuario histórico; finalmente, se emiten recomendaciones que buscan reducir o mitigar futuros daños en las estructuras arquitectónicas incas estudiadas.

En el estudio denominado “Geología de Choquequirao” (Carlotto et al., 2011), se estudia la geodinámica del sitio arqueológico y del camino inca que permite el acceso de Cachora a Choquequirao.

El boletín “Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco” (Benavente et al., 2013) presenta evidencias de las deformaciones plio-cuaternarias, pliegues y fallas, relacionadas con la evolución neotectónica de la región Cusco. Se llevó a cabo un estudio detallado de estas estructuras sismogénicas y de los efectos inducidos por la sismicidad. El boletín presenta una relación de fenómenos secundarios detonados por sismos (movimientos en masa), así como un mapa de amenaza sísmica para movimientos en masa y procesos de licuación de suelos y/o asentamientos. Estos estudios permiten la caracterización de la amenaza sísmica de la región y constituyen una herramienta más que puede ser utilizada en los planes de ordenamiento territorial.

En la memoria descriptiva del estudio “Álbum de mapas de zonificación de riesgos fisiográficos y climatológicos del Perú” (INGEMMET, 1997), se localizan y analizan los fenómenos de geodinámica externa del país, relacionándolos con la seguridad física de centros poblados, mineros y grandes obras de infraestructura; identifica áreas susceptibles al peligro geológico, crea una base de datos de peligros geológicos y contribuye a la prevención y mitigación de sus efectos.

El “Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú” (Villacorta et al., 2012), a escala 1:1 000 000, zonifica al Perú sobre la base de sus características intrínsecas (litología, geomorfología, pendientes, unidades hidrogeológicas y tipo de cobertura de suelo) en 5 rangos, que van de muy baja a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de peligros por movimientos en masa.

En el presente estudio se identificaron e inventariaron un total de 1272 ocurrencias de peligros por movimientos en masa, 214 son los denominados otros peligros geológicos y 196 son peligros de tipo geohidrológico, los cuales hacen un total de 1682 ocurrencias en la región Cusco; en este trabajo también se identificaron 75 zonas consideradas como críticas.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El alcance principal de este estudio es la evaluación de la susceptibilidad a los peligros geológicos y geohidrológicos en la región Cusco. Esta información es básica y muy útil en los trabajos de prevención de desastres por peligros naturales y en los de ordenamiento territorial.

Una limitante para la elaboración del estudio ha sido la poca disponibilidad de fotografías aéreas actualizadas para hacer un análisis multitemporal de la evolución de los peligros identificados; solo se contó con fotos aéreas de los años 1962 y 1963; si bien es cierto que la falta de fotos aéreas fue cubierta por las imágenes satelitales de alta resolución de la plataforma Google Earth, estas no están disponibles con la calidad de detalle para toda la región, por lo que en ciertas zonas no se realizó una interpretación detallada.

Otra limitación del estudio que se manifiesta en el análisis de la susceptibilidad es la base topográfica con que se cuenta, en donde la equidistancia mínima entre curvas de nivel es de 50 m. Esto posibilita que entre estas 2 curvas topográficas queden escondidas pendientes de más de 45° en algunos casos, lo que influye en algún grado en el análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa e inundaciones.

1.4 PARTICIPACIÓN

En el presente estudio participaron los siguientes profesionales de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) del INGEMMET:

Para la ejecución de los trabajos de campo se contó con la participación de los ingenieros Manuel Vilchez Mata (jefe de proyecto); Norma Sosa Senticala y Dulio Gomez Velasquez (inventario de peligros geológicos y base de datos); Fluquer Peña y Karen Dueñas, encargados del estudio hidrogeológico; y Walter Pari, encargado del estudio de peligro sísmico.

La elaboración y revisión del informe preliminar estuvo a cargo de Manuel Vilchez M., los trabajos de edición y composición de mapas se han realizado con el apoyo del ingeniero Samuel Lu, de la Dirección de Sistemas de Información del INGEMMET.

1.5 OBJETIVOS

El objetivo general del estudio es asegurar que la información temática sobre peligros geológicos que afectan al territorio, preparada a nivel de regiones, sea una herramienta básica y de utilidad para la actualización de la zonificación ecológica económica (ZEE), planes de ordenamiento territorial (OT) regionales y la gestión del riesgo geológico.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Contribuir al desarrollo sostenible de la región Cusco y al mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes, brindando a las autoridades y a la población información de base y temática sobre los problemas que los afectan.
- Contribuir al conocimiento de los peligros geológicos en la región Cusco.
- Complementar el cartografiado y completar el inventario de los peligros geológicos, geohidrológicos y otros peligros naturales en la región Cusco, trabajo iniciado el año 2002 con el estudio “Riesgos Geológicos del Perú-Franja N.º 2”.
- Establecer zonas críticas que puedan ser afectadas por peligros naturales (movimientos en masa y geohidrológicos).
- Establecer las medidas que se deben tomar para la prevención de los peligros naturales (movimientos en masa y geohidrológicos).
- Finalmente, y muy importante, contribuir a salvar vidas, en otras palabras, reducir el número de muertes que pueden ser evitables.

1.6 METODOLOGÍA

La metodología empleada para el presente estudio consta de 3 etapas: Gabinete I, Campo I y Gabinete II.

Gabinete I

Los trabajos de gabinete I (o preliminares) consistieron en las siguientes actividades:

- Elaboración de plan de trabajo.
- Recopilación y evaluación de información bibliográfica: topográfica, hidrometeorológica, geológica, sísmica, hidrogeológica, uso de suelo, información sobre obras de infraestructura y registro histórico de desastres.
- Generación de la cartografía básica: composición del mapa topográfico base utilizando hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Preparación de modelo digital de terreno (MDT) mediante el uso de un SIG.
- Generación de mapas preliminares para su respectiva comprobación de campo.
- Análisis e interpretación de fotografías aéreas (geomorfología y depósitos superficiales).
- Interpretación y cartografiado de peligros geológicos, a partir de imágenes satelitales de alta resolución disponibles en la plataforma Google Earth, otras plataformas y fotografías aéreas de la región.
- Preparación de la base de datos del inventario de peligros geológicos.

Campo

Los trabajos de campo se han efectuado el año 2013, en 3 comisiones realizadas a la región Cusco, haciendo un total de 70 días de trabajo de campo. Estos trabajos han sido constantemente actualizados hasta el año 2018, a través de inspecciones de campo realizadas a sectores específicos. En dichas salidas se realizaron las siguientes actividades:

- Inventario, caracterización y cartografiado de los peligros geológicos por movimientos en masa, los peligros

geohidrológicos (erosión e inundación fluvial) y otros peligros geológicos (hundimientos y erosión de laderas) en hojas topográficas a escala 1:50 000.

- Evaluación preliminar de la seguridad física de centros poblados, obras de ingeniería no lineal y zonas críticas.
- Caracterización de unidades litológicas y unidades geomorfológicas en campo.
- Comunicación con comunidades (difusión del estudio y sensibilización a la población y autoridades sobre la temática de prevención de desastres).

Gabinete II:

Los trabajos de gabinete II (o finales) han radicado en:

- Procesamiento y depuración de datos sobre la base de la confrontación de la información obtenida en los trabajos de gabinete I y campo.
- Elaboración y preparación de una base de datos de peligros geológicos y geohidrológicos, que permita su incorporación a los SIG.
- Elaboración de mapas temáticos finales de factores (geomorfología, litología, pendientes, cobertura vegetal e hidrogeología), composición del mapa de inventario.
- Integración de mapas temáticos en el SIG y elaboración del análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa e inundaciones, elaboración y edición de los respectivos mapas.
- Determinación y descripción de zonas críticas, elaboración de mapa de zonas críticas.
- Análisis del peligro sísmico.
- Preparación y redacción del informe final.

1.7 AGRADECIMIENTOS

Los autores del estudio queremos agradecer a los Gobiernos locales y el gobierno Regional de Cusco, a las instituciones públicas (Indeci, Cenepred, entre otras) y a todos los profesionales que realizaron estudios en la región, cuya información ha sido valiosa en la elaboración de este trabajo.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA REGIÓN CUSCO

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La región Cusco es conocida, desde tiempos prehispánicos, como la cuna del antiguo imperio incaico y conocida ampliamente en el mundo por contar con una arquitectura y restos arqueológicos deslumbrantes.

Su nombre en quechua, Qosqo, significa 'ombligo' y, en forma figurada, 'centro' o 'punto de encuentro'. Esto se debe a que desde la ciudad del Cusco, capital del Imperio incaico o Tahuantinsuyo, partía una vasta red de caminos (Camino Inca) que se dirigía a los 4 suyos o regiones, los cuales conformaban las 4 partes del universo en la cosmovisión andina.

La fundación del Imperio incaico es contada a través de 2 mitos. El primero dice que el Cusco fue fundado por Manco Cápac y Mama Ocllo, hijos del Sol, que salieron del lago Titicaca con la misión de buscar un lugar que fuese el centro de un gran imperio, y que fue el Cusco el lugar elegido. El segundo mito narra las hazañas de 4 hermanos y sus respectivas esposas, que salieron de las cuevas de Pacaritambo. La pareja estaba conformada por Ayar Manco y Mama Ocllo, quienes llegaron a fundar la ciudad de Cusco. Estos mitos retratan la importancia ritual del Cusco y olvida a las culturas predecesoras, como los habitantes de Marcavalle, Huaura y Chanapata (1000 a. C.) o los establecimientos Tiahuanaco-Wari (750 d. C.), que ejercieron marcada influencia en estos territorios. Los restos arqueológicos de Piquillacta y Choquepuquio son vestigios de esto.

Los estudios indican que se formó un señorío hacia el año 1200 en la cabecera del valle del Cusco. En un comienzo convivió y rivalizó con otros grupos de similar poderío. Luego fue haciéndose más fuerte y terminó dominando todo el valle, posteriormente toda la región cusqueña.

Fueron 8 los gobernantes del Cusco comprendidos entre los años 1200 y 1438. Este último año es considerado fecha importante para el Imperio. Cuando los Chancas llegan al Cusco y piden la rendición de los incas, el inca Huiracocha accede a esta para después huir junto con su esposa e hijos, incluido el heredero inca Urco, y dejar al Cusco sumido en el caos y desorden. Cusi Yupanqui, con ayuda de los curacazgos vecinos

del Cusco, vence y derrota a los Chancas. Así, este asume el poder con el nombre Pachacútec y es el noveno inca, artífice y gestor de la consolidación del imperio del Tahuantinsuyo.

Se acepta el año 1438 como fecha aproximada de la coronación de Pachacútec y, de ahí, hasta el año 1525 cuando muere el inca Huayna Cápac se considera como el periodo de apogeo, máximo desarrollo y expansión del Imperio. Sin embargo, todo este desarrollo y alto grado de desarrollo cultural que alcanzaron no se puede explicar sin la participación e integración de la herencia cultural Wari, así como las redes de caminos construidos para conectar la capital del Imperio con sus centros regionales. Asimismo, los principios de reciprocidad y dualismo, base de la concepción del mundo andino, ayudan a entender su rápida expansión. Originalmente, los incas dividieron el Cusco en 2 mitades: Hurin y Hanan ('arriba' y 'abajo'). Luego, al expandirse estas 2 mitades, se subdividieron en otras 2, lo que resultó en 4 sectores conocidos como Chinchaysuyo, Antisuyo, Collasuyo y Contisuyo. Esta misma división se extendió a todos los territorios conquistados. En el momento de mayor auge, el Imperio, que tenía como centro el Cusco, abarcó los actuales territorios del sur de Colombia, hasta los valles centrales de Chile, el altiplano boliviano y el noreste de Argentina.

Es hacia el año 1525, con la muerte del inca Huayna Cápac en Quito, cuando se suscita una crisis de sucesión de poder. Es pues, nombrado en el Cusco como el nuevo inca Huáscar", lo que motivo que su medio hermano Atahualpa, que se encontraba en Quito, se rebelara, incitado por los generales de su padre Huayna Cápac. En este contexto, Atahualpa fue tomado preso por los Cañaris y logró huir, formar un ejército y derrotar a sus enemigos de Quito y Tunipampa. Luego avanzó hasta Tumbes, y se encontró con que ya había sido arrasada por el curaca de Puná. En ese momento, empezaron a llegar los primeros españoles al territorio incaico.

Por su parte, Huáscar trataba de afianzarse como nuevo gobernante en el Cusco. Sin embargo, cometió muchos errores políticos que le restaron el apoyo de los cusqueños y, muy por el contrario, fue ganando muchas enemistades.

Huáscar no estuvo de acuerdo con el testamento de Huayna Cápac, ya que se creía con el derecho de heredar todo el Imperio incaico según las leyes, costumbres y tradiciones incaicas. Tras varios años de paz, en 1531, se enfrentó a su medio hermano Atahualpa, quien también consideraba ser el legítimo heredero del Imperio en la región de Quito. Se suscitaron cruentas y sangrientas batallas entre tropas de los bandos cusqueños y quiteños. Estos últimos salieron vencedores en la batalla de Cotabamba (Apurímac). Huáscar fue tomado prisionero y muerto por orden de Atahualpa. Suscitada esta última batalla que le dio la victoria a Atahualpa, este se marchó a Cajamarca para ser coronado inca, pero fue tomado prisionero por los españoles en la batalla de Cajamarca en 1532. Esto significó el fin del Imperio incaico. Atahualpa gobernó de facto entre 1532 y 1533, pero no es considerado inca porque nunca ciñó la mascaipacha.

En resumen, el Imperio incaico alcanzó una gran extensión territorial por medio de la incorporación de otras culturas, como son las culturas Chimú y Wari, y ocupó un horizonte temporal que duró unos 333 años aproximadamente, desde el año 1200 d. C. al 1533 d. C., fecha en que llegaron los conquistadores españoles, lo que significó la destrucción y el fin del Imperio incaico (Figura 2.1).

La fundación española del Cusco se llevó a cabo el 23 de marzo de 1534, bajo la denominación de “la muy noble y muy leal ciudad del Cusco”. Sin embargo, la sublevación de Manco Inca, en 1536, abre un largo periodo de resistencia incaica, que tras sitiar la ciudad se refugian en Vilcabamba. Este periodo termina con la muerte del inca Túpac Amaru, el último hijo de Manco Inca, por orden del virrey Francisco de Toledo, en el Cusco. Una vez consolidado el dominio español, la antigua capital incaica se convirtió en la ciudad más importante del Virreinato del Perú después de Lima. El arribo de una nueva cultura transformó los templos y palacios incaicos en casonas e iglesias coloniales.

La ciudad de Cusco se convirtió en símbolo de mestizaje arquitectónico y cultural. El terremoto de 1650 dejó en ruinas la ciudad y los alrededores, pero dio ocasión para iniciar el nuevo arte cusqueño bajo el mecenazgo del obispo Mollinedo, quien, en su propósito de reconstruirla, alentó el desarrollo de la arquitectura, la talla en madera y la pintura.

El Cusco fue escenario de varios movimientos de resistencia andina, entre los que destaca el de José Gabriel Condorcanqui, Túpac Amaru II, en 1780. El rebelde enfrentó a corregidores y autoridades que intentaban aplicar una serie de reformas y maltrataban a la población andina.

Tras la declaración de la Independencia, el libertador don José de San Martín creó el departamento de Cusco el 26 de abril de 1822, aunque fue recién en 1825, con la llegada de Simón Bolívar, que se romperían definitivamente sus lazos con la corona española.

De la capital del Cusco, se destacan su plaza de armas, y la Catedral, principal recinto que guarda al Señor de los Temblores, el patrón de la ciudad del Cusco. En la actualidad, el Cusco es uno de los centros más importantes de la actividad turística en América del Sur y el mundo. El Cusco es considerada la “Capital Arqueológica de América” y tiene monumentos precolombinos como el Koricancha (Templo del Sol), el Ajlla Wasi, el Amaru Cancha (‘Cerco de Serpiente’), el Kiswar Kancha, entre otros; también tiene obras producto del mestizaje como son la Catedral, la iglesia y el convento de la Merced, y el templo de San Blas. En los alrededores de la ciudad de Cusco, se tiene a la fortaleza de Sacsayhuaman. Un poco más alejado se encuentra la fortaleza de Pucca Pucara y Tambomachay. En el valle sagrado de los Incas, está Písac con su impresionante andenería; Moray; Urubamba; Ollantaytambo; Chinchero; la ciudadela de Machu Picchu, patrimonio cultural de la Humanidad y una de las Maravillas del Mundo.

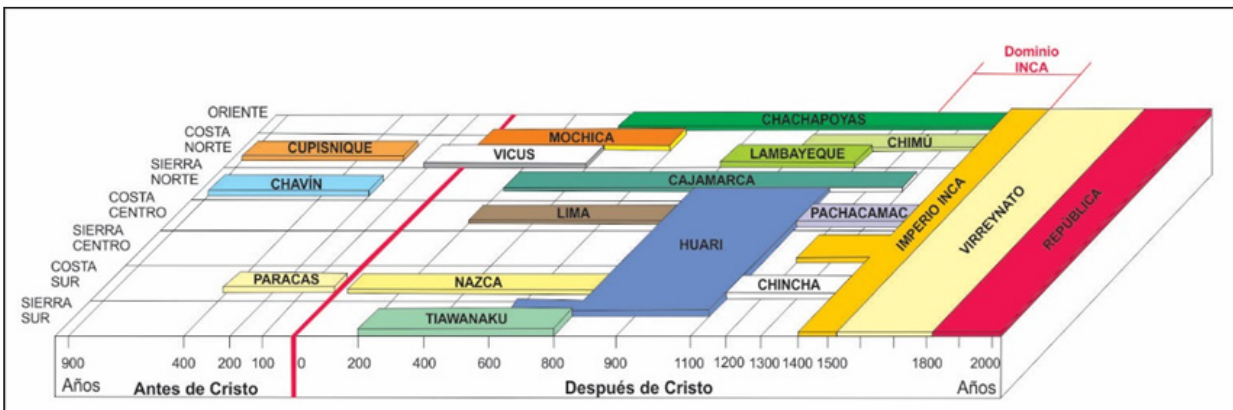


Figura 2.1 Ubicación temporal del desarrollo del Imperio inca.

Las festividades más importantes del Cusco son el Inti Raymi o 'la Fiesta del Sol'; las fiestas religiosas del Señor de Qoyllor Riti y el Señor de Huanca.

2.2 UBICACIÓN

La región Cusco se encuentra ubicada en la zona central-sur del Perú, entre las coordenadas geográficas 11° 11' 55" y 15° 27' 31" de latitud sur, 70° 20' 43" y 73° 58' 49" de longitud oeste, y abarca las zonas de sierra y selva (Figura 2.2).

Tiene como límites geográficos a 7 regiones. Por el norte, limita con Junín y Ucayali; por el este, con Madre de Dios y Puno; por el sur, con Arequipa; y por el oeste, con Apurímac y Ayacucho. Tiene como límite natural, por el oeste, a las regiones Apurímac y Ayacucho, a los ríos Santo Tomás y Apurímac. Además, limita con Ucayali por el norte; el límite natural son los ríos Vinuya y Mishahua.

La región fue creada el 26 de abril de 1822. Tiene una extensión de 72 117 km², que constituye el 5.6% del área total del territorio peruano. Así se convierte en una de las más extensas del Perú. La mayor extensión la presenta la provincia de La Convención, con 30 062 km². Le siguen Quispicanchi (7565 km²), Paucartambo (6295 km²); Chumbivilcas (5371 km²), Calca (4415 km²), Espinar (5311 km²), Canchis (3999 km²), Canas (2104 km²), Paruro (1985 km²), Anta (1876 km²), Urubamba (1439 km²), Acomayo (948 km²) y el Cusco (617 km²) (Figura 2.3). Sus altitudes varían desde los 278 m s. n. m. en el río Araza (límite de la región con Puno y Madre de Dios), hasta los 6372 m s. n. m. en el nevado Auzangate. Su capital es la ciudad del Cusco, que se encuentra a una altitud de 3395 m s. n. m. La región está dividida en trece provincias y 112 distritos (Cuadro 2.1).

El área de la región Cusco, materia del estudio, se encuentra comprendida en 38 hojas topográficas del IGN a escala 1:100 000, correspondientes a los cuadrángulos de Sepahua, Miaria, Unión, Cutivireni, Quiriguete, Camisea, Río Cashpajas, Llochegua, Río Picha, Timpia, Calangato, Ayna, Churanquiri, Quillabamba, Quebrada Honda, Probamba, Pilcopata, Pacaypata, Machupicchu, Calca, Urubamba, Chontachaca, Quincemil, Masuco, Tambobamba, Cusco, Ocongate, Corani, Santo Tomás, Livitaca, Sicuani, Muñoa, Cayarani, Velille, Yauri, Cailloma, Condorama y Ocuiviri.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

La región Cusco, a nivel nacional, se encuentra en el tercer grupo de departamentos con incidencia de pobreza que va desde 20.6% a 24.7%, junto con las regiones de Áncash,

La Libertad y San Martín (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

La ciudad de Cusco está considerada como la ciudad viviente más antigua de América. Según cifras oficiales obtenidas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), para el 2017, la población de la región Cusco fue de 1 205 527 habitantes (Censo Nacional de 2017: XII de Población y VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas) (Cuadro 2.2). Esta cifra de población equivale al 4.1% de la población nacional.

La mayor concentración poblacional está en las provincias de Cusco: la capital de la región registra 447 588 habitantes (32.13%); la Convención, 147 148 habitantes (12.21%); Canchis, 95 774 habitantes (7.94%); y Quispicanchi, 87 430 habitantes (7.25%) (Figura 2.4).

La pirámide de población para la región Cusco, según el XI Censo Nacional de Población y VI de vivienda (2007), resalta una estructura demográfica juvenil con un mayor peso de la población, cuya edad se encuentra por debajo de los 35 años (60.27% del total de habitantes), y los menores de 15 años (27.15%). Los cusqueños mayores de edad son 809 150 (67.12% de la población está en edad para votar). La población de esta región es relativamente joven; su edad promedio es de 30.84 años, mientras que, a nivel nacional, dicho promedio es de 31.52 años (Figura 2.5).

2.4 FACTORES SOCIOECONÓMICOS

De acuerdo al Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas (2017), según el sexo de los habitantes, se tiene que el 49.48% es de sexo masculino y el 50.52% del femenino, cifra esta última que representa la mitad (Figura 2.6).

Por el área de residencia, en la región Cusco, el 60.66% de la población vive en el ámbito urbano (731 252 habitantes) y el 39.34% en área rural (474 275 habitantes) (Figura 2.7). Teniendo en cuenta el sexo de la población, se puede observar que en el ámbito urbano se encuentra el mayor número de población de sexo femenino. Así, también, en el ámbito rural hay un menor número de mujeres. Para la población de sexo masculino, el mayor número se encuentra en el ámbito urbano de la región (Figura 2.8).

La población económicamente activa (PEA) total para la región Cusco, según el INEI, para el año 2017, fue de 777 211 habitantes. Datos más completos son presentados por el INEI para el año 2016, donde la PEA fue de 761 614 habitantes. De ellos, 402 783 son hombres y 358 832 mujeres. Esta cantidad equivale al 52.89% y 47.11% de la PEA de la región,

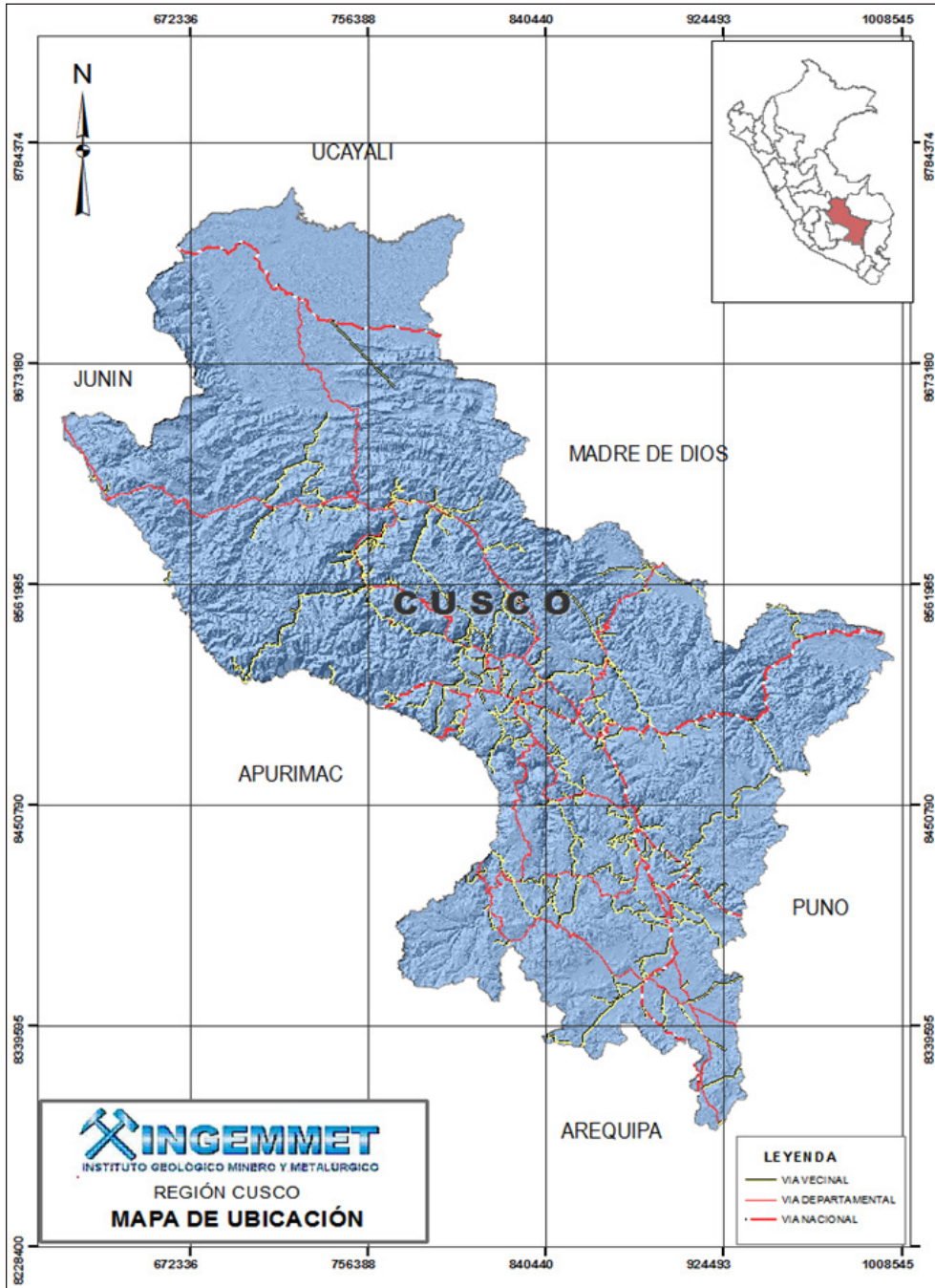


Figura 2.2 Mapa de ubicación de la región Cusco.

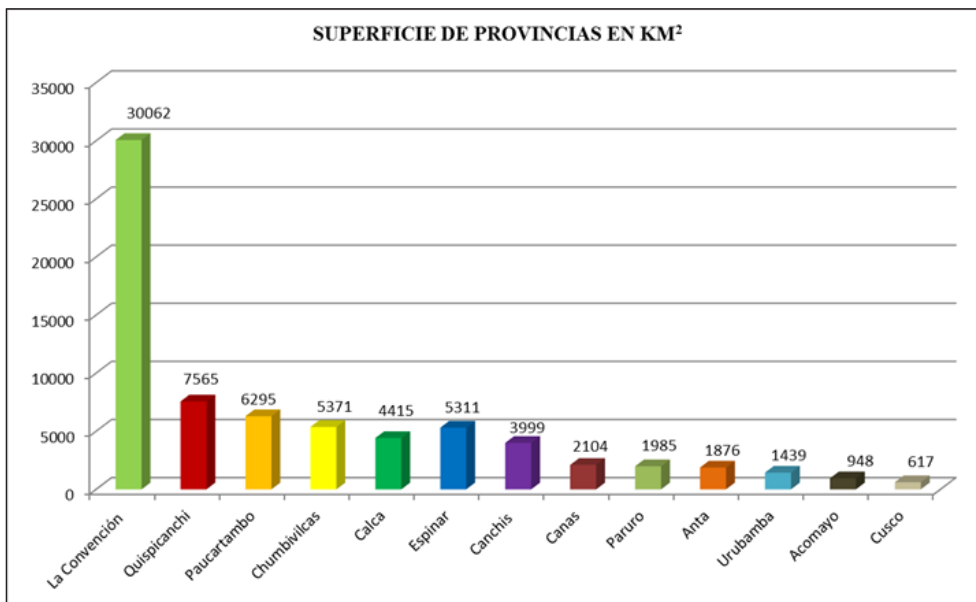


Figura 2.3 Superficie en kilómetros cuadrados de las provincias de la región Cusco. (Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística e informática, 2014)

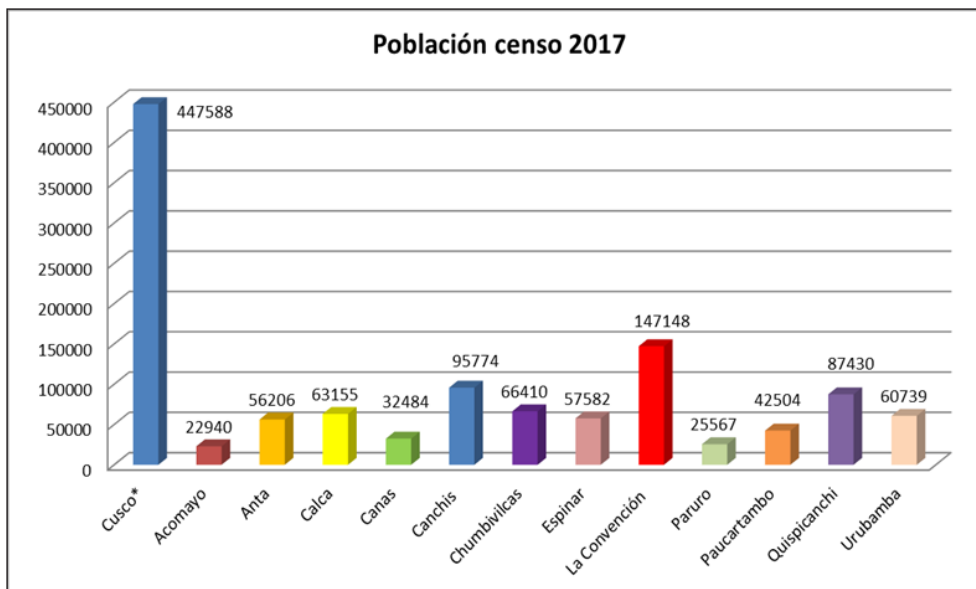


Figura 2.4 Población a nivel de provincias en la región Cusco (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

Cuadro 2.1
Provincias y distritos de la región Cusco

Provincia	Capital	Distritos
Cusco	Cusco	Cusco, Ccorca, Poroy, San Jerónimo, San Sebastián, Santiago, Saylla y Wanchaq.
Acomayo	Acomayo	Acomayo, Acopia, Acos, Mosoc llacta, Pomacanchi, Rondocan y Sangarara.
Anta	Anta	Anta, Ancahuasi, Cachimayo, Chinchaypujio, Huroconco, Limatambo, Mollepata, Pucyura y Zurite.
Calca	Calca	Calca, Coya, Lamay, Lares, Písac, San Salvador, Taray y Yanatile.
Canas	Yanaoca	Yanaoca, Checca, Kunturkanki, Langui, Layo, Pampamarca, Guehue y Túpac Amaru.
Canchis	Sicuani	Sicuani, Checacupe, Combapata, Marangani, Pitumarca, San Pablo, San Pedro y Tinta.
Chumbivilcas	Santo Tomás	Santo Tomás, Capacmarca, Chamaca, Colquemarca, Livitaca, Llusco, Quiñota y Velille.
Espinar	Yauri	Espinar, Condorama, Coporaque, Ocoruro, Pallpata, Pichigua, Suyckutambo y Alto Pichigua.
La Convención	Quillabamba	Santa Ana, Echarate, Huayopata, Maranura, Ocobamba, Quellouno, Quimbiri, Santa teresa, Vilcabamba, Pichari, Inkawasi, Villa Virgen; Villa Kintiarina y Megantoni.
Paruro	Paruro	Paruro, Accha, Ccapi, Colcha, Huanoquite, Omacha, Paccaritambo, Pillpinto y Yaurisque.
Paucartambo	Paucartambo	Paucartambo, Caicay, Challabamba, Colquepata, Huancarani y Kosñipata.
Quispicanchi	Urcos	Urcos, Andahuaylillas, Camanti, Ccarhuayo, Ccatca, Cusipata, Huaro, Lucre, Marcapata, Ocongate, Oropesa y Quiquijana.
Urubamba	Urubamba	Urubamba, Chinchero, Huayllabamba, Machupicchu, Maras, Ollantaytambo y Yucay.

Fuente: Elaboración propia con información de INEI.

Cuadro 2.2
Distribución de la población a nivel de provincias de la región Cusco

Provincia	Capital	Población (Censo 2007)	Población (censo 2017)	Superficie (km ²)	Densidad poblacional (hab/km ²)
Cusco*	Cusco	367 791	447 588	617	725.43
Acomayo	Acomayo	27 357	22 940	948	24.2
Anta	Anta	54 828	56 206	1 876	29.96
Calca	Calca	65 407	63 155	4 415	14.3
Canas	Yanaoca	38 293	32 484	2 104	15.44
Canchis	Sicuani	96 937	95 774	3 999	23.95
Chumbivilcas	Santo Tomás	75 585	66 410	5 371	12.36
Espinar	Yauri	62 698	57 582	5 311	10.84
La Convención	Quillabamba	166 833	147 148	30 062	4.89
Paruro	Paruro	30 939	25 567	1 985	12.88
Paucartambo	Paucartambo	45 877	42 504	6 295	6.75
Quispicanchi	Urcos	82 173	87 430	7 565	11.56
Urubamba	Urubamba	56 685	60 739	1 439	42.21
Total		1 171 403	1 205 527		

*Capital de la región Cusco. Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

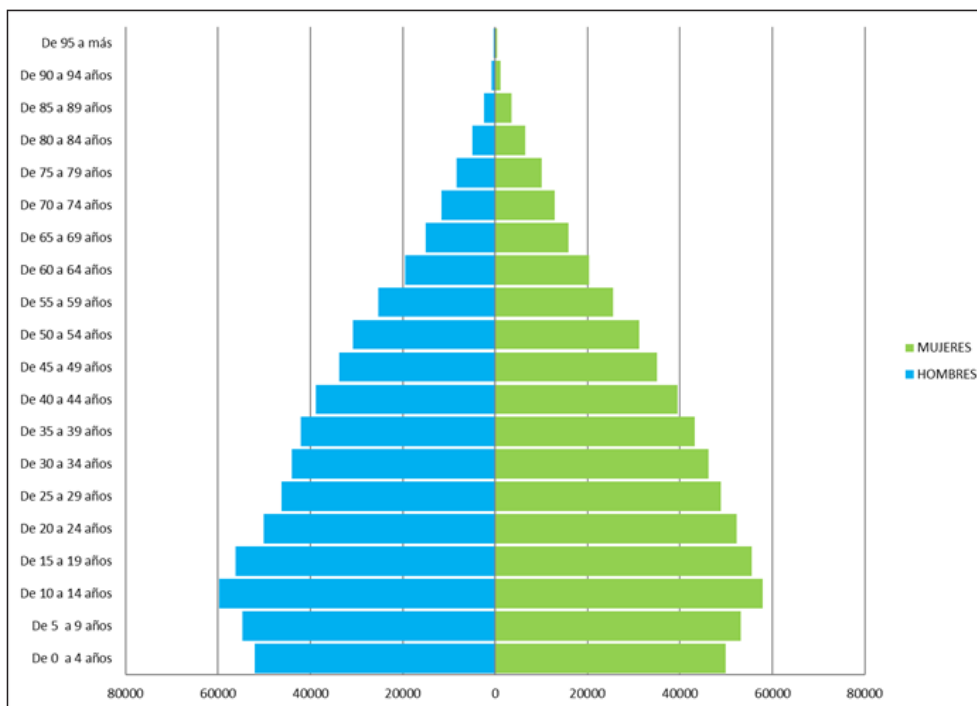


Figura 2.5 Distribución de la población por sexo y edad, región Cusco, 2017 (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

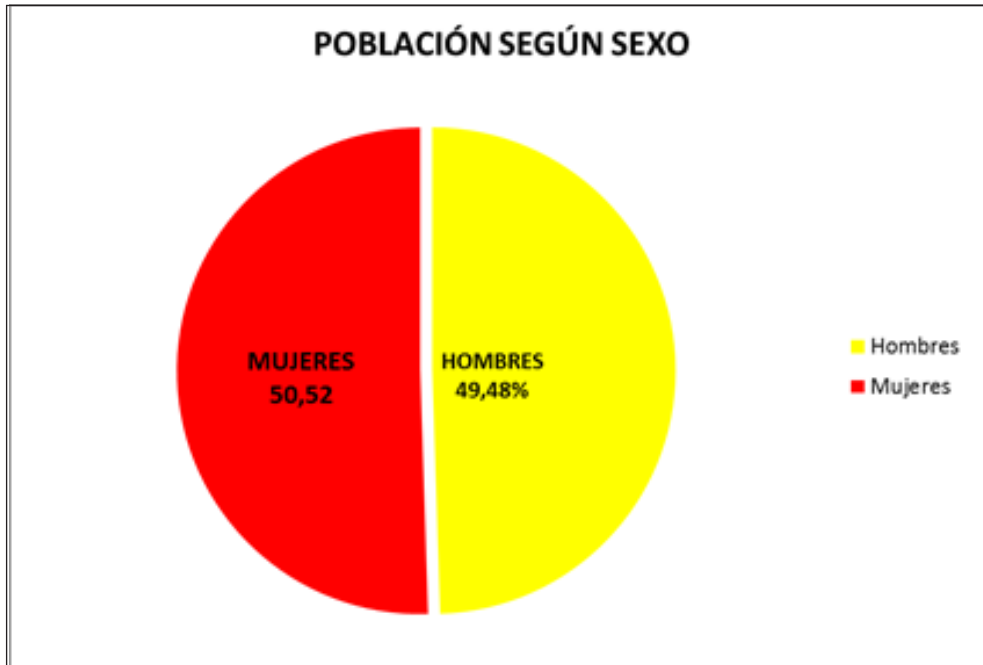


Figura 2.6 Población según el sexo, región Cusco, 2017 (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

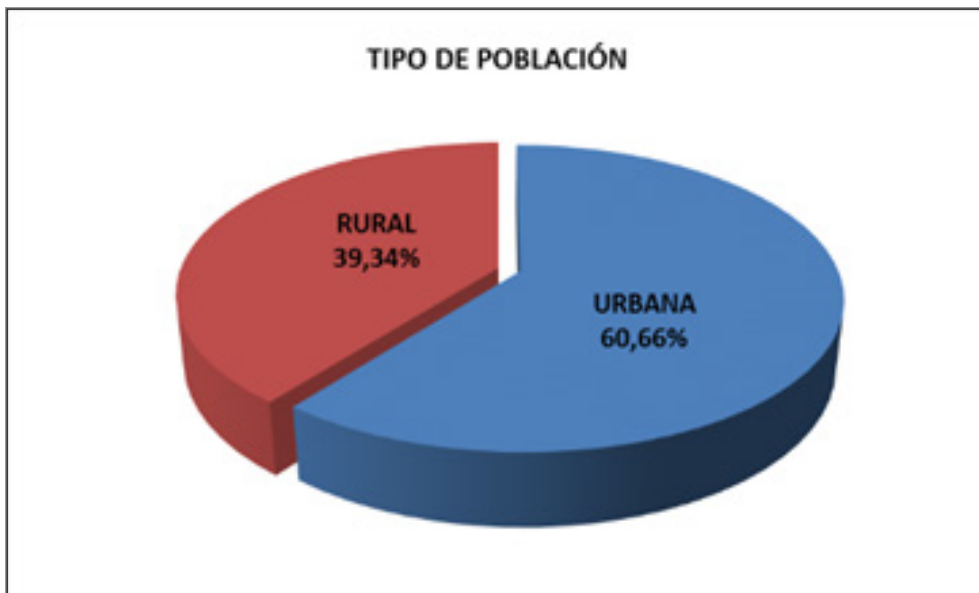


Figura 2.7 Distribución de la población por áreas de residencia en la región Cusco (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

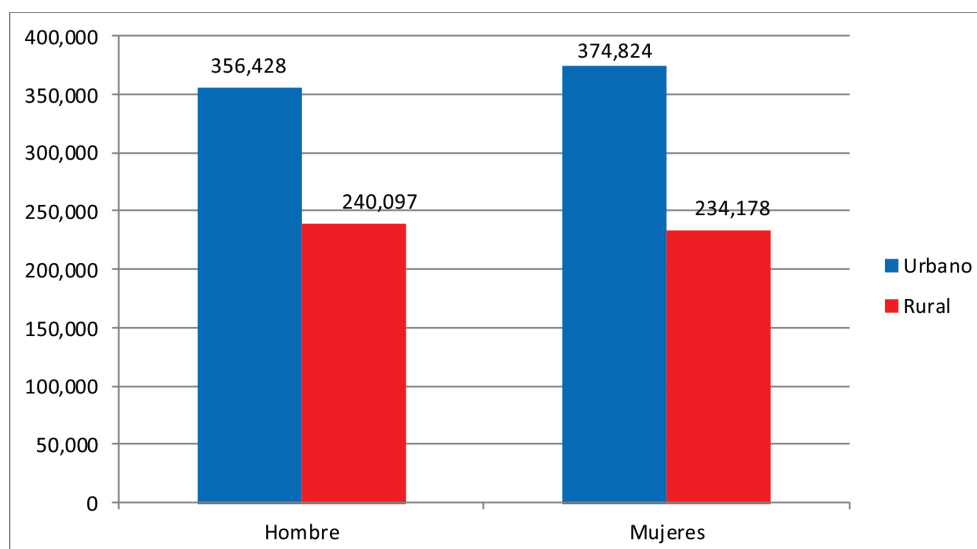


Figura 2.8 Distribución de la población según el sexo por áreas de residencia en la región Cusco (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

respectivamente. De igual forma, para el año 2016, según datos del INEI, de los 353 226 habitantes que conforman la PEA ocupada en la región Cusco, 389 638 son hombres y 347 045 son mujeres (Cuadro 2.3).

En cuanto a los niveles de analfabetismo (personas que no saben leer y escribir) presentados por la población cusqueña, se muestra una tasa de 14.78% en el año 2017 (169 524 habitantes). De esa cifra total de analfabetos, son hombres el 35.48%, mientras que las mujeres representan el 64.52%. Así, podría interpretarse que, en la región Cusco, en estos últimos años, el acceso a la educación se redujo, y esta accesibilidad fue mucho menor para las mujeres.

En cuanto a lo que se refiere al nivel de instrucción que tiene la población cusqueña (de 3 y más años de edad), se puede ver en el Cuadro 2.4 que el 27.66% de la población tiene educación primaria completa. El 33.41% concluyó los estudios secundarios, y tan solo un 17% de la población cuenta con estudios superiores concluidos (universitaria, no universitaria y maestría/doctorado).

En lo que se refiere a acceso a la vivienda, se tiene un total de 446 869 viviendas en la región Cusco. De esta cifra, el 83.78% son viviendas independientes; el 4.35% corresponde a departamentos en edificio; un 2.34% son chozas o cabañas; el 1.9% corresponde a viviendas en casa de vecindad; el 0.82% a

viviendas están localizadas en quintas. Finalmente, se pueden ver otras categorías de viviendas que no superan el 1% de total de casos estudiados (Cuadro 2.5).

Del total de viviendas censadas en la región Cusco, el 50.56% se encuentran en área urbana (con 225 925 viviendas) y en el área rural un 49.38% (con 220 661 viviendas). Según el tipo, las casas independientes presentan mayores porcentajes en las áreas rurales (94.83%) y urbanas (84.96%) (Cuadro 2.6). La provincia que tiene mayor número de viviendas en áreas urbanas es Cusco con el 53.05%. Por otro lado, en cuanto al número de viviendas ubicadas en áreas rurales, la provincia de La Convención tiene la cifra mayor con el 18.56%. Le sigue Chumbivilcas, con 11.04%; Quispicanchi, con 8.74%; Canchis con el 8.64%; Anta, con el 7.67%; y Canas, con el 7.35% del total de viviendas censadas (Cuadro 2.7).

Con respecto al material con que se construyeron las paredes de las viviendas en la región Cusco, el 24.48% son de paredes de ladrillo o bloquetas de cemento; el 66.92% de adobe. Le siguen las construcciones de madera, con un 4.7%; de piedra y barro, con el 2.53%; de piedra o sillar, con cal o cemento, con 0.47%; de tapial, con 0.38%; de triplay, calaminas o esteras, con un 0.39%; y de quincha, con un 0.12% (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.3
PEA total y ocupada según sexo en la región Cusco

PEA	N.º de pobladores					
	Año	2007	%	2016	%	2017
Total		677 026		761 614		777 211
Hombres		371 353	54.85	402 783	52.89	*
Mujeres		305 673	45.15	358 832	47.11	*
PEA ocupada		648 697		736 694		755 115
Hombres		357 558	55.12	389 638	52.89	
Mujeres		291 139	44.88	347 056	47.11	

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Cuadro 2.4
Nivel de instrucción en la región Cusco

Categorías	N.º casos	%
Total	1147188	
Sin nivel	111 778	9.74
Educación inicial	59 564	5.19
Primaria	317 292	27.66
Secundaria	383 231	33.41
Básica especial	1 196	
Superior no universitaria incompleta	42 099	3.67
Superior no universitaria completa	72 772	6.34
Superior universitaria incompleta	49 762	4.34
Superior universitaria completa	96 667	8.43
Maestría/doctorado	12 827	1.12

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Cuadro 2.5
Tipo de vivienda en la región Cusco

Categorías	Casos	%
Casa independiente	401 197	89.78
Departamento en edificio	19 446	4.35
Vivienda en quinta	3 642	0.82
Vivienda en casa de vecindad (callejón, solar o corralón)	8 472	1.9
Chozo o cabaña	10 438	2.34
Vivienda improvisada	1 372	0.31
Local no destinado para habitación humana	418	0.09
Otro tipo de vivienda particular	1	0
Hotel, hostel, hospedaje, casa pensión	888	0.2
Establecimiento de salud	159	0.04
Establecimiento penitenciario	6	0
Centro de atención residencial para adultos mayores	7	0
Centro de atención residencial para niñas/os y adolescentes	60	0.01
Conventos, monasterios o similares	37	0.01
Cuartel, campamento, base de FF. AA. o PNP	139	0.03
Otro tipo de vivienda colectiva	304	0.07
En la calle (personas sin vivienda)	16	0
Garita, puerto, aeropuerto o similares	267	0.06
Total	446 869	100

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Cuadro 2.6
Distribución de viviendas de la región Cusco por tipo de área donde se localizan

Categorías	Urbano	%	Rural	%
Casa independiente	191 950	84.96	209 247	94.83
Departamento en edificio	19 421	8.6	25	0.01
Vivienda en quinta	3 579	1.58	63	0.03
Vivienda en casa de vecindad (callecón, solar o corralón)	8 296	3.67	176	0.08
Choza o cabaña	0	0	10 438	4.73
Vivienda improvisada	1 238	0.55	134	0.06
Local no destinado para habitación humana	289	0.13	129	0.06
Otro tipo de vivienda particular	0	0	1	0
Hotel, hostel, hospedaje, casa pensión	785	0.35	103	0.05
Establecimiento de salud	75	0.03	84	0.04
Establecimiento penitenciario	6	0	0	0
Centro de atención residencial para adultos mayores	5	0	2	0
Centro de atención residencial para niñas/os y adolescentes	40	0.02	20	0.01
Conventos, monasterios o similares	29	0.01	8	0
Cuartel, campamento, base de FF. AA. o PNP	81	0.04	58	0.03
Otro tipo de vivienda colectiva	131	0.06	173	0.08
En la calle (personas sin vivienda)	9	0	7	0
Garita, puerto, aeropuerto o similares	171	0.08	96	0.04
Total	225925	100	220661	100

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Cuadro 2.7
Distribución de viviendas de las provincias de la región Cusco por tipo de área donde se localizan

Provincia	Urbana	%	Rural	%
Cusco	119 941	53.05	5 436	2.46
Acomayo	4 540	2.01	7 248	3.28
Anta	5 819	2.57	16 936	7.67
Calca	9 417	4.16	14 834	6.72
Canas	1 857	0.82	16 223	7.35
Canchis	20 330	8.99	19 176	8.69
Chumbivilcas	6 977	3.09	24 382	11.04
Espinar	12 812	5.67	17 121	7.76
La Convención	19 715	8.72	40 983	18.56
Paruro	*	*	11 757	5.33
Paucartambo	1 587	0.7	14 956	6.77
Quispicanchi	14 252	6.3	19 304	8.74
Urubamba	8 858	3.92	12 408	5.62

(*) Sin dato. Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

Cuadro 2.8
Material de construcción usado en las paredes de viviendas particulares de la región Cusco

Categorías	Total	%
Ladrillo o bloque de cemento	79 207	24.48
Piedra o sillar con cal o cemento	1 534	0.47
Adobe	216 550	66.92
Tapia	1 244	0.38
Quincha (caña con barro)	400	0.12
Piedra con barro	8 196	2.53
Madera (pona, tornillo etc.)	15 192	4.7
Triplay / calamina / estera	1 247	0.39
Otro material	2	0

Fuente: INEI, (Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas)-

Cuadro 2.9
Alumbrado eléctrico por tipo de vivienda en la región Cusco

Tipo de vivienda	Sí tiene alumbrado eléctrico	No tiene alumbrado eléctrico	Total
Casa independiente	237 372	53 452	290 824
Departamento en edificio	16 127	0	16 127
Vivienda en quinta	3 364	0	3 364
Vivienda en casa de vecindad (callejón, solar o corralón)	7 407	200	7 607
Choza o cabaña	1 313	3 777	5 090
Vivienda improvisada	84	57	141
Local no destinado para habitación humana	381	37	418
Otro tipo de vivienda particular	0	1	1
Total	266 048	57 524	323 572

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Cuadro 2.10
Tipo de abastecimiento de agua en las viviendas de la región Cusco

Tipo de vivienda	Casos	%
Red pública dentro de la vivienda	194 078	59.98
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	63 397	19.59
Pilón o pileta de uso público	15 112	4.67
Camión, cisterna u otro similar	3 036	0.94
Pozo (agua subterránea)	27 745	8.57
Manantial o puquio	11 282	3.49
Río, acequia, lago, laguna	7 177	2.22
Otro	605	0.19
Vecino	1 140	0.35
Total	323 572	100

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

2.5 INFRAESTRUCTURA

La información de infraestructura con la que cuenta la región Cusco fue extraída de los datos que fueron recavados en el Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, y que son proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) del Perú.

Servicios básicos

Los servicios básicos con los que cuentan la región Cusco, se encuentran en los Cuadros 2.9, 2.10 y 2.11. La cobertura del servicio público de alumbrado eléctrico alcanza el número de 266 048 viviendas, que equivale al 82.22% (Cuadro 2.9).

En cuanto al acceso al agua potable o el servicio de agua con que cuentan las viviendas, se puede decir que un 59.98% de las viviendas cusqueñas tienen conexión interna con la red de agua potable. El 19.59% tiene la conexión de agua fuera de la vivienda. El 8.57% extrae el agua de pozos; el 4.67% obtiene el agua del pilón de uso público; el 3.49% de manantiales; el 2.22% obtiene el agua de ríos o laguna; el 0.94% de camión cisterna; y solo un 0.35% obtiene el agua de un vecino (Cuadro 2.10).

Con respecto a la red pública de alcantarillado, en la región Cusco, el 59.86% de viviendas tiene conexión interna o externa a la red pública del alcantarillado. Esto significa que casi el 40.14% restante debía cubrir esa necesidad por otros medios menos salubres, como pozos ciegos o negros (13.28%); pozos sépticos (10.47%); letrina (5.67%); río, acequia o canal (0.64%); y finalmente un 9.27% tiene como servicio higiénico el campo abierto (Cuadro 2.11).

En la región Cusco, los principales combustibles utilizados para cocinar son el gas GLP con 49.39% de hogares que lo usan. Le siguen la leña con 34.66% y la bosta de estiércol con el 11.95% (Cuadro 2.12).

Red vial

Según cifras del Provias Nacional (2015), la región Cusco cuenta con una red vial de 11 879.26 km. De esto, 1984.501 km pertenecen a la red vial nacional; 2786.81 km a la red vial departamental y 7107.95 km a la red vial vecinal.

De la red vial asfaltada (1350.80 km), el 84% corresponde a la red vía nacional; el 7.04% a la red vial departamental; y el 8.96%, a la red vial vecinal. En tanto, la red vial sin pavimento corresponde a 10 528 km; el 8.07% corresponde a la red vial nacional; el 25.57% a la red departamental; y el 66.36% a la red vecinal (Cuadro 2.13).

- Carretera Interoceánica Sur en su tramo Puente Cunyac-Anta-Cusco-Urcos-Ocongate-Quincemil-Puente Inambari, que permite el tránsito hacia la costa peruana y hacia el país vecino de Brasil. Todo el tramo es asfaltado.

- Carretera Central en su tramo Urcos-La Raya. El tramo es asfaltado hasta el departamento de Puno.
- Carretera Cusco-Paruro, con un tramo asfaltado de 45.3 km.
- Carretera Cusco-Chincheros-Urubamba, con un tramo de 45 km asfaltado.
- Carretera Cusco-Calca con un tramo de 50.5 km asfaltado.
- Carretera Paucartambo-Puerto Buenavista, 116.6 km de trocha afirmada.
- Carretera Calca- Quebrada Onda, con un tramo afirmado de 155.2 km.
- Carretera Urubamba-Ollantaytambo-Quillabamba-Palma Real-Kimbiri. Permite la interconexión con Ayacucho y el centro del Perú.

Además, se cuenta con varias vías de interconexión con las regiones Apurímac, Arequipa y Puno. Estas permiten el intercambio socioeconómico entre estas regiones.

Infraestructura aérea

La región Cusco cuenta con doce aeródromos, un aeropuerto y un helipuerto con superficie. Todos se describen a continuación (Cuadro 2.14):

Red ferroviaria

La red ferroviaria del Cusco es manejada por las empresas IncaRail (operador del Ferrocarril Sur Oriente) del Grupo Empresarial Crosland, y PeruRail, de capitales peruano-británicos, parte del Grupo Belmond, que desde 1999 ofrece servicios de Cusco-Machu Picchu y Cusco-Puno (Cuadro 2.15).

Energía

La distribución de la capacidad instalada de generación entre las regiones responde a la disponibilidad de recursos aprovechables para la producción eléctrica. El año 2016 mostró un alto nivel de concentración en la zona centro del país. Solo en las regiones de Lima y Callao se encuentra el 42% de la potencia instalada destinada al mercado eléctrico y 50% de la potencia instalada térmica (Perú. Ministerio de Energía y Minas, 2017). Esta situación se sustentó en la disponibilidad de suministro de gas natural de Camiséa, lo cual favoreció la instalación de diversas centrales que aprovecharon este recurso energético.

Para la región Cusco, la potencia instalada total para el año 2016, fue de 360.80 MW. Por otro lado, la producción de energía eléctrica para dicho año fue de 2 025.57 GW.h (1 926.51 GW.h son de origen hidráulico y 99.06 GW.h es térmica). El consumo de energía eléctrica de la región fue de 2115.32 GW.h y su consumo per capita fue de 1 597.22 kW.h/hab.

En cuanto a la generación de energía eléctrica, la región Cusco contaba, para el año 2016, con 11 centrales de generación de electricidad (térmicas e hidráulicas), la cual se detalla en el Cuadro 2.16.

Gasoducto de Camisea

Por el gasoducto de Camisea se transportan y distribuyen el gas natural y líquidos de gas natural extraídos desde el campo Las Malvinas en la selva del Cusco, distrito de Echarate, provincia de La Convención, hacia la costa peruana, específicamente a las regiones Lima e Ica. El gasoducto de Camisea, en su recorrido por territorio cusqueño, atraviesa los distritos de Echarate y Kimbiri.

La línea del gasoducto por donde se conduce el gas natural (metano y etano), separado en la Planta Malvinas en el Cusco, del agua, las impurezas y los denominados líquidos de gas natural (LGN), llega a la planta de compresión Chiquintirca en Ayacucho y termina en el City Gate en Lima. Este gasoducto recorre aproximadamente 729 km. El gas natural es utilizado con fines residenciales, comerciales, industriales, como combustible vehicular y la generación de electricidad.

El poliducto que lleva los líquidos de gas natural separados del gas inicia su trayecto en la Planta Malvinas en Echarate y finaliza en la playa Lobería, en Pisco. Tiene una longitud de 557 km. Aquí permitirá abastecer de GLP y otros productos al mercado local. Estos productos también son exportados y generan fuente de ingreso de divisas.

Finalmente, se tiene al trazo del gasoducto del Perú LNG con 408 km de longitud, que inicia en la planta de compresora Chiquintirca en Ayacucho y culmina en la planta de licuefacción de Melchorita a la altura del Km. 169 de la carretera Panamericana Sur.

Actividades económicas

Según el INEI, para el año 2007, la cifra de población económicamente activa ocupada de la región fue de 677 026 personas (Censo Nacional de 2007: XI de Población y VI de Vivienda). Esta cifra subió a 777 211 personas según el INEI para el año 2017 (Censo Nacional de 2017: XII de Población y VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).

Para el año 2016, según información del INEI, las principales actividades económicas en las que se ocupaba la población cusqueña eran la agricultura y la pesca, con un 41.8% de la población económicamente activa (PEA); y el comercio, con el 15.8% de población dedicada a esa labor (Cuadro 2.17).

La región Cusco, para el año 2016, según información del INEI, aportó el 4.35% al valor agregado bruto (VAB) nacional. La principal actividad económica es la extracción de petróleo,

gas, minerales y servicios conexos, que representa el 49.23% del valor agregado bruto (VAB) de la región. Le siguen el mantenimiento de vehículos automotores y motocicletas con el 7.01%; la construcción, con el 6.89%; y la agricultura, ganadería, caza y silvicultura, con el 4.7% (Cuadro 2.18).

Sector agropecuario

La actividad agropecuaria de la región Cusco es una de las que mayor empleo genera en el departamento. Constituye la cuarta actividad más importante y contribuye al VAB departamental (4.7% en el año 2016). La producción en ese sector se caracteriza por usar una tecnología tradicional y, en los casos en que incorpora avances tecnológicos, los rendimientos promedio de algunos cultivos (papa y maíz) no logran alcanzar a los de otras zonas del país. Esta situación se refleja en la poca rentabilidad de la actividad, por lo que grandes sectores de la economía campesina se caracterizan por su producción para el autoconsumo. Los principales cultivos del departamento de acuerdo al valor bruto de la producción (VBP) agrícola de 2016 fueron papa, café, maíz amiláceo y yuca. La producción de café y yuca se realiza en la zona de selva del departamento, mientras que la producción de los otros cultivos en la zona de sierra.

Sector minero e hidrocarburos

Minería. Es la actividad más importante y contribuyó con el 49.23% del VAB departamental de Cusco. Los productos mineros que se extraen son cobre, oro y plata. La empresa Xstrata Tintaya, que forma parte de la Corporación Xstrata PCL desde mayo de 2006, es productora de concentrados y cátodos de cobre. Se ubica en la provincia de Espinar a 4100 m s. n. m.

Hidrocarburo. El gas de Camisea es uno de los recursos energéticos más importantes descubiertos en el país. Se ubica en la zona de selva de la provincia de La Convención, de la región Cusco.

Sector manufactura

Este sector contribuye con el 4.96% al VAB de Cusco. En esta actividad destaca la presencia de la empresa Unión de Cervecerías Peruanas Backus y Johnston S. A. A., que embotella principalmente la cerveza Cusqueña, y la empresa Industrias Cachimayo S. A. C., subsidiaria de Yura S. A., que ha reforzado su posición como destacado fabricante de nitrato de amonio en el Perú y ha logrado colocar el íntegro de su producción en los grandes centros mineros de su zona de influencia. A las anteriores se suman algunas empresas embotelladoras de bebidas gasificadas, pequeñas empresas agroindustriales de transformación de productos agrícolas (quinua, kiwicha, trigo, cebada, cacao, achiote, café, etc.) y artesanías en general.

Cuadro 2.11
Tipo de servicio higiénico en las viviendas de la región Cusco

Servicio Higiénico que tiene la vivienda	Casos	%
Red pública de desagüe dentro de la vivienda	151 551	46.84
Red pública de desagüe fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	42 139	13.02
Pozo séptico, tanque séptico o biodigestor	33 872	10.47
Letrina (con tratamiento)	18 344	5.67
Pozo ciego o negro	42 979	13.28
Río, acequia, canal o similar	2 083	0.64
Campo abierto o al aire libre	29 998	9.27
Otro	2 606	0.81
Total	323 572	100

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.

Cuadro 2.12
Tipo de energía que usan para cocinar los hogares en la región Cusco

Categorías	USA	%
Electricidad	5829	1.31
Gas (balón GLP)	219860	49.39
Gas natural	0	0
Carbón	4478	1.01
Leña	154302	34.66
Bosta, estiércol	53189	11.95
Otro (residuos agrícolas, etc.)	1475	0.33
No cocinan	6035	1.36
Total	445168	100

Fuente: INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y Comunidades Indígenas).

Cuadro 2.13
Estado de la red vial de la región Cusco

Red vial	Afirmada (km)	Asfaltada (km)	Sin afirmar (km)	Solución básica (km)	Trocha (km)	Total parcial (km)	Proyectada (km)	Total (km)
Nacional	750.348	941.309	99.463	193.381	-	1984.501	183.837	2168.338
Departamental	1979.69	95.032	187.302	-	524.788	2786.81	390.49	3177.3
Vecinal	1817.17	121.08	1684.95	-	3484.75	7107.95	149.13	7257.08

Fuente: Provias Nacional. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.

Cuadro 2.14
Aeródromos, aeropuertos y helipuertos de la región Cusco

Tipo	Nombre	Administrador	Distrito	Provincia
Aeródromo	Pacia- Nueva Luz	*	Echarate	La Convención
	Nuevo Mundo	Privado	Echarate	La Convención
	Kiringueti	Privado	Echarate	La Convención
	Taini	Privado	Echarate	La Convención
	Tangoshiari	Privado	Echarate	La Convención
	Malvinas	Privado	Echarate	La Convención
	Timpia	Privado	Echarate	La Convención
	Teresita	Estado-Corpac	Pichari	Pichari
	Kiteni	Estado-otros	Echarate	La Convención
	Patria	Estado-Corpac	Kosñipata	Paucartambo
	Yauri	Estado-otros	Espinar	Espinar
Quincemil	Estado-Corpac	Camanti	Quispicanchi	
Helipuerto de superficie	El Rocol	Estado-Otros	Machupicchu	Urubamba
Aeropuerto	Alejandro Velasco Astete	Estado-Corpac	Wanchaq	Cusco

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015.

Cuadro 2.15
Servicio ferroviario de la región Cusco

Empresa	Embarque	Destinos	Tiempo	Km
PeruRail	Cusco	Puno	10 h y 30 min.	386
	Cusco	Machupicchu	5 h	91.0
	Cusco	Ollantaytambo	3 h y 30min	61.2
Incarail	Cusco	Machupicchu	5 h	91

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015.

Cuadro 2.16
Centrales eléctricas en la región Cusco

Empresa	Central	Combustible	Provincia	Distrito	Potencia instalada (MW)	Potencia efectiva (MW)	Producción (MW.h)
Anabi	C. T. Anabi	Térmico	Chumbivilcas	Quiñota	3.36	2.03	15.47
S. A. C.	C. T. Anama	Térmico	Chumbivilcas	Quiñota	3.36	1.95	93.08
Central Hidroeléctrica Langui S. A.	C. H. Langui	Hidráulica	Canas	Langui	6.42	3.15	20 292.21
Compañía Minera Antapaccay S. A.	C. T. Tintaya	Térmico	Espinar	La Convención	17.96	16	573.75
Electro Sur Este S. A. A.	C. H. Chuyapi	Hidráulica	La Convención	Quillabamba	*	*	4 944.63
	C. H. Hercca	Hidráulica	Canchis	Sicuani	1.2	1.02	7 289.93
Electrocentro S. A.	C. H. San Francisco	Hidráulica	La Convención	Echarate	1.54	1.19	8 976.16
Emp. de Generación Eléctrica Machu Picchu S. A.	C. H. Machupicchu	Hidráulica	Urubamba	Machupicchu	192.45	188.66	1 232 938.4
Luz del Sur S. A.	C. H. Santa Teresa	Hidráulica	Urubamba	Machupicchu	100	89.85	648 544.07
Pluspetrol Perú Corporation S. A.	C. T. Malvinas	Térmica-GN	La Convención	Echarate	32	28.8	98 363.66
Unión de Cerveceras Peruanas Backus y Johnston	C. T. Cusco	Térmica-D2	Cusco	Cusco	0.9	0.86	11
Total Cusco					359.19	333.51	2 022 042

Fuente: Ministerio de Energía y minas, 2017.

Cuadro 2.17
Porcentaje de la población económicamente activa ocupada, según
ramas de actividad, para el año 2016

Población económicamente activa	2016
Agricultura y pesca	41.8
Minería	0.7
Manufactura	7
Construcción	5.1
Comercio	15.8
Transporte y comunicaciones	5.4
Administración pública, defensa y planes de seguridad social	6.1
Hoteles y restaurantes	6.6
Inmobiliarias y alquileres	2.3
Enseñanza	4.6
Otros servicios	4.5

Fuente: INEI, *Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*.

Cuadro 2.18
Valor agregado bruto 2011 de la región Cusco, valores a precios constantes 1994 (miles de nuevos soles)

Años	2007	%	2017	%
Producto bruto interno a precios constantes (miles de nuevos soles)	10 913 725	100	21 829 280	100
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	908 163	8.32	1 025 706	4.7
Pesca y acuicultura	770	0.01	770	0
Extracción de petróleo, gas, minerales y servicios conexos	3 668 080	33.61	10 746 372	49.23
Manufactura	1 284 624	11.77	1 082 606	4.96
Gas, electricidad y agua	107 295	0.98	253 989	1.16
Construcción	667 705	6.12	1 503 702	6.89
Mantenimiento de vehículos automotores y motocicletas	923 531	8.46	1 529 722	7.01
Transporte, almacenamiento, correo y mensajería	464 901	4.26	889 216	4.07
Alojamiento y restaurantes	497 564	4.56	888 715	4.07
Telecomunicaciones y otros servicios de información	164 004	1.5	484 937	2.22
Administración pública y defensa	502 169	4.6	799 568	3.66
Otros servicios	1 724 919	15.81	2 623 977	12.02

Cifras en miles de nuevos soles a precios constantes 2007 (miles de soles). Fuente: INEI, *Censo Nacional de 2017: XII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*.

Sector turismo

Cusco es el principal destino turístico del Perú por los diferentes paisajes naturales que posee y la rica herencia cultural dejada por los antiguos peruanos. Los principales centros arqueológicos visitados son la ciudad de Cusco y Machupicchu. También es muy visitado el Valle Sagrado de los Incas donde se puede visitar Písac, Ollantaytambo, Yucay o Chinchero, que son parte de un circuito.

Sector transportes y comunicaciones

En este sector no se puede dejar de mencionar las inversiones realizadas para el mejoramiento de varios tramos carreteros en la región. Así se tiene lo siguiente:

- Camino departamental Paucartambo-Pillcopata-Atalaya. Ubicado en la provincia de Paucartambo, este tramo de 114 km de carretera departamental interconecta las regiones de Cusco y Madre de Dios.
- Camino vecinal Catarata-Nueva Alianza, en el distrito de Pichari, provincia de La Convención.
- Camino de herradura vecinal San Francisco-Maranpata, en el distrito de Mollepata, provincia de Anta.
- Camino vecinal Cactca-Ashanuko-Serke-Ruta 07-Chichina, en el distrito de Ccatca, provincia de Quispicanchis.

2.6 GEOGRAFÍA

La región de Cusco se ubica en la sierra sur del Perú. Su territorio está formado por 3 cordilleras. La Cordillera de Vilcabamba, ubicada al noreste del departamento, colinda por su flanco occidental con la cuenca del río Apurímac, y por el flanco oriental limita con la cuenca del río Urubamba. En esta cordillera se ubican los nevados de Salkantay, Pumasillo y el Sajsarajoc. La Cordillera del Vilcanota está localizada hacia el este, en donde se encuentra el nevado de Ausangate, el más alto del Cusco y el cuarto nevado más alto del Perú. Por último, se tiene a la Cordillera del Paucartambo, que se localiza en los límites con la región Madre de Dios y en ella se encuentra el nudo de Vilcanota, el más importante de esta cordillera; en esta cordillera se encuentran las lagunas de Languilayo, Sibinacocha y Salunta.

El Cusco presenta un relieve abrupto con valles fértiles que cortan las cordilleras y descienden hacia la ceja de selva, donde la temperatura se eleva y el terreno es cubierto por una densa y variada vegetación. En las montañas presentan zonas nevadas, abras y diferentes accidentes geográficos que resultan ser atractivos turísticos de la región (Cuadro 2.19).

2.7 CLIMA

El clima del departamento de Cusco está condicionado por los factores de altitud y relieve. Su orografía, formada por montañas, nudos altiplanos, mesetas y profundos valles, configura una

diversidad de climas, los cuales se pueden resumir de la siguiente forma:

- Clima del tipo semiseco, frío en otoño e invierno con humedad relativa promedio variable entre 45 % y 64%. Corresponde a este tipo de clima a las localidades de las provincias de Anta, Paruro, Urcos, Acomayo, Canas y Sicuani.
- Clima del tipo semiseco templado, con humedad relativa comprendida entre 65 y 84%, seco en otoño e invierno. Corresponde este tipo climático a las localidades de las provincias de Anta y La Convención, ubicadas en la vertiente occidental del río Apurímac.
- Clima del tipo lluvioso, semifrío, con humedad relativa promedio variable entre 65 y 84%, seco en otoño e invierno. Corresponde este tipo climático a zonas de las provincias de Espinar, Chumbivilcas, Canas, Canchis, Acomayo, Calca y Urubamba.
- Clima del tipo muy lluvioso, templado con humedad relativa promedio variable entre los 65 y 85%, y con abundantes precipitaciones en todas las estaciones del año. Corresponde este tipo climático a zonas de las provincias de La Convención, Urubamba y Paucartambo.
- Clima del tipo muy lluvioso, cálido y semicaldo con humedad relativa promedio entre 85 y 100%. Y con abundante lluvia durante todo el año, este tipo de clima es propio de las provincias de La Convención, Urubamba y Paucartambo.

Por otro lado, de forma más específica según la clasificación climática de Thornthwaite, en el Cusco, se tienen los siguientes tipos de clima (Cuadro 2.20 y Figura 2.9) (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010):

2.8 HIDROGRAFÍA

La región Cusco tiene 3 cuencas hidrográficas y 3 intercuenas (Figura 2.10). Las cuencas están constituidas por la red de drenaje superficial cuyas aguas desembocan en un canal principal. Las intercuenas son un área que recibe drenaje de otras unidades aguas arriba, exclusivamente del curso del río considerado principal, y permite el paso de este hacia la unidad de drenaje continuo hacia aguas abajo. En otras palabras, una intercuenca es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.

- **Cuenca del río Urubamba.** Fue llamada también Urupampa en tiempo del incanato. Nace en los nevados Chimnico, Cuncapata, Sallapata y Jatun Ñaño Punta, en los 5265 m s. n. m. En sus inicios, perteneció a la cuenca del río Salcca, que al unirse con el río Vilcanota en el distrito de Combapata toma el nombre de río Vilcanota. Recorre gran parte de la región Cusco con el nombre de río Vilcanota, y cambia de nombre a río Urubamba al pasar por la ciudad de Urubamba (en el Valle Sagrado de los Incas). Sus afluentes principales

- son los ríos Yanatille, Yavero (Paucartambo), Mishagua e Inuya, que fluyen por la margen derecha.
- **Cuenca del río Inambari.** Abarca la región de cabeceras más sureña de la cuenca del río Madre de Dios con un área de drenaje que casi en su 90% está representada por elevaciones mayores de 500 m s. n. m. Solamente un 10% de la cuenca, los últimos 100 km de canal del río Inambari, corresponden a la Llanura Amazónica. Políticamente, la cuenca Inambari incluye 3 regiones del Perú: Cusco, Puno y Madre de Dios. Entre los 3 mayores tributarios andinos de la cuenca Madre de Dios (junto a Alto Madre de Dios y Tambopata), el río Inambari es la cuenca que drena la mayor parte de las zonas alto andinas (arriba de los 3500 m s. n. m.) y, en términos de descarga hídrica, es el segundo mayor afluente de origen andino en el sureste peruano con aproximadamente 797 m³/s (luego del río Tambopata). Su área de drenaje comprende aproximadamente 20 000 km² y alberga las zonas donde ocurren los máximos valores de precipitación en el sureste del Perú.
- La cuenca del Inambari tiene 8 principales tributarios altoandinos: los ríos Araza, San Gabán, Esquilaya, Coaza, Limbani, Patambuco, Sandía y Huari Huari. Estos se originan a partir de los deshielos en la zona de glaciares de las cordilleras Vilcanota y Carabaya a más de 5000 m s. n. m. De estos 8 tributarios, la cuenca del río Araza es la única que pertenece a la región de Cusco; el resto se ubica en Puno y drenan en dirección norte atravesando un terreno muy empinado; desemboca a lo largo de la margen izquierda del principal canal colector Alto Inambari, aguas arriba de su confluencia con el río Araza. Debajo de esta confluencia, el río recibe el nombre de Inambari; al dejar la región de montañas aproximadamente a 300 m s. n. m., drena sobre un terreno amplio y plano (región Madre de Dios) para descargar finalmente en el río Madre de Dios a 180 m s. n. m. La confluencia entre el río Inambari y Madre de Dios está a unos 70 km aguas arriba de Puerto Maldonado en los bosques lluviosos de la Llanura Amazónica.
- **Intercuenca Alto Madre de Dios.** Se encuentra ubicada en la parte central-oriental del Perú. Forma parte de las grandes cuencas del río Madeira que se une al Amazonas por la margen derecha abajo de la ciudad de Manaos. Tiene una extensión territorial de 111 933 km² en territorio peruano, incluyendo la intercuenca Acre que pertenece a la cuenca del río Purús, y la convierte en la tercera cuenca de mayor extensión del país. La cuenca del río Madre de Dios comprende, políticamente, los Gobiernos regionales de Madre de Dios, Puno y Cusco.
 - **Intercuenca Bajo Apurímac.** Las cuencas más altas de la cuenca "mayor" del río Amazonas son las del río Apurímac (origen del río Amazonas) y Pampas. Comprende territorios de los Gobiernos regionales de Apurímac, Ayacucho, Cusco, Arequipa, Huancavelica y Puno.
 - **Intercuenca Alto Apurímac.** Abarca 9592.0 km² y sus nacientes se ubican en los nevados Caccansa, Cutiti, Tecla, Anchaca y Mamacanca. Se ubica en el distrito de Caylloma hasta su punto de control en el puente Huarancalla en el distrito de Colcha de la provincia de Paruro, cuya longitud alcanza a 290 831 km. Representa el 97.0% de la cuenca del río Apurímac con 9592.0 km² de superficie.
 - **Cuenca Camaná.** Después de la cuenca del río Chira, es la cuenca más extensa de la vertiente del Pacífico peruano (17 049.5 km²). El río Camaná lleva, en la parte alta, el nombre de río Colca. En su recorrido por la parte media de la cuenca toma el nombre de Majes y, en la parte inferior, el nombre de Camaná.
 - **Cuenca Cutivireni.** Se ubica en el distrito de Echarate de la provincia de La Convención, Cusco. Abarca una superficie de 3049.79 km².
- Dentro de la región Cusco es común encontrar lagos y lagunas de diferente extensión, con distintos orígenes. Pueden ser tectónicos (gravens), volcánicos o glaciares, que son el inicio de muchos afluentes principales del sistema de drenaje de la región (Cuadro 2.21). Sus aguas, en muchos casos, son represadas y su distribución es regulada; principalmente es utilizada para regar cultivos. También se utiliza en la generación de energía eléctrica, así como para realizar labores piscícolas.
- ## 2.9 COBERTURA VEGETAL Y USOS DE SUELO
- Se ha tomado como base el Mapa de Cobertura Vegetal del Perú (Perú. Ministerio del Ambiente, 2015) a una escala 1:2 000 000. Considerando la necesidad de contar con la información referente a la susceptibilidad de un área determinada a la ocurrencia de movimiento en masa en función del factor cobertura vegetal existente, se preparó dicho mapa para la región Cusco. Ahí se diferenciaron 19 zonas con tipo de vegetación dominante y se consideraron las características de densidad o ausencia de vegetación (Mapa 1).
- En la región Cusco, con una extensión total de 72 117 km², la cobertura vegetal que cubre mayor extensión pertenece al tipo bosque húmedo de montañas (37.51%). Luego le siguen las zonas cubiertas con pajonales altoandino (31.47%), matorrales arbustivos (8.34%), bosques húmedos de colinas altas (6.82%), zonas periglaciares (4.03%), bosque húmedo de colina baja y lomada (3.23%), zonas ocupadas con agricultura costera y andina (2.96%) Las formaciones restantes superan al 1% o se encuentran por debajo de este valor.
- Las condiciones climáticas que se presentan en la región Cusco y la topografía han dado lugar a una vegetación variada, que se distribuye en los siguientes tipos de cobertura vegetal natural y antrópica.

Cuadro 2.19
Accidentes geográficos de la región Cusco

Accidentes geográficos				
Mesetas	Sibinacocha	Nevados	Ausangate (6372 m)	
	Ocongate		Salkantay (6271 m)	
	Yauri		Collpa Ananta (6110 m)	
Pongos	Mainique		Chumpe (6106 m)	
	Timpia		Alcamarinayoc (6102 m)	
Pampas	Canas		Pico 3 (6093 m)	
	Canchas		Ambocca (6049 m)	
	Espinar		Picos	Saisaravoj (6070 m)
	Chumbivilcas			Wilayoj (6007 m)
	Paruro	Qayangati (6001 m)		
	Anta	Chajnapuerco (5777 m)		
Abras	Chimboya	Valles	Quishuar (5 774 m)	
	Hualla Hualla		La Convención	
	Malaga		Lares	
	Apacheta		Marcapata	
	La Raya		Cosñipata	
	Yuraccasa		Urubamba	
	Cerapata		Apurímac	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2.20
Clasificación climática del Cusco, según el método de Thornthwaite

Codificación	Descripción
B(r)B'1 H4	Lluvioso, semicálido y muy húmedo, con precipitación abundante en las estaciones
C(o,i)B'2 H3	Semiseco, templado y húmedo, con otoño e invierno seco
C(o,i)C'H2	Semiseco, frío y seco en otoño e invierno
B(o,i)D'H3	Lluvioso, semifrío y húmedo, con otoño e invierno seco
B(r)C'H3	Lluvioso, frío y húmedo, con precipitación abundante en las estaciones
N	Tipo nieve
A(r)B'2 H3	Muy lluvioso, templado y húmedo, con precipitaciones abundante en las estaciones
A(r)B'1 H4	Muy lluvioso, semicálido y muy húmedo, con precipitación abundante en las estaciones
B(r)A'H3	Lluvioso cálido y húmedo, con precipitación abundante en las estaciones
B(r)A'H4	Lluvioso, cálido y muy húmedo, con precipitaciones abundantes en las estaciones
A(r)A'H4	Muy lluvioso, cálido y muy húmedo, con precipitación abundante en las estaciones.

Fuente: SENAMHI, 2010.

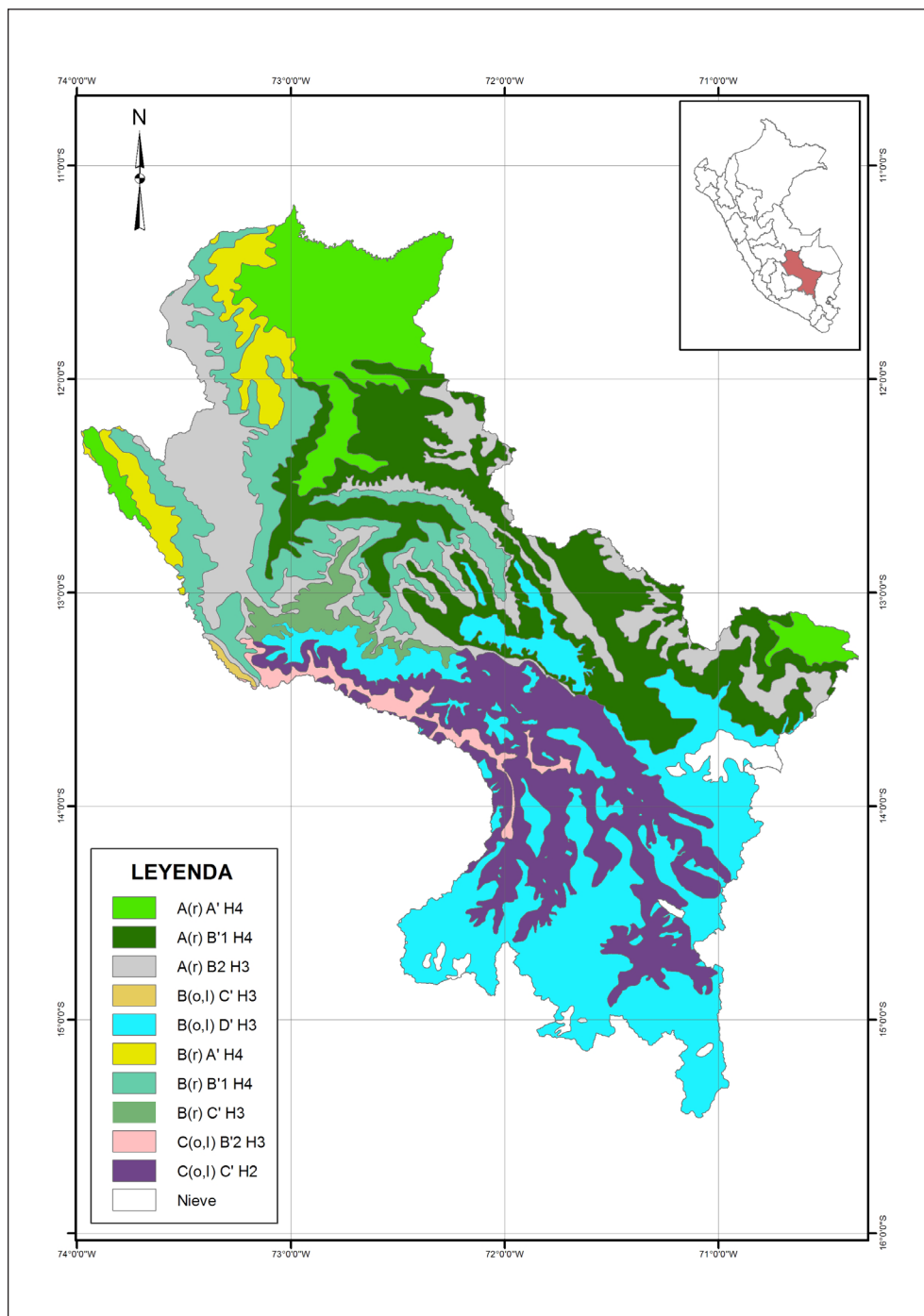


Figura 2.9 Mapa de clasificación climática del Cusco (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010).

2.9.1 Bosques de zonas húmedas-zonas pluviales

En esta macroprovincia de humedad, 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 3800-4000 m s. n. m. en la zona sur y central, y hasta 3000-3500 m s. n. m. en la zona norte del país. De acuerdo al Diagrama Bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, 1976), se presentan valores de precipitaciones pluviales anuales mayores de 500 mm y temperaturas medias anuales mayores de 6 °C. Además, se consideran los extensos bosques de paisajes colinosos y montañas de la vertiente oriental (selva alta). Se diferenciaron los siguientes tipos de cobertura vegetal:

Bosque húmedo de terraza baja y media (BHTbm). Este tipo de cobertura vegetal comprende el bosque húmedo ubicado en la llanura aluvial de la selva amazónica, tanto en las terrazas bajas como en las terrazas medias. En la región Cusco, este tipo de cobertura representa el 1.39% de su superficie.

La cobertura boscosa de la terraza baja se encuentra ubicada por debajo de los 5 m de altura respecto al nivel de las aguas, con pendiente de 0 a 2% y está conformada por sedimentos aluviónicos recientes, provenientes de los materiales arrastrados por los ríos y quebradas, que fueron depositados en el Cuaternario. Debido a la inundación de la terraza baja durante el periodo de creciente de los ríos, se origina sedimentación progresiva por la pérdida de velocidad de flujo y se forma una serie de barras de aspecto semilunar ubicadas en la parte convexa de los ríos.

La inestabilidad de los cursos de los ríos va originando porciones de tierras bajas donde se instala una flora pionera que coloniza los suelos recientemente formados en forma secuencial y paralela. De esta manera se origina una colonización primaria en las playas o islas expuestas a base de comunidades de hierbas, entre las que se tiene a la chirapa sachá y algunas ciperáceas y poáceas. Luego se instalan especies de mayor porte como caña brava, pájaro bobo, puca varilla, cetico, punga colorada, etc. Estas 2 últimas especies llegan a ser dominantes en muchos sectores y forman bosques paralelos a los ríos.

La mayoría de bosques de terrazas bajas son inundados por aguas de los ríos y quebradas de origen andino que transportan importantes cargas de sedimentos denominadas "aguas blancas", principalmente en las crecientes. Otra pequeña proporción de bosques de terrazas bajas son inundadas por aguas no mineralizadas originadas en la

misma selva baja, pobres en sedimentos y ricas en ácidos húmicos denominadas aguas negras.

Los bosques de terraza media continúan después de las terrazas bajas. Se extienden hasta los 10 m de altura respecto al nivel de las aguas y son producto del depósito de sedimentos aluviales, con pendientes de 0 a 8%, con forma plana a ondulada. Aquí se tiene un mayor desarrollo de plantas, entre las que destacan la hura, virola, inga, ficus, etc.

Bosque húmedo de terraza baja y media deforestada (BHTbmD). Los bosques de esta zona presentan un gran potencial como recursos forestales maderables y no maderables, favorecidos por su cercanía con los cursos de ríos y quebradas que ha hecho que se vean expuestos a la deforestación del bosque original, por la extracción de madera o porque fueron convertidos en áreas agropecuarias. Esta zona representa aproximadamente el 0.17% de la superficie del Cusco.

Bosque húmedo de terraza alta (BHTa). Se localiza en una plataforma conformada por material aluvial antiguo, con pendiente de 0-15% y sobre los 10 m de altura respecto al nivel de las aguas. También existen terrazas de origen tectónico, muchas de ellas alejadas de los ríos. Pueden ser planas, onduladas o disectadas. Pueden ser afectadas por procesos erosivos de precipitación pluvial, lo cual produce disecciones en diferentes grados de intensidad y forma quebradas superficiales y profundas. Abarca el 1.38 % de la superficie de la región Cusco.

Los géneros arbóreos representativos de este tipo de bosque son la eschweilera, dipterix, nectandra, ocotea, brosimum, apeiba, hymenaea, cedrela, perebea, hevea, yacushapana, guatteria, manilkara, trichilia, entre otras.

Bosque húmedo de terraza alta deforestado (BHTaD). Presentan gran potencial de recursos forestales maderables y no maderables. Por eso, han sido objeto de deforestación por la extracción de especies vegetales que generan madera, también porque fueron convertidas en áreas agropecuarias. Abarca el 0.06 % de la superficie de la región.

Bosque húmedo de colina baja y lomada (BHCbl). Se refiere a la vegetación desarrollada sobre lomadas y colinas. En el primer caso, los bosques se ubican en terrenos de origen fluvial antiguo, de superficie ondulada con pendientes de 8-15% y con alturas menores de 20 m con respecto a su base. Los bosques de colinas bajas son más extensos. Tienen un origen aluvial antiguo, se encuentran afectados por procesos de disección o erosión en diferente grado, con pendientes de 15-75% y elevaciones de menos de 80 m con respecto a su base. Este tipo de cobertura representa el 3.11% de la superficie de la región.



Figura 2.10 Cuencas hidrográficas de la región Cusco. (Fuente: Elaboración propia con información de la Autoridad Nacional del Agua).

Entre las especies más representativas se tienen a los géneros Tapiria, Oxandra, Unonopsis, Xilopia, Couma, Nealchornea, Croton, Cedrelinga, Protium, Hirtella, Esclerobium, Ormosia, Inga, Endicheria, Licaria, Nectandra, Ocotea, Eschweilera, etc. También se tienen palmeras y comunidades de cañas con diferentes grados de cobertura.

Bosque húmedo de colina alta (BHCa). Esta vegetación se encuentra desarrollada sobre colinas de menos de 300 m de altura con respecto a su nivel de base, con pendientes generalmente de más de 50%. Esta cobertura representa el 6.81% de la superficie de la región.

Este bosque tiene como característica principal su alta densidad y diversidad florística, con árboles de hasta 30 m de alto. Entre las especies más representativas se tiene tornillo, cedro, ubus, tortuga caspi, sapote, catahua, siringa, caimito, etc. También están las palmeras y comunidades de cañas en diferente grado de cobertura. La gran pendiente de sus laderas y la alta pluviosidad las hace muy vulnerables a los procesos de erosión de suelo, lo que también limita su aprovechamiento como recurso forestal para la extracción de madera.

Bosque húmedo de superficie plana inclinada (BHSpi). Se localiza en planicies antiguas inclinadas que forman parte del macizo montañoso andino comprendido en el ámbito de las cuencas de los ríos Urubamba e Inambari, con pendientes de 25 a 50%. Abarca el 0.21% de la superficie de la región. Este bosque presenta una densa cobertura de árboles, debido a su topografía y ubicación geográfica poco accesible. Su composición florística es similar a la del bosque húmedo de colina alta.

Bosque húmedo de montaña (BHM). Se extiende a través de todo el flanco oriental andino desde el pie de montaña hasta los 3800 m s. n. m. en el centro y sur del país (límite del pajonal alto-andino). Las montañas son elevaciones de más de 300 m, con pendientes de 25% a más de 50%. Ocupa el 29.51% de superficie total de la región.

En determinadas zonas de montaña existen condiciones climáticas especiales y de exposición que se conoce como bosque nublado, caracterizado por la presencia de una cobertura de nubes casi permanente, que origina lloviznas.

El amplio gradiente térmico y de pluviosidad existente en los diversos pisos altitudinales permite el desarrollo de una amplia diversidad de especies con el predominio de árboles sobre otras formas biológicas, como arbustos, hierbas, epífitas, lianas, cañas, palmeras, etc. Asimismo, la fisonomía de las comunidades arbóreas se ve influenciada por los pisos ecológicos existentes. Se observa que las alturas máximas de los árboles (30-35 m) disminuyen gradualmente y con un sotobosque moderadamente denso en el nivel altitudinal inferior, hasta 8-10 m de altura

en el nivel altitudinal superior (límite con los pastos naturales andinos), con árboles delgados y retorcidos, sotobosque denso con mucho material orgánico y un marcado epifitismo sobre el tronco y copa de los árboles (musgos, líquenes, herbáceas de las familias orchidáceas y bromeliáceas).

Los géneros arbóreos que dominan el piso inferior (< 1500 m s. n. m.) son el Unonopsis, Couma, Protium, Inga, Eschweilera, Miconia, Batocarpus, Mouriri, Virola, Chimmarris, Pouteria, Tapiria, Rollina, Xilopia, etc.

La vegetación del piso medio (1500 hasta 2800 m s. n. m.), denominada bosque de neblina, tiene a las familias Lauraceae, Rubiaceae, Podocarpaceae, Juglandaceae, etc. También se tienen, entre los 1800 y 2000 m s. n. m., los géneros Ficus, Miconia, Tetrochidium, Juglans 'nogal', Weinmania 'culantrillo'. Es común la presencia de algunas palmeras, helechos y cañas.

El bosque de piso superior (> 2500-2800 m s. n. m.) es de porte bajo y abundante epifitismo. Entre las familias principales, se tiene Myricaceae (Myrica), Myrsinaceae (Myrsine), Melastomataceae (Miconia), Clethraceae (Clethra), Rosaceae (Polylepis, Hesperomeles), Bignoniaceae (Delostoma), Grossulariaceae (Escallonia), Araliaceae (Aralia, Sheflera, Oreopanax), etc.

Bosque húmedo de montaña deforestado (BHMD). Este bosque presenta buenas condiciones como recurso forestal maderable, lo que ha llevado a que sea objeto de actividades de deforestación por la extracción de madera. Esta unidad representa el 8.13 % de la superficie total de la región.

Bosque relicto mesoandino (BRM). Se encuentra distribuido de forma fraccionada en algunas zonas puntuales de la región meso-andina, entre 3000 y 3800 m s. n. m. Se ubica específicamente en la porción superior de las vertientes montañosas empinadas, tanto de la vertiente occidental andina (zona norte), como de los valles interandinos. Esto coincide muchas veces con las nacientes de algunos ríos y quebradas. En el Cusco ocupa una superficie reducida que representa tan solo el 0.001% del total regional.

Este bosque, considerado como relicto, presenta una fisonomía y composición florística muy similar a la del bosque húmedo de montaña en sus niveles altitudinales medio y alto. Originalmente, se extendía sobre mayores superficies, pero en la actualidad se restringe a manera de parches boscosos dispersos en las laderas montañosas inaccesibles y en aquellas donde hay ampliación de la frontera agrícola.

Entre las familias arbóreas más comunes de pequeños bosques aislados, se tienen a la Podocarpaceae (Podocarpus sp.), Lauraceae (Ocotea, Persea y Nectandra), Rubiaceae (Cinchona), Meliaceae (Cedrela), Betulaceae (Alnus),

Juglandaceae (Juglans), Cunoniaceae (Weinmania), Moraceae (Ficus), Myrtaceae (Eugenia), etc. Sobre el tronco y copa de los árboles son comunes las epifitas de las familias Bromeliaceae (Tillandsia, Bromelia) y Orchidaceae.

Bosque relicto altoandino (BRAL). Se encuentran distribuidos de forma fraccionada en zonas puntuales de la región alto-andina, poco accesibles, sobre piedemonte, laderas empinadas y cimas montañosas, así como en monte ribereño de algunos ríos y quebradas, entre los 3600 y 4900 m s. n. m. Esta cobertura representa el 0.01% de la superficie total regional.

Está representado por especies como el queñual, cotoquisuar, chachacomo, qolle y tasta. Estos alcanzan alturas de hasta 10 m en sitios con humedad permanente, mientras que en zonas secas tienen alturas de hasta 3 m, con porte arbustivo.

En el estrato inferior del bosque se desarrolla un tapiz herbáceo típico de la vegetación de puna. Ahí son comunes algunas poáceas como *Stipa* y *Festuca*. Este tipo de bosque es aprovechado por la población rural principalmente como leña, carbón, cercos y también en trabajos de artesanía.

2.9.2 Bosques de zonas áridas–zonas subhúmedas

De acuerdo al Diagrama Bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, 1976), estas zonas contemplan valores de evapotranspiración potencial entre 1.0% y 32.0%, precipitaciones pluviales anuales hasta de 1000 mm y temperaturas medias anuales mayores a 16°C. Involucra a los bosques secos ubicados muy cerca al nivel del mar en algunos sectores hasta el límite de los matorrales y tierras dedicadas a la agricultura (aproximadamente 2400 m s. n. m.).

El déficit hídrico que caracteriza a estas zonas propicia diversos tipos de cobertura boscosa cuya densidad y dimensiones se incrementan en forma gradual al ascender de los pisos altitudinales inferiores hacia a los pisos altitudinales superiores, es decir, un comportamiento contrario al de los bosques de zonas húmedas-pluviales. Se diferenció el siguiente tipo de cobertura vegetal:

Bosque seco de valle interandino (BSvi). Se extiende en la porción inferior del valle interandino del río Apurímac, dominado por laderas escarpadas de difícil acceso, con afloramientos rocosos, desde aproximadamente 500 a 2400 m s. n. m. Esta cobertura representa el 0.21% de la superficie total regional.

Está dominado por árboles dispersos de porte bajo (< 8 m de alto) de follaje caducifolio en el largo periodo seco del año. Es característica la presencia de abundantes epifitas como la salvajina, las que cuelgan como largas barbas sobre sus ramas. La especie arbórea dominante es el pasallo; le siguen con menor presencia el sapote y el palo verde. También se incluyen algunas

cactáceas como *Armatocereus balsasens*, *Espostwoa mirabilis*. Asimismo, en el estrato inferior, existen algunas especies arbustivas como *Croton ruizianus* y *Jatropha* sp., así como un tapiz herbáceo de carácter estacional.

2.9.3 Matorrales de zonas áridas a zonas húmedas

Se localizan en la zona occidental andina y los valles interandinos, desde los 1000 m s. n. m. hasta los 3800 m s. n. m. que es el límite de los herbazales altoandinos del sur y centro del país.

De acuerdo al Diagrama Bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, 1976), estas zonas contemplan valores de evapotranspiración potencial entre 1.0 % y 32.0 %, precipitaciones pluviales anuales hasta de 1000 mm y temperaturas medias anuales mayores a 6 °C. El amplio gradiente térmico existente a través de los diversos pisos altitudinales define varios tipos de cobertura arbustiva. En este punto, se observa un carácter caducifolio en las porciones inferiores y se torna de carácter perennifolio en las porciones superiores. Se diferenció el siguiente tipo de cobertura vegetal:

Matorral arbustivo (Ma). Se le localiza entre los 1500 y 3800 m s. n. m., en el centro y sur del Perú, hasta el límite de los pajonales naturales. Representa el 8.34% de la superficie total regional.

La cobertura está conformada por comunidades arbustivas distribuidas en diferentes niveles altitudinales; en el nivel inferior 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 periodo seco del año, mezcladas con suculentas y herbáceas de vida efímera. Entre las especies más comunes se tiene al huanarpo, mito, maguey, etc., entre las cactáceas se tiene al candelabro y gigantón.

En el nivel medio en la zona sur, comprendida entre los 3000 y 3800 m s. n. m., se tienen asociaciones arbustivas de carácter caducifolio y perennifolio. Entre las especies más frecuentes están la chamana, el lloque, chinchilcuma, yauli, maguey azul, huaranhuay, marco, retama, etc. Entre las cactáceas, aparecen la anjokishka y San Pedro. También se tienen algunas especies arbóreas de porte bajo y dispersas como el faique, molle y tara.

En el nivel superior, comprendido entre los 3600 y 3800 m s. n. m., en la zona sur del Perú, se presentan mejores condiciones de humedad y menores valores de temperatura. Esto propicia el desarrollo de una mayor diversidad arbustiva, por ejemplo, el chocho, tayanco, tola, manzanita, mutuy, entre otras.

Este tipo de cobertura constituye un recurso importante para la población rural, tanto como provisión de leña y para el uso como plantas medicinales.

2.9.4 Herbazales de zonas húmedas a zonas pluviales

Localizados en las porciones superiores de la Cordillera de los Andes, por encima de los bosques amazónicos y los matorrales andinos, por encima de los 3800-4000 m s. n. m. en el centro y sur del Perú, extiende sus límites hasta las áreas periglaciares y glaciares.

De acuerdo al Diagrama Bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, 1976), en esta zona se tienen valores de evapotranspiración potencial entre 1.0% y 0.06%, precipitaciones pluviales anuales mayores desde 62.5 mm hasta 4000 mm y temperaturas medias anuales entre 6 y 1.5 °C. Esto propicia el dominio de comunidades de hierbas con inclusión de ciertos arbustos de hojas duras. El relieve del terreno es muy variado, desde altiplanicies hasta cerros con pendiente muy empinada. Se diferenciaron los siguientes tipos de cobertura vegetal:

Pajonal altoandino (Pj). Se encuentra conformado por herbazales que se desarrollan sobre terrenos que van desde casi planos a ondulados en altiplanicies, en las depresiones y en el fondo de valles glaciares, hasta empinados o escarpados en las laderas montañosas y cumbres alto andinas. Esta cobertura representa el 31.47% de la superficie total regional.

El pajonal está conformado por asociaciones de hierbas con 2 estratos bien definidos en su perfil vertical. El estrato dominante es conformado por matas de gramíneas de hasta un metro de alto, cuyas hojas son de consistencia rígida, enrollada y punzante, tipo paja. Aquellas toman el nombre colectivo de ichu y se encuentran distribuidas bajo un patrón regular de distribución espacial, con grados de cobertura que varían entre 30 y 70%. El estrato inferior, conocido como vegetación de piso, está conformado por hierbas que crecen pegadas al suelo, con alturas de hasta 10 cm y que constituyen la verdadera fuente forrajera. Los géneros más abundantes son las festuca, stipa y calamagrostis.

El pajonal representa una fuente de forraje importante para la actividad ganadera (camélidos sudamericanos y ovinos); sin embargo, muchas áreas se encuentran en proceso de degradación debido al sobrepastoreo y la quema periódica. Asimismo, la ampliación de la frontera agrícola está restando áreas de pastizales.

Bofedal (Bo). Constituye un sistema hidromórfico distribuido a manera de parches en la zona altoandina, por encima de los 3800 m s. n. m. en la zona central y sur del país. Abarca el 0.91% de la superficie de la región.

Este humedal altoandino 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 afloramientos

de agua subterránea y de precipitación pluvial. Los suelos permanecen inundados permanentemente con ligeras oscilaciones durante el periodo seco y se han formado a partir de materiales parentales de origen fluvio-glacial, glacial, aluvial y coluvio-aluvial localizados en las depresiones de las superficies planas y ligeramente inclinadas. La poca disponibilidad de oxígeno debido al drenaje pobre favorece la acumulación de un grueso colchón orgánico proveniente de raíces muertas de las plantas.

La vegetación es densa y compacta, siempre verde, de porte almohadillado o en cojín. Entre las especies destacan la *Distichia muscoides* 'champa' (Juncaceae), *Plantago rigida* 'champa estrella' (Plantaginaceae), *Alchemilla pinnata* (Rosaceae), *Werneria caespitosa* (Asteraceae), *Hypochoeris* sp. (Asteraceae), *Hypochoeris* sp. (Asteraceae), entre otras.

El bofedal funciona como eficiente almacén natural de agua, cuyo ecosistema frágil viene siendo afectado por las actividades antrópicas de tipo sobrepastoreo, obras de drenaje para el desarrollo de actividades productivas, construcción de reservorios de agua, construcción de presas y la extracción para leña.

2.9.5 Coberturas antrópicas

Plantación forestal (PF). Se incluyen las áreas reforestadas, ubicadas en tierras con aptitud forestal en la región andina, desde aproximadamente 3000 hasta 3700 m s. n. m.

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

En la región Cusco, se distribuye este tipo de cobertura de forma dispersa y en pequeñas áreas, principalmente, en las provincias de Urubamba, Anta, Cusco, Quispicanchis, Paruro, Acomayo, Canchis y Chumbivilcas. Ocupa una superficie de 168.19 km², que representa el 0.23% del total regional.

Agricultura costera y andina (Agri). Son áreas donde se realiza actividad agropecuaria, actualmente activa y en descanso. Se ubica en todos los valles que atraviesan la Cordillera de los Andes, en fondos y laderas de valles interandinos hasta el límite del pajonal altoandino. En el Cusco, ocupa una superficie de 2135.84 km², que representa el 2.96% de su superficie total.

Comprende los cultivos de bajo riego y en seco, tanto anuales como permanentes. Asimismo, se incluye aquí la vegetación natural ribereña que se extiende como una angosta e interrumpida franja a lo largo de los cauces de los ríos y quebradas.

Ciudad (Ciu). También denominada zona urbana, es la porción de territorio donde actualmente se desarrollan las ciudades importantes de la región Cusco. Estas áreas se desarrollan sin control urbano. 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 para crear nuevas urbanizaciones habitables.

Minería (Mi). Dentro de esta unidad de cobertura se han considerado las zonas donde se desarrollan procesos de explotación minera a gran escala. Se incluyen zonas de relleno, tajos abiertos, presas de relaves, pilas de desmonte, infraestructura de procesamiento metalúrgico, etc. Se consideraron principalmente las labores de explotación de la mina Tintaya, ubicados en el distrito de Espinar, que tiene un área aproximada de 17.5 km².

2.9.6 Otras áreas

Periglacial (Ap). Este término fue introducido por Lozinski el año 1909 (en Sharma, 2010), en sustitución de circunglacial. Inicialmente se refería a ambientes y zonas circundantes a los grandes casquetes glaciares remanentes del Pleistoceno. Finalmente, al extenderse su uso, acabó generalizándose para denominar cualquier ambiente o proceso sobre la superficie terrestre, regulado por fenómenos de hielo-deshielo. Dentro de esta zona se pueden encontrar 3 ambientes característicos:

- Permafrost. De suelos permanentemente helados, es decir, cementado 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
- Coberteras nivales. Son áreas con nieve más o menos perenne, que no llegan a formar hielo policristalino capaz de fluir. Es un protector contra los descensos térmicos que pueden afectar al suelo. Para otros fenómenos, actúan como fuente de humedad que posibilita el flujo en los materiales o favorece las roturas al aportar agua.

En el Cusco, estas zonas se ubican al sur de la región y bordean las zonas de glaciares de la Cordillera Occidental y Oriental, en mayor

proporción en esta última. Ocupa una superficie de 2 904.14 km², que representa el 4% de la superficie total regional.

Glaciar (Gl). Conformado por masas de hielo originados mediante la diagénesis o transfiguración de nieve reciente. Este proceso, denominado también metamorfismo de baja temperatura, consiste en una compactación-recristalización, y expulsión del aire intergranular variando 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 glaciar. El tiempo necesario para alcanzar este último estado entre uno o varios años depende del tipo de glaciar. Es muy rápido en aquellos donde bunda 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, lo conduce hacia unos bordes o frentes y allí tiene lugar su desaparición o ablación total.

En la región Cusco, los glaciares ocupan una superficie de 456.42 km², lo que representa el 0.63 % del total regional. Se tiene este tipo de cobertura en los nevados Sacsarayoc, Padreyoc, Huamantay, Salcantay, Paljan Huayanay, Bonanta, Huajayhuilca, Marconi, Verónica, Chicón, Ccolque Cruz, Auzangate, Alcatrhue, Puca Punta, Alcamarinayoc, Antaymarca, entre otros.

Lago y laguna (Lag). Son cuerpos de agua que se encuentran estancados o son de movimiento lento. Pueden tener un origen natural o artificial. Se les puede dar diferentes usos, ya sea recreacionales, agropecuarios, piscícola, 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 Cusco se tienen grandes cuerpos de agua que conforman lagunas, entre ellas las de Languilayo, Sabinacocho, Urcos, etc. En conjunto, los cuerpos de agua ocupan una superficie de 159.84 km².

Río (R). Dentro de esta unidad se consideraron las masas de agua que se encuentran en constante movimiento y que resultan cartografiables como polígonos a la escala de trabajo. Se consideró, además, el cauce del río Urubamba, principalmente.

CAPÍTULO III

CONTEXTO LITOLÓGICO

3.1 GENERALIDADES

La geología de la región Cusco es el resultado de numerosos y sucesivos procesos que, en diverso grado, han ocurrido desde el Proterozoico hasta la actualidad. Estos procesos se encargaron de levantar y formar cordilleras, que fueron sometidas a procesos erosivos, cuyos productos resultantes se acumularon en cuencas marinas y continentales, para formar nuevas rocas sedimentarias. Así también se produjeron, en este periodo, intrusiones de rocas plutónicas y capítulos de volcanismo efusivo y explosivo que contribuyeron a modelar el territorio. Tomando como base la información contenida en los cuadrángulos geológicos del INGEMMET, se presenta un resumen de la geología histórica de la región Cusco.

En el Proterozoico, la tectónica afectó terrenos en la zona norte de la región y originó un alto grado de metamorfismo, que se evidencia, actualmente, por la presencia de 3 macizos (Machente-Tojate, al suroeste; Pichari-Cielo Punku, de alineamiento noroeste-suroeste; y el Vilcabamba, en el eje de la cordillera del mismo nombre). Todo forma una sola unidad con facies de granulitas, anfíbolitas y esquistos verdes. Las 2 primeras pertenecen al mismo núcleo metamórfico de edad probable Meso a Neoproterozoico.

Se presentan también, en este tiempo, facies de esquistos verdes, afectadas por fases de la tectónica Brasilida, a las que se les ha sobreimpuesto la tectónica hercínica. Posteriormente, ocurre la intrusión de un cuerpo monzogranítico de edad probable posproterozoica. A fines del Neoproterozoico ocurre una gran distensión en toda la región que da lugar a una subsidencia y posterior proceso de erosión y peneplanización durante el Cambriano, y que prosigue hasta principios del Ordoviciano hasta la formación de una gran cuenca Paleozoica marina intracratónica.

En el Paleozoico se forman metavolcánicos, que incluyen anfíbolitas, intrusivos y gneis del complejo Iscaybamba, del Cambriano.

Durante el Cambriano, en la región de Urubamba, se desarrolló una sedimentación volcano-sedimentaria (Formación Ollantaytambo). Le siguió discordantemente una serie conglomerádica de origen aluvial (Formación Verónica). En el

Ordoviciano medio, se tiene una serie con grandes aportes de material pelítico (Grupo San José), que al producirse cambios eustáticos en la cuenca, tuvo aportes de material detrítico cuarzoso (Formación Sandia). Durante el Ordoviciano superior se acumularon las diamictitas de las Formaciones Zapla y San Gabán. Un evento tectónico de movimientos verticales del fin del Ordoviciano (fase tectónica) produce la erosión parcial o total de las formaciones Zapla y San Gabán.

La sedimentación ocurrida en el Paleozoico inferior fue principalmente clástica y la más arenosa sobre la plataforma; además, fue la más pelítica hacia el oeste de la cuenca.

Entre el Silúrico y el Devónico, continúa la sedimentación pelítica marina (Formación Quillabamba) y pelítico-arenosa de playa (Formación Manogali). También se emplazan cuerpos intrusivos hipabisales. En esta época se deposita la Formación Paucartambo.

En el Devónico propiamente dicho, la depositación está representada por la Formación Ananea y el Grupo Cabanillas, asociado a un magmatismo basáltico a manera de intrusiones menores. Posteriormente producida la tectónica eoercínica entre el Devónico superior y el Carbonífero inferior, se depositan los sedimentos continentales del Grupo Ambo. A partir del Carbonífero superior, se deposita el Grupo Tarma en un ambiente marino. Le siguen los carbonatos del Grupo Copacabana de ambiente de plataforma, asociado a este en el Pérmico medio. En el lado oeste ocurre un episodio de sedimentación marginal de ambiente lacustre y continental de capas rojas al cual se denomina Formación Río Tambo.

En la hoja de Cusco y Livitaca se presentan las formaciones Chuquicahuana y San Salvador del Permiano inferior de depositación nerítica y detrítica.

En el Permiano superior, en la región Cusco, ocurre la reactivación de una zona de bloques ya diferenciados desde el Eoercínico, con la depositación de una serie continental detrítica y volcánica (Grupo Mitu) en el extremo suroeste, conformada en algunos sectores por las Formaciones Písac y Pachatusan. Al mismo tiempo ocurre una ingente intrusión de cuerpos graníticos y gabroicos, rocas microdioríticas y andesitas basálticas de naturaleza subvolcánica en forma de diques, sills y stock de

edad permotriásica. En este tiempo, ocurre una transgresión marina que depositó calizas fosilíferas, que son conocidas en la zona subandina como Formación Ene.

Durante el régimen sedimentario del Paleozoico, las condiciones ambientales cambian totalmente con respecto a episodios anteriores. La naturaleza de los sedimentos y la gran regularidad sobre áreas extensas indican condiciones de una quietud tectónica muy prolongada hacia el oeste, mientras que, hacia el este, hay evidencias de pulsaciones en los altos estructurales ocasionados por reactivación de fallas durante la depositación de la base del Cretáceo. Esto se evidencia por el aumento de grosores de ciertos cuerpos.

En algunos sectores de la región, hay ausencia de rocas Mesozoicas (Jurásico-Cretáceo), que sugieren un gran hiatus por la presencia del anticlinorio de Vilcambamba.

En el Jurásico superior se tiene una serie lutítica en la base y cuarcítica en el tope denominado Grupo Yura. Se deposita en una cuenca continental la Formación Sarayaquillo.

El evento tectónico sucedido en el límite Jurásico-Cretáceo se relaciona con los depósitos de conos aluviales (Formación Huambutío), controlados por fallas normales que separan la Cordillera Oriental del Altiplano. En el periodo Jurásico-Cretáceo, en la cuenca andina, se producen levantamientos verticales que generan la acumulación de facies epicontinentales denominadas Capas Rojas Murco. La Formación Muni, conformada por areniscas y lutitas rojas, se depositó entre el Cretáceo inferior y medio. El evento tectónico produce un movimiento epirogenético leve, que deja una superficie irregular sobre la cual se depositaron, en ligera discordancia angular, las formaciones superiores del Grupo Oriente (Formación Agua Caliente) del Cretáceo inferior. Encima de esta se depositó la Formación Chonta, que evidencia una acentuación de la transgresión marina, pues colocó sedimentos arcillo-calcáreos sobre facies fluvio-deltaicas y que prevalecieron hasta el Santoniano. También, en el Cretáceo inferior, se depositaron las areniscas fluviales de la Formación Huancané, asociadas a un periodo de calma tectónica.

En el límite del Cretáceo inferior-superior, se inicia una nueva transgresión, que permitió la sedimentación de estructuras con estratificación sesgada, maciza, de granulometría variada, que evidencia una sedimentación rápida, en un ambiente fluvio-deltaico. En el Albiano, la secuencia Cretácica sufre una mayor subsidencia y se desarrolla una sedimentación marina carbonatada y arcillosa (calizas Ccollpa), que fue siendo más clástica, hacia el oriente (Formación Chonta). Estas condiciones perduraron hasta el Turoniano. Luego se depositan, en forma concordante, sedimentos de facies calcáreas arcillas y areniscas.

Se depositan, también, en este tiempo, las rocas calcáreas de la Formación Arcurquina. En el Cenomaniano inferior, a consecuencia de un levantamiento regional, se depositaron las areniscas de la Formación Vivian de facies continentales y transicionales. Asimismo, se deposita el Grupo Moho, relacionado a ambientes lagunares, en el periodo comprendido entre el Santoniano al Campaniano. En el Cretáceo superior, la secuencia sedimentaria es regresiva y está representada por el Grupo Yuncaypata (Formación Paucarbamba, Formación Maras, Formación Ayabacas y Formación Puquín). La influencia de este movimiento epirogenético se manifiesta durante la depositación de la Formación Agua Caliente, por el aumento del grosor de este al activarse la falla oriental que limita el Alto de Inuya-Yarua.

A fines del Cretáceo y principios del Paleógeno, se produce la fase de deformación peruana, que marca el inicio de la tectónica andina y reactiva alguna de las fallas originadas en tectónicas anteriores. Las fallas normales pasan a inversas. Al mismo tiempo se forman cuencas intramontañosas en los extremos del área de estudio y se depositan series continentales al suroeste (Formación Tambo), noroeste y noreste (Formación Yahuarango). En el extremo suroeste, esta deformación se acompaña con el emplazamiento de cuerpos subvolcánicos de naturaleza riolítica. Rocas intrusivas de tipo diorita, tonalita y granodiorita que forman parte del Batolito de Apurímac. Se emplazaron entre el Cretáceo y el Paleógeno.

En el Paleógeno-Neógeno, la erosión iniciada a fines del Cretáceo en relieves andinos continúa con fuerte actividad. Así, pues, se transforma de ambiente marino a continental, siguiendo un régimen activo de subsidencia que dio lugar a una gruesa acumulación monótona de sedimentos rojos característicos. Sobre estas capas rojas se deposita en discordancia angular la serie clástica del Grupo Puno. Durante el Paleoceno y el Eoceno se produce una sedimentación fluvial y lacustre, representada por las formaciones Quilque y Chilca. En el Eoceno-Oligoceno se desarrolla una sedimentación continental fluvial relacionada a la tectónica Inca 1, denominada capas rojas de la Formación Ccollpaccasa. Sobreyaciendo a las 2 primeras formaciones, se deposita la serie roja continental denominada Grupo San Gerónimo, constituido por las formaciones Kayra, Soncco y Punacancha. Gran parte de la secuencia Paleógena-Neógena, aún en los sedimentos más jóvenes, al parecer, fue afectada por movimientos quechuano. La mayor acumulación de sedimentos (Formación Chambira) observados en estructuras anticlinales podrían vincularse a las facies Inca de fines del Eoceno. También, durante el Paleógeno-Neógeno, se emplazan pequeños cuerpos intrusivos, diques y sills de composición granodiorítica a diorítica-andesítica, que corresponden al Batolito de Andahuaylas-Yauri, que cortan rocas del Permo-Carbonífero y Permo-Triásico.

En el Mioceno, se inicia una actividad volcánica donde se intercalan depósitos sedimentarios, a los cuales se denomina Grupo Alpbamba. Posteriormente ocurre la fase Quechua y, en la cuenca Picha-Urubamba, se empieza a depositar series fluviales (Formación Ipuru). Descansando discordantemente sobre las Capas Rojas se tiene una potente serie de rocas volcánicas piroclásticas intercaladas con algunos bancos de conglomerados, denominada Volcánico Tacaza. Este volcánico en la zona sur del Cusco se encuentra constituido por las formaciones Orcopampa (volcano-sedimentario) e Ichocollo (lavas y domos dacíticos, lavas andesíticas a andesítico-basáltico), de edad Mio-Plioceno inferior. En el Mioceno medio se depositaron los conglomerados de la Formación Anta. La intensa actividad distensiva ocurrida durante el Paleógeno y el Mioceno generó actividad Ignea, lo que originó el emplazamiento del Plutón La Raya y subvolcánicos andesíticos-latiandesíticos.

En el Plioceno se reactivan algunos procesos tectónicos como la epigénesis, que origina la depositación de piedemontes en las cuencas Picha-Urubamba (Formación Río Picha) y del Bajo Apurímac-Ene (Formación La Merced). También se depositan en esta época las secuencias fluvio torrenciales de la Formación Chincheros.

En el Pleistoceno inferior se acumula la Formación San Sebastián, localizada en la depresión de Cusco y en la pampa de Piuray-Maras. Continúa en esta época el levantamiento de los Andes, lo que origina procesos de erosión glacial en las partes más altas, y una intensa denudación por efectos fluviales. También se establecieron los cursos de ríos que observamos actualmente. Estos depósitos están constituidos por las Formaciones Ucayali, Madre de Dios y depósitos fluviales que tapizan la faja Subandina y la Llanura Amazónica. Se acumularon también depósitos glaciares, aluviales, fluviales, lacustres y de deslizamientos en las cordilleras Occidental y Oriental. En el periodo Plio-cuaternario, se presentan cuerpos volcánicos pequeños de composición shoshonítica que se formaron en el límite del Altiplano y la Cordillera Oriental (Formación Rumicolca). En lugares más elevados se tienen potentes acumulaciones volcánicas representadas por el Volcánico Sencca, el Grupo Barroso y el Volcánico Santo Tomás. Durante el cuaternario en el valle del Vilcanota se produce un vulcanismo de tipo coladas eyectado por fisuras y por cráter, denominado Volcánico Quinsachata.

Finalmente, se tienen travertinos ampliamente distribuidos en los cuadrángulos de Sicuani, Ocongate y Corani, asociados a fuentes termomedicinales (travertinos de Yanaoca y Uchujullo), y travertinos asociados a circulaciones de agua.

Las unidades geológicas que afloran en la región Cusco han sido la base para elaborar el mapa de unidades litológicas. Se

ha considerado como una variable importante del medio físico que debe evaluarse en todo estudio de peligros geológicos. La elaboración de esta cartografía es compleja y está condicionada por las asociaciones de diferentes tipos de rocas agrupadas en formaciones geológicas (litoestratigráficas), principalmente en sus características de competencia geomecánica (discontinuidades) y resistencia (erosión y meteorización). En el análisis de la litología, se evalúan los tipos dominantes de rocas, composición mineral y textura, estructuras geológicas presentes (discontinuidades), intensidad y grado de alteración. Los suelos y/o detritos se agrupan de acuerdo a su génesis y se describe principalmente su granulometría, espesor, grado de compacidad (suelos granulares) y consistencia (suelos cohesivos).

Los mapas litológicos muestran la distribución de rocas en el territorio e indican la clase a la que pertenecen estas rocas dentro de una clasificación petrológica. Por un lado, su utilidad, desde el punto de vista económico, se pone de manifiesto a través del concepto de recurso natural, como constituyente primario que interviene en el desarrollo de obras y actividades humanas, como soporte de las mismas o como materia prima. Por otro lado, su investigación y conocimiento son necesarios para cualquier estudio que aborde problemas medioambientales y de ordenamiento del territorio. Ello es debido a la estrecha relación que existe entre los distintos aspectos del medio geológico, tales como la geomorfología, hidrología, edafología y riesgos geodinámicos (deslizamientos, erosión e inundaciones), entre otros.

3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

El mapa litológico fue elaborado sobre la base de los estudios de la Carta Geológica Nacional a escala 1:100 000. Los estudios fueron realizados en la región Cusco por la Dirección de Geología Regional del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) entre los años 1973 y 1999. Las nuevas ediciones de mapas geológicos fueron realizados por el INGGEMMET el año 2011, así como la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas para diferenciar los depósitos superficiales, y la verificación efectuada en el terreno durante los trabajos de campo.

Los cuadrángulos considerados en el estudio son Sepahua, Miaria, Unión, Cutivireni, Quirigueta, Camisea, Río Cashpajas, Llochegua, Río Picha, Timpia, Calangato, Ayna, Churanquiri, Quillabamba, Quebrada Honda, Probamba, Pilcopata, Pacaypata, Machupicchu, Calca, Urubamba, Chontachaca, Quincemil, Masuco, Tambobamba, Cusco, Ocongate, Corani, Santo Tomás, Livitaca, Sicuani, Muñoa, Cayarani, Velille, Yauri, Cailloma, Condoroma y Ocuvi.

La delimitación de unidades litológicas se basó en la litología dominante de las formaciones geológicas existentes sin considerar su edad. Se dio énfasis a las características geotécnicas (rocas y suelos) como intensidad de fracturamiento, grado de meteorización, resistencia a la erosión y, en general, a las características de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Las unidades geológicas fueron agrupadas siguiendo la especificación técnica: “Leyenda y simbología de mapa litológico”, elaborada por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos (DGAR) del INGEMMET, dentro de su sistema de Gestión de Calidad ISO (DGAR-ET-004, 2014).

La descripción de las diferentes unidades (Mapa 2) toma en cuenta los estudios que se encuentran en 18 boletines de INGEMMET (Audebaud, 1973; Marocco, 1975; Pecho, 1981; Dávila, 1988; Klinck et al., 1993; Palacios, 1994; Mendivil & Dávila, 1994; Carlotto et al., 1996; López, 1996; Palacio et al., 1996; Cárdenas et al., 1997; León W. & De la Cruz, 1998; Vargas & Hipolito, 1998; Monge et al., 1998; De la Cruz, 1998; Zarate, 1998; Carlotto et al., 1999; Salas et al., 1999). Los principales grupos de suelo y rocas se han agrupado en 2 grandes unidades de clasificación (Figura 3.1):

3.2.1 Depósitos inconsolidados

Esta unidad está compuesta por materiales poco o nada coherentes, de extensión y grosor variables, de naturaleza litológica heterogénea, heterométricas, depositados desde el Pleistoceno al Cuaternario reciente, y agrupados en función de su génesis.

En la región Cusco se encuentran 6 tipos de material no consolidado, producto de la meteorización, erosión, transporte

y posterior acumulación. Presentan diferentes morfologías que van desde planas, plano-onduladas, terrazas, lomadas y acumulaciones de piedemonte. Así también presentan diferente grado de compactación de suelos. Ocupan en conjunto un 11.76 % del área de la región. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

Depósito aluvial (I-3). Está conformado por llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes al valle principal de los ríos Vilcanota, Paucartambo, Vilcanota, Yavero, etc. Está compuesto por una mezcla de fragmentos heterométricos y heterogéneos (bolones, cantos, gravas, arenas, etc.), redondeados a subredondeados, transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias. Además, conforman terrazas y abanicos aluviales extensos. Tienen regular a buena selección y se presentan estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial (Fotografía 3.1).

Dentro de esta unidad también se incluyen los depósitos fluviales, ya que no fue posible diferenciarlos por la escala de trabajo. Los depósitos fluviales constituyen los materiales del lecho de ríos o quebradas, terrazas bajas y llanura de inundación. Son depósitos heterométricos constituidos por bolones, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y areno-limosos. Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas, removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación. Son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta (Fotografía 3.2).

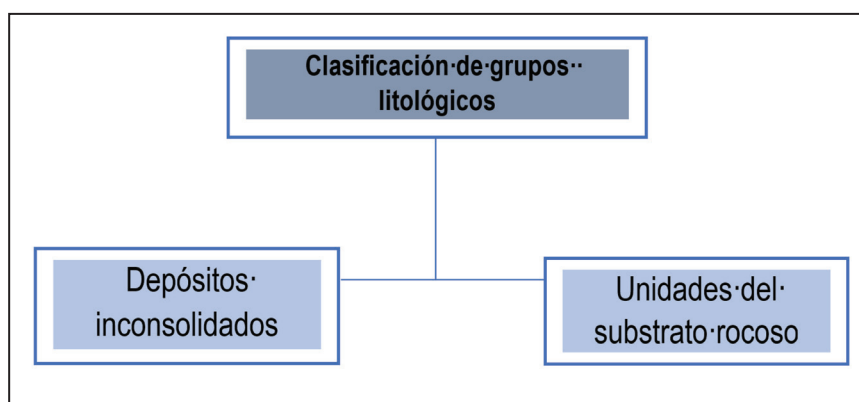


Figura 3.1 Unidades litológicas.

Depósito proluvial (I-4). Conforman 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 deyectivos en la confluencia con el río. Puede presentar cierta estratificación, que representa la ocurrencia de varios flujos de detritos 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 (Fotografías 3.3 y 3.4).

Depósito deluvial (I-5). Caracterizado por estar conformado por capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos (Fotografía 3.5), que se depositan y cubren las laderas de los cerros, con taludes suaves a moderados. Estos depósitos han sido removidos por la escorrentía 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, el viento y la reptación de suelos.

Depósito coluvial (I-6). Se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados, en forma de conos cuando es un solo depósito. Forman piedemontes cuando hay varios depósitos ubicados consecutivamente. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los bloques menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, aunque puede encontrarse material fino de arena y limo entre los clastos. Son sueltos, sin cohesión y conforman taludes de reposo poco estables.

También se consideran dentro de esta categoría a los depósitos formados por los materiales que fueron movilizados por algunos tipos de movimientos en masa, los cuales están conformados por fragmentos de tamaños heterométricos, mezclados de forma caótica. Pueden presentarse algo consolidados. Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, avalanchas y movimientos complejos) (Fotografía 3.6).

Depósito lacustrino (I-7). También denominado bofedales, conforman generalmente planicies y están relacionadas a las cuencas altas. Su génesis está relacionada a represamientos naturales, por decantación de material fino en aguas tranquilas, así como la depositación de material fino en cuencas endorreicas

(Fotografía 3.7). Se encuentra constituido por sedimentos muy finos arcillo-limosos, a veces con intercalaciones de lentes areno-gravosos. Está estratificado en capas muy finas denominadas varvas y ocurren intercalaciones con lentes orgánicos. Geomorfológicamente, son susceptibles a inundación pluvial. Se tienen sus mejores exposiciones en los distritos de Lucre y Pitumarca (lagunas de Sibinacocha y Jajana).

Depósito glaciar y fluvio-glaciar (I-8). Dentro de esta subunidad se han considerado los depósitos de origen netamente glaciar, así como los materiales de origen glaciar que fueron transportados y redepositados por escorrentía pluvial o por deshielo de los nevados.

- Depósitos glaciares se localizan en zonas de gran elevación que tienen cobertura glaciar permanente durante todo el año a lo largo de la Cordillera Oriental de los Andes, que atraviesa la región en una dirección sureste-noroeste. Entre dichas zonas se puede mencionar a los nevados Azulcocha, Panta, Sacsarayoc, Padreyoc, Salcantay, Huayanay, Verónica, Sahuasiray, Chicón, Auzangate y Quelccaya. También se considera dentro de esta clase a los materiales formados en zonas que actualmente se encuentran descubiertas de cobertura glaciar y que solo presentan cobertura de nieve estacional-temporal. La falta de cobertura glaciar en muchas de estas zonas se debe al marcado proceso de retroceso glaciar que han sufrido las zonas de Cordillera en los Andes, por el cambio climático. Las acumulaciones de material en estas vertientes glaciares como resultado del proceso de retroceso glaciar, durante el Pleistoceno y Cuaternario reciente, corresponden a las acumulaciones heterométricas de gravas angulosas, bloques, guijarros y arena, dispuestas sin estratificación en una abundante matriz de limo y arcilla. Las masas de acumulación dejadas por estos retrocesos son gruesos volúmenes de sedimentos acumulados en forma de morrenas (que pueden denominarse según su ubicación en el valle glaciar en morrenas laterales, frontales y de fondo), así como acumulaciones de detritos de gelifracción más recientes.
- Depósitos fluvio-glaciares se distribuyen en los sectores altoandinos y de montaña de las cordilleras Occidental y Oriental del Cusco. Son materiales glaciares (morrenas) que han sufrido removilización por acción fluvial o por gravedad (Fotografía 3.8). Están compuestos por material gravoso subredondeado, heterométrico, matriz areno-arcillosa, de espesor y permeabilidad variables, medianamente compactos. Se ubican, generalmente, a cotas por encima de los 3800 m s. n. m. y ocupan extensas planicies altoandinas o laderas de montañas en zonas de valles glaciales o frentes montañosos de estrato-volcanes, generalmente con pendiente moderada.



Fotografía 3.1 Vista aguas arriba del río Patacancha en el distrito de Ollantaytambo. Se puede apreciar la terraza aluvial baja en la margen derecha sobre la cual se ha colocado un poste de transmisión eléctrica que puede ser afectado por procesos de erosión fluvial e inundaciones.



Fotografía 3.2 Depósitos fluviales localizados dentro del valle del río Ocobamba. Estos materiales están sometidos a un transporte constante.



Fotografía 3.3 Material proluvial (hualca) que discurrió por la quebrada Quellocaca y formó albardones (levees). Sector de Caluyo en el distrito Layo, provincia Canas.



Fotografía 3.4 Material proluvial acarreado por la quebrada Calaquiña, acumulado en su confluencia con el río Lúcumá. Es posible observar la cantidad de grabas y bloques que acarreadó el evento, sector de Huyro, distrito Huayopata, provincia La Convención.



Fotografía 3.5 Depósitos deluviales conformados por material de grava arcillo-limosa, con clastos de esquistos. Sector de Acospata en la margen derecha del río Vilcabamba, distrito Santa Teresa, provincia La Convención.



Fotografía 3.6 Derrumbe por erosión en la base de la ladera de la margen derecha del río Vilcanota. Forma un depósito coluvial en el sector de Huillcar, distrito Machu Picchu, provincia Urubamba.



Fotografía 3.7 Depósito de bofedal, formado por el cierre parcial de la quebrada Aroccollo por una avalancha de detritos, en la ruta que une los poblados de Velille con Espinar, distrito Velille.



Fotografía 3.8 Depósitos fluvio-glaciares conformados por gravas subredondeadas englobadas en una matriz arcillo-limosa, depositados por encima de unas lutitas negras alteradas del Grupo Cabanillas, sector de Titacancha, distrito Colquepata, provincia Paucartambo.

Depósito químico (I-11). Formado por la acumulación de costras de material de precipitación química (travertinos y sinters) asociados a aguas termales. Se podría decir que los travertinos son un tipo de roca sedimentaria, formada por las precipitaciones de carbonato de calcio (calcita) de aguas altamente saturadas de calcio. Se encuentran consolidadas, por lo tanto, son menos porosas. Cuando las aguas están saturadas de sílice coloidal da lugar a la formación de un sinter silíceo. En la región Cusco se identificó esta subunidad litológica en las proximidades de los poblados de Yanaoca y Uchujullo (Fotografía 3.9).

3.2.2 Unidades del substrato rocoso

Estas unidades han sido divididas de tal forma que agrupan a las diferentes litologías según su composición principal, así como por su estado de alteración y fracturamiento. Se diferencian en la región 5 grandes grupos:

- Rocas intrusivas (II)
- Rocas volcánicas (III)
- Rocas volcánico-sedimentarias (IV)
- Rocas sedimentarias (V)
- Rocas metamórficas (VI)

Cada unidad se ha subdivido en varias litologías particulares, las cuales se describen a continuación:

Rocas intrusivas (II). Las rocas intrusivas que afloran en la región Cusco se distribuyen en las cordilleras Occidental y Oriental formando stocks, batolitos y cuerpos subvolcánicos. En menor proporción se les encuentra en la Faja Subandina constituyendo principalmente cuerpos subvolcánicos. Estas rocas ocupan el 12.37 % de la superficie de la región.

La resistencia de estos cuerpos intrusivos varía según la composición, textura y localización, así como por efectos del clima al que están expuestos. El granito es la roca más común de la familia de las rocas intrusivas. Estas últimas, que afloran en el departamento del Cusco, se han dividido en 4 subunidades:

Granitos y monzogranitos (II-1). Son afloramientos de topografía moderada a fuerte, que conforman stocks y batolitos, distribuidos principalmente en la Cordillera Oriental (provincias de La Convención, Urubamba, Calca, Paucartambo, Quispicanchi y Canchis). Los cuerpos graníticos que afloran en el extremo sureste de la región conforman stock principalmente (provincia de Canas y Espinar).

Estos cuerpos presentan diferentes grados de fracturamiento que son resultado de las diferentes faces tectónicas a las que estuvieron sometidas. Además tiene diferente grado alteración, que depende de su ubicación geográfica. Es así que los granitos que se encuentran en zonas tropicales se pueden presentar

meteorizados a suelos arcillosos y areno-arcillosos.

Los granitos presentan una composición mineralógica de cuarzo, plagioclasa sódica, microclina, feldespato potásico, a veces biotita y epidota. Pueden presentar valores de resistencia a la comprensión simple de la matriz rocosa sana de 500-3000 kp/cm² (Gonzales de Vallejo et al., 2002). Los monzogranitos tienen textura granular subhedral. La mineralogía está compuesta por plagioclasas subhedral, a veces contiene biotita y hornblenda. Estas rocas de edad Paleozoico superior-Triásico inferior intruyen rocas del Paleozoico inferior.

Dentro de esta subunidad destacan los cuerpos intrusivos Machupicchu, Choquetacampo, Yupanca, Ayapata Escalera, Hatun Quico, Cirialo Concevidayoc (Fotografía 3.10), Quellouno, Choquetazafra, Calayoc, Senja, Quilloc, Calayoc, San Gaban, Carhuaso Punco y La Raya.

Las rocas de esta subunidad se encuentran afectadas por deslizamientos, caídas (desprendimiento de rocas y derrumbes), procesos de erosión en cárcavas y flujos de detritos.

Granodioritas (II-2). Afloran en el extremo oeste de la región, en la provincia de Anta y el distrito de Huanquite en la provincia de Paruro. Son intrusivos de edad Paleógeno-Neógeno que aparecen cortando rocas sedimentarias del Cretáceo inferior. En la parte sur-central de la región, en las provincias de Paruro y Quispicanchi, los intrusivos se encuentran formando stocks y cuerpos subvolcánicos principalmente. Son de edad Paleoceno e intruyen rocas del Pérmico y del Cretáceo inferior.

Estas rocas son pequeños macizos intrusivos constituidos mineralógicamente de cuarzo, feldespato potásico (microclina y ortosa) hornblenda, plagioclasa y biotita. Presentan como accesorios a la clorita, apatito, circón, esfena y magnetita. Pueden estar los suelos alterados a arcillo-arenosos.

Los cuerpos intrusivos de esta subunidad litológica pertenecen a los plutones Cotabambas, Curahuasi y Huanquite de la Unidad Cotabambas, y el Plutón Rocoto. Esta subunidad se encuentra afectada por grandes deslizamientos, derrumbes y procesos de erosión en cárcavas.

Dioritas, tonalitas, melodioritas, gabrodiorita, gabro (II-3). Constituyen intrusiones de gran dimensión, que afloran principalmente en el extremo oeste de la región, conformando las cordilleras Oriental y Occidental, en las provincias de La Convención, Acomayo, Paruro y Chumbivilcas. Estos cuerpos intrusivos de edad Paleógeno se encuentran intruyendo secuencias de rocas sedimentarias del Cretáceo inferior. Estas rocas forman montañas y laderas de montañas de pendiente media, también colinas y lomadas de pendiente baja a media.



Fotografía 3.9 Travertino que forma un puente natural sobre el río Irubamba; el río discurre cubierto por estos carbonatos por unos 300 m aproximadamente entre las localidades de Machacollo y Anguyo, distrito San Pablo, provincia Canchis.



Fotografía 3.10 Bloque de granito proveniente de un derrumbe ocurrido en el cerro Yanaorjo en la margen derecha del río Chumpi, distrito Marcapata, provincia Quispicanchi.

Las rocas intrusivas pertenecientes a este grupo litológico son la Unidad Choquechambe, Unidad Cotabamba, Plutón Aychacata, Plutón Colquemarca (Fotografía 3.11), Plutón Charamuray, intrusivo Huaynapata y el subvolcánico Pampacolas. Los movimientos en masa más frecuentes en estas rocas son las caídas (desprendimiento de rocas y derrumbes), debido al intenso fracturamiento y meteorización que lo reduce a suelos arcillo-arenoso y por la pendiente del macizo rocoso.

Pórfidos hipabisales (II-4). Estos cuerpos intrusivos constituyen afloramientos de reducida extensión. Representan tan solo el 0.16 % de la superficie total de la región. Se tienen afloramientos de este tipo en el extremo este de la provincia de La Convención. Se trata de un intrusivo de edad del Cretáceo inferior que corta secuencias del Ordovícico. En el lado oeste de la región, distrito de Huanquite, se tiene un cuerpo hipabisal de composición andesítica denominado subvolcánico Huanca Huanca.

En la provincia de Canchis, distrito de Pitumarca, aflora un cuerpo hipabisal denominado Andesitas Yanacocha que corta secuencias del Cretáceo. En el distrito de San Pablo se tiene un cuerpo subvolcánico de diabasa de edad Neógeno que corta rocas del cretáceo y en el distrito de Maranganí se tiene un subvolcánico de composición andesítica de edad del Neógeno, que corta secuencias del Paleozoico superior.

En el extremo suroeste de la región, en los distritos de Santo Tomás, Llusco y Quiñota, se presentan cuerpos subvolcánicos de composición andesítica sin denominación y andesitas porfíricas de la Unidad Sañayca.

Las rocas de esta subunidad litológica se encuentran conformando montañas de baja altura y, principalmente, colinas con laderas de pendiente media, donde no es frecuente encontrarlas afectadas por movimientos en masa.

Rocas volcánicas (III). Se encuentran constituidas por rocas piroclásticas, lavas y piroclastos, solo secuencias de lavas andesíticas a dacíticas, andesitas basálticas y shoshoníticas. Su distribución se circunscribe principalmente en la Cordillera Occidental de la región, aunque también se presentan cuerpos volcánicos en el valle interandino del río Vilcanota y en la Cordillera Oriental, al suroeste de la región. Sus afloramientos ocupan un 8.9 % del área total de la región. Se encuentran conformando laderas pronunciadas, montañas, colinas, lomadas, mesetas, centros volcánicos, domos volcánicos y conos de escorias monogenéticos. De acuerdo a sus características litológicas principales y sus asociaciones con las cuales se presenta, se les ha subdividido en 4 subunidades principales.

Rocas piroclásticas (III-1). En sentido general, agrupa a fragmentos sólidos de material volcánico expulsado a través de la columna eruptiva al aire durante una erupción.

Petrologicamente, los piroclastos son fragmentos de roca ígnea volcánica solidificados en algún momento de la erupción, frecuentemente durante su recorrido aéreo. Según el tamaño de fragmentos (bomba, ceniza y lapilli) se distinguen tobas, tufos, flujos piroclásticos e ignimbritas.

Representan la mayor extensión de los materiales volcánicos de naturaleza explosiva con un 5.56 % del área total de la región. Se les encuentra en las provincias de Anta, Cusco, Paruro, Chunivilcas, Canas y Espinar en el lado oeste y sur, conformando la Cordillera Occidental; y en la provincia de Canchis en el lado sureste, haciendo parte de la Cordillera Oriental. Esta unidad litológica se encuentra configurando montañas, colinas, planicies y mesetas. Todo esto puede encontrarse afectado por procesos de erosión de laderas. También se presentan flujos de detritos, derrumbes, deslizamientos y avalanchas de rocas en los bordes de mesetas.

Dentro de esta subunidad destacan la Formación Ichocollo del Grupo Tacaza (Fotografía 3.12); el Complejo Volcánico Huacallani, la caldera Caylloma y el Complejo Volcánico Vilcarani del Grupo Barroso; el Complejo Volcánico Jeñuma Pirhua; el miembro Sapanuta de la Formación Quenamari, miembro de constitución netamente piroclástica de la Formación Alfabamba; el volcánico Quechua Grande; y el Grupo Sillapaca.

Rocas piroclásticas y lavas (III-2). Corresponde a una combinación de rocas volcánicas de origen efusivo (lavas) y explosivo (piroclástico). Sus afloramientos se presentan en el extremo sur de la región (provincia de Espinar), que corresponde a la Cordillera Occidental; configurando morfologías de montañas principalmente. Representan tan solo el 0.31 % de la superficie total de la región.

Las coberturas de suelos que se desarrollan sobre estas rocas pueden ser afectadas por procesos de reptación de suelos y geliflucción, pequeños movimientos complejos y flujos de tierra, así como caída de rocas desde frentes escarpados de montañas. Dentro de esta subunidad destacan el Complejo Volcánico Jañuma Pirhua, del Grupo Barroso (conformado por lavas y piroclastos) y la Formación Palca.

Secuencia lávica andesítica/dacítica (III-3). Propia de las dinámicas eruptivas de mayor a menor fluidez de los magmas debido a su composición mineralógica, la cantidad de agua juvenil y de los volátiles que contienen, así como también la disposición de estos en el líquido magmático. Las erupciones efusivas emiten coladas de gran fluidez que pueden alcanzar varios kilómetros de longitud. Pueden formar centros volcánicos, domos lávicos, edificios volcánicos, coladas de lava y volcanes monogenéticos. Se les puede encontrar como cuerpos subvolcánicos. En la región Cusco se distribuyen

principalmente a lo largo de la Cordillera Occidental (provincias de Paruro, Chumbivilcas, Espinar y Canas) y en la Cordillera Oriental con exposiciones de menor tamaño en la provincia de Paucartambo y Quispicanchi.

Esta subunidad ocupa el 2.96 % de la superficie total de la región y reúne al Complejo Volcánico Huarancante, las secuencias lávicas del Grupo Tacaza, la Formación Pachatusan del Grupo Mitu, el volcánico Quehue Grande, la Formación Santo Tomás, el volcánico Quisachata y algunos cuerpos subvolcánicos.

Andesita basáltica (III-4). Este subgrupo está representado por la Formación Rumicolca. Estos cuerpos se hallan marcados en zonas de fallas y su litología es muy similar de un afloramiento a otro; sin embargo, por su composición geoquímica han sido clasificados como shoshonitas. Estas rocas se encuentran principalmente localizadas a lo largo del valle interandino del río Vilcanota (provincias de Cusco y Quispicanchi) y algunos afloramientos en la Cordillera Oriental (distrito de Limatambo) (Fotografía 3.13). Ocupan el 0.05 % de la superficie total de la región.

Las rocas de este subgrupo se encuentran configurando colinas, domos, conos de escoria monogenéticos y coladas volcánicas, que incluso llegaron a cerrar el valle del río Vilcanota y modifican la dirección del curso del río.

Rocas volcano-sedimentarias (IV). Corresponde a un grupo de rocas sedimentarias clásticas (areniscas, conglomerados) y finas (lutitas y limolitas), con mezcla de volcánicos y volcanoclásticos. Las rocas volcano-sedimentarias que afloran en la región se distribuyen en las Cordilleras Occidental y Oriental, y ocupan tan solo el 2.75 % del total del área de la región. Se encuentran conformando laderas de montañas y colinas.

Las rocas volcano-sedimentarias que afloran en la región Cusco fueron agrupadas en 2 subunidades:

Rocas piroclásticas y lavas dacíticas y andesitas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados (IV-1). En este subgrupo se ha considerado la Formación Orcopampa, constituida por areniscas, brechas y lavas de color gris de composición andesítica. En la zona de Suykutambo, predominan las lavas andesíticas con porcentajes de brechas y areniscas. Se localiza en el sur de la región (provincias de Chumbivilcas y Espinar) y configura paisajes de montañas.

Rocas piroclásticas y lahares, lavas, tobas andesíticas y lahares intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados (IV-2). Esta subunidad está conformada por rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica, secuencia de lavas afaníticas de coloración gris oscuras intercaladas con tobas y brechas lávica regularmente alteradas, lahares con bombas

lávicas líticas hasta de 50 cm de diámetro, intercaladas con conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas.

Las formaciones representativas que pertenecen a esta subunidad son el Grupo Tacaza y el Grupo Mitu (Fotografías 3.14 y 3.15).

Rocas sedimentarias (V). Las rocas sedimentarias presentan una buena distribución en toda la región. Forman parte de las cordilleras Occidental y Oriental, y la faja Subandina. Además, se presentan estructuralmente plegadas, falladas e imbricadas y ocupan el 40.32 % del total del área de la región.

Las principales rocas sedimentarias analizadas en laboratorio presentan valores de resistencia a la compresión y tracción muy variados (Cuadro 3.1), que permite calificarlas desde rocas con mala calidad a rocas con buena calidad geotécnica. Sin embargo, estos rangos de valores pueden ser muy diferentes cuando se analiza y se trabaja en un macizo rocoso.

Las rocas sedimentarias que afloran en la región han sido agrupadas en 8 subunidades. El criterio utilizado en esta reclasificación fue la litología predominante de cada una de las formaciones:

Calizas, lutitas carbonosas, limorcollitas y margas (V-1). Asociación litológica donde los sedimentos finos le restan calidad geotécnica a la subunidad. Se puede considerar de forma general que están compuestas por calizas, lutitas de coloración roja y escasamente lutitas, con algunos estratos de dolomita. Ocupan el 4.45 % de la superficie total de la región. En esta subunidad, fueron consideradas las formaciones Chonta (Fotografías 3.16 y 3.17), Arcurquina y Puente, también al Grupo Tarma-Copacabana.

Areniscas y lutitas (V-2). Constituidas por la combinación de rocas clásticas y rocas de grano fino, las que le restan dureza y calidad geotécnica a la subunidad. Ocupan el 24.26 % de la superficie total de la región. En forma general se encuentra conformada por secuencia de areniscas compactadas de color gris, intercaladas con arcillitas, areniscas con lutitas y limolitas de estratos medios a delgados. Las formaciones representativas que pertenecen a esta subunidad son Puquín, Sonco miembro I, Chilca, Muñani, Ananea (Fotografías 3.18 y 3.19), Murco, Cachíos, Calapuja, Labra, Yahuarango, Ipururo y Chambira; los grupos Cabanillas (Fotografía 3.20) y Ambo.

Lodolitas, limolitas, limoarcillitas (V-3). Esta subunidad está conformada por limoarcillitas con lodolitas de coloración roja, intercaladas en estratos medianos a gruesos, con laminación paralela. Se considera a estas rocas con una muy baja calidad geotécnica, pues presentan escasa distribución y ocupan tan solo el 0.65 % de la superficie de la región. La subunidad está representada por la Formación Auzangate (Fotografía 3.21).

Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas (V-5). Presentan una extensión reducida del 7.52 % del área total de la región. Se presentan principalmente en el lado norte y sur de la región Cusco. Se caracterizan por ser una subunidad que agrupa rocas competentes e incompetentes.

Esta subunidad está conformada por secuencia de conglomerados, areniscas de estratos gruesos, niveles de lutitas con presencia de limoarcillitas rojizas y lodolitas de coloración gris verdosa a beige. Las secuencias sedimentarias representativas que se ubican en esta subunidad corresponden a los grupos Moho (Formación Paucarbamba), Puno y Huyabamba (Formación Pozo); y las formaciones Ucayali, La Merced, Paruro, Huancané, Cancao, Anchiuay, Chincheros, Muni, Verónica, Quilque, Punacancha, Anta (Fotografía 3.22), Casa Blanca, Ocoruro, Viluyo, Río Picha y Madre de Dios.

Areniscas cuarzosas (V-6). Subunidad que presenta poca distribución y reducida exposición en la región, tan solo ocupa el 1.14 % de su área total; se puede considerar como una subunidad de rocas competentes, de buena calidad, que se presentan resistentes a la meteorización; en general está conformada por areniscas cuarzosas de coloración blancas a rojizas de grano medio a grueso. Fueron consideradas dentro de este grupo a las formaciones Vivian, Cay Cay, las secuencias de areniscas cuarcíticas de la Formación Málaga, y la unidad de areniscas masivas de Grupo Oriente (Fotografía 3.23).

Calizas macizas (V-8). De reducida exposición en la región, se tienen 2 afloramientos en el distrito de Colquemarca, en el límite con la región Apurímac, que representan el 0.003 % del área del total. Se pueden considerar a las rocas de este grupo como secuencias duras, resistentes y de buena calidad. Dentro de esta subunidad se ha considerado la Formación Gramadal del Grupo Yura.

Domos de sal y yeso (V-9). Formados por la concentración de sales, que abomban estratos superiores, presentan una morfología de cúpula, suavemente ondulada y redondeada. Se encuentran constituidos por niveles de evaporitas (sales) y yeso (sulfato de calcio hidratado), procedentes de niveles estratigráficos muy plásticos, sometidos a gran presión. Por sus propiedades de ser muy solubles y de poder deformarse plásticamente, se consideran como una subunidad de baja calidad geotécnica. Se tiene un solo afloramiento de este tipo

en el sector de Paraccaylla, muy cerca al poblado de Colcha, en la provincia de Paruro, y representa el 0.002 % del área total de la región.

Areniscas, limoarcillitas y calizas (V-10). Presentan regular distribución en la región, con una extensión que equivale al 2.32 % del área del Cusco. En líneas generales, se puede decir que la subunidad está compuesta por areniscas en estratos gruesos a medios, intercaladas con limoarcillitas, calizas micríticas y bioclásticas replegadas. Además, puede presentarse silicificada y dolomitizada. Han sido consideradas, dentro de esta subunidad, las formaciones Vilquechico (Fotografía 3.24), Ayabacas, Río Tambo y Maras del Grupo Moho (Fotografía 3.25).

Rocas metamórficas (VI). Las rocas metamórficas que afloran en la región presentan buena distribución, principalmente a lo largo de la Cordillera Oriental. Ingresan en el territorio con una dirección sureste-noroeste, la cual cambia en la provincia de La Convención, primero hacia el suroeste y luego nuevamente al noroeste. Ocupa el 22.62 % del área total de la región. De acuerdo a la litología dominante se han diferenciado las 2 subunidades siguientes:

Esquistos y pizarras (VI-1). La resistencia de estos materiales rocosos se considera muy baja con discontinuidades por esquistosidad, estratificación e intenso fracturamiento. Se alteran a suelos arcillosos y representan el 1.47% del área de la región. Dentro de esta subunidad destacan la Formación Málaga (Fotografía 3.26) y la Unidad de esquistos y pizarras del Grupo Ollantaytambo (Fotografía 3.27).

Gneis (VI-2). Presentan una buena resistencia. Son rocas duras y poco alteradas. Representan el 4.07 % del área de la región. Dentro de esta subunidad destacan los gneis del Complejo Izcaybamba, Complejo Marañón y granulitas que afloran en la región que no tienen denominación.

Cuarcitas, esquistos, filitas y pizarras (VI-4). Presentan muy buena distribución en la Cordillera Oriental. Representan el 17.08% de la superficie de la región. Esta subunidad está constituida por cuarcitas meteorizadas intercaladas con esquistos en matriz arenosa y filitas en estratos gruesos a medios. También se pueden tener pizarras. Dentro de esta subunidad fueron consideradas las Formaciones Sandía y San Gabán, y el Grupo San José.



Fotografía 3.11 Tonalitas del Plutón Colquemarca, al sureste de Santo Tomás, en la ruta que la une con Velille. Es posible observar el fracturamiento que presenta la roca en el talud de corte de carretera.



Fotografía 3.12 Ignimbritas con abundantes líticos del Grupo Tacaza, en el sector de Patacce, en la margen izquierda de la quebrada Escalera Mayo, distrito Ocoruro, provincia Espinar.



Fotografía 3.13 Shoshonitas en el talud superior de la carretera Cusco-Limatambo, sector de Ayaviri, distrito Limatambo.



Fotografía 3.14 Corte de carretera en secuencias del Grupo Mitu, que se presenta muy fracturada y meteorizada, sector de Pampallacta, distrito Calca.



Fotografía 3.15 Secuencia volcánica piroclástica del Grupo Mitu, en el sector de Chiripata, distrito San Salvador, provincia Calca.

Cuadro 3.1

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

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

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



Fotografía 3.16 Interestratificación de lodolitas, limolitas y calizas de la Formación Chonta. También se puede apreciar el grado de fracturamiento y alteración de las rocas. Talud superior de corte de la carretera Interoceánica, sector de Otorongo Chico distrito Camanti, provincia Quispicanchi.



Fotografía 3.17 Rocas de la Formación Chonta con buzamiento en contra de la pendiente del talud de corte. Carretera Interoceánica Km. 243+100, sector San José, distrito Camanti, provincia Quispicanchi.



Fotografía 3.18 Formación Ananea en el talud superior de la carretera Calca-Lares, sector de Chaipapampa, distrito Calca.



Fotografía 3.19 Lutitas de la Formación Ananea en la carretera Interoceánica, sector de Chacabamba, distrito Huancarani.



Fotografía 3.20 Lutitas del Grupo Cabanillas, en el talud superior de corte de la carretera Paucartambo-Ccarhuayo-Ocongate, con más de 3 familias de fracturas, sector cerro Ujayoc, distrito Paucartambo.



Fotografía 3.21 Estratos de limoareniscas, limoarcillitas y areniscas de la Formación Auzangate, en el talud superior de la carretera Limatambo-Cusco, sector de Chinllawuacho, distrito Limatambo.



Fotografía 3.22 Secuencias de la Formación Anta, conformada por conglomerados, areniscas y limolitas, sector de Mosollacta, en la carretera Acomayo-Sangarará, distrito Acomayo.



Fotografía 3.23 Areniscas cuarzosas masivas del Grupo Oriente en el talud superior de la carretera Interoceánica Km. 218, distrito de Camanti, provincia de Quispicanchi.



Fotografía 3.24 Areniscas y limolitas de la Formación Vilquechico en el cerro Huancarane, carretera Sicuani-Santa Bárbara, distrito de San Pablo, provincia Quispicanchi.



Fotografía 3.25 Afloramiento de la Formación Maras, en la margen izquierda del río Vilcanota, frente a la ciudad de Urubamba.



Fotografía 3.26 Esquistos y pizarras de la Formación Malaga en el poblado de Sullucuyoc, distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención.



Fotografía 3.27 Pizarras y esquistos de la Formación Ollantaytambo, en el sector de Cocalmayo, distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención.

CAPÍTULO IV

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

4.1 GENERALIDADES

Durante los últimos años, en la región Cusco se han desarrollado numerosos estudios hidrogeológicos con un objetivo específico, captación de aguas subterráneas, recarga artificial de acuíferos, etc. Instituciones públicas y privadas han desarrollado numerosas obras basadas en estudios hidrogeológicos, el Centro Guamán Poma de Ayala ha desarrollado captaciones novedosas de aguas subterráneas en la subcuenca del río Huatanay sobre la base de un mapa hidrogeológico de la ciudad del Cusco (galerías filtrantes, pantalla de regulación subterránea, etc.). El INGEMMET dentro de sus funciones ha elaborado el mapa hidrogeológico del cuadrángulo del Cusco (28-s), a escala 1:50 000 zonificando las rocas y suelos con características para almacenar y transmitir aguas subterráneas. Además, se cuenta con numerosos estudios realizados por el Instituto de Manejo del Agua y Medio Ambiente (IMA), el Plan MERISS, Municipalidades distritales y provinciales, el Gobierno regional, etc. Todos estos estudios fueron hechos con fines agrícolas, domésticos y de zonificación.

El análisis de la litología y materiales inconsolidados, así como la presencia de fallas y estructuras existentes en la región, permite interpretar que existen condiciones favorables para encontrar estratos permeables o acuíferos que almacenan agua subterránea, principalmente en depósitos cuaternarios (aluviales, fluvio-glaciares, fluviales, etc.), así como en depósitos paleo-neógenos (formaciones Kayra y Soncco), rocas mesozoicas fracturadas (Formación Huancané, Grupo Mitu; unidad volcánica) y en rocas volcánicas lávicas y piroclásticas (Grupos Tacaza, Barroso y Andahua), entre otras.

En el Estudio Tarifario realizado por la SUNASS (2013), se destacan recursos probados de agua subterránea en la ciudad de Cusco, siendo el acuífero de Piñipampa el más importante ya que abastece el 51.78 % de la producción total de agua en la ciudad del Cusco, existe también el sistema de manantes KorKor-Jaquira que está constituido por 5 fuentes de agua subterránea, la producción es de 40 l/s en época de estío y 90 l/s en épocas de lluvia; el sistema Salkantay conformado por la galería filtrante Salkantay (abastece de agua potable a toda la zona noreste de Cusco) y la fuente de agua subterránea Condorsenqa, (los sistemas Salkantay y KorKor-Jaquira) proveen de un 12.48% del volumen de producción total.

En la región Cusco el conocimiento de la cultura del agua es muy antiguo, extendido en toda la región, ha sido desarrollado con el respeto a las aguas provenientes de manantiales ancestrales, siendo un claro ejemplo el sistema hidráulico que desarrolló la cultura incaica en localidades como las de Tipón, Tambomachay, Totorapaqcha, etc., donde los sistemas hidráulicos de captación y distribución del agua se basan en el aprovechamiento sostenible del agua subterránea, los mismos que hoy en día se encuentran en perfecto estado de funcionamiento.

El régimen de escurrimiento es constante (alto en épocas de lluvia y baja en épocas de estío), con vertientes principales de carácter permanente, con agua clara en épocas de lluvia en la mayor parte de la parte alta, la misma que es utilizada para la agricultura, el riego de vegetales, el consumo humano, las industrias, la recreación, la balneología, la piscicultura, etc. desde tiempos antiguos. Asimismo, la existencia de fuentes de aguas termales y minerales en el área indica la presencia de acuíferos profundos.

4.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS-MAPA HIDROGEOLÓGICO

Para la elaboración del mapa hidrogeológico se ha utilizado 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.

En la región Cusco se han identificado las siguientes unidades hidrogeológicas:

Unidades hidrogeológicas

- . Acuífero poroso no consolidado (APNC)
- . Acuífero sedimentario (AS)
- . Acuífero fisurado sedimentario (AFS)
- . Acuífero fisurado kárstico (AFK)
- . Acuífero fisurado volcánico (AFV)
- . Acuífero fisurado volcánico-sedimentario (AFVS)

- . Acuitardo (AT)
- . Acuitardo sedimentario (ATS)
- . Acuitardo volcánico (ATV)
- . Acuitardo volcánico-sedimentario (ATVS)
- . Acuitardo intrusivo (ATI)
- . Acuitardo metamórfico (ATM)
- . Acuícludo metamórfico (ACM)

Mapa hidrogeológico

En base a la información geológica y estructural, a escala 1:100 000, de la Carta Geológica Nacional (INGEMMET) se realizó una interpretación de las unidades litológicas y se han agrupado las formaciones geológicas en función a su capacidad de almacenamiento y transmisibilidad del agua subterránea; esto permitió elaborar el de lito-permeabilidades que es el mismo que un mapa hidrogeológico de carácter regional (Mapa 3), las unidades hidrogeológicas encontradas se detallan a continuación:

4.2.1 Acuíferos

Formación geológica capaz de almacenar volúmenes de agua que se mueven con facilidad a través de sus poros o grietas; pueden extraerse en cantidades económicamente aprovechables.

- Acuíferos porosos no consolidados

Incluyen los depósitos aluviales, fluviales, 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 glaciares (morrénicos) en las vertientes altas; son acuíferos de moderada a alta permeabilidad y de alta productividad, dependiendo de las dimensiones con la que cuenten.

El acuífero Ipururo cuyas areniscas están representados por niveles de conglomerados cuaternarios poco consolidados y permeables, que constituyen potenciales reservorios de agua subterránea. Se localiza al norte de la región cerca al límite con la región de Ucayali, esta zona se caracteriza por la presencia de lluvias constantes que facilitan la recarga de acuíferos constituyéndose en reservorios de moderada a alta productividad.

- Acuíferos sedimentarios

Compuestos en su gran mayoría por conglomerados poco consolidados y muy permeables. Estas características hidrogeológicas se presentan en los acuíferos Ocoruro, La

Merced, Madre de Dios, Río Picha, Cancao y Ucayali, aunque están muy localizadas en la región. Las formaciones Madre de Dios y Cancao y las formaciones Ucayali y Río Picha tienen un moderado a alto potencial hidrogeológico, están ubicadas cerca de la región de Madre de Dios y Ucayali donde la precipitación es elevada y favorece a la alimentación y recarga de acuíferos, aunque su reducida extensión limita el interés hidrogeológico.

- Acuíferos fisurados sedimentarios

Uno de los mejores acuíferos y de los más representativos en la región Cusco es el acuífero Kayra y Soncco que comprende areniscas arcósicas de grano medio, posee porosidad primaria y secundaria (fracturas abiertas) e interconexión entre ellas constituyendo un acuífero de gran potencial. De las fuentes de aguas subterráneas que se captan en este acuífero (6 galerías filtrantes en el valle del Huatanay y numerosos manantiales) se abastece de agua para consumo humano y riego un gran porcentaje de la región.

Otro acuífero con óptimas condiciones es el acuífero Huancané que consta de areniscas cuarzosas con buena porosidad primaria y secundaria, con espesores entre 30 y 150 m, pudiendo llegar a los 300 m, lo que concita un especial interés hidrogeológico.

Los acuíferos Vivian y Pozo conformados por areniscas cuarzosas y areniscas conglomerádicas, respectivamente, son altamente permeables y de alto interés hidrogeológico. Son acuíferos ubicados en la parte de Quillabamba y Quincemil (zona de selva). Estos, además de ser buenos acuíferos, también son reconocidos como reservorios de petróleo.

El Grupo Tarma-Copacabana aflora ampliamente en toda la región, aunque están más concentradas en la provincia de Quillabamba, consta de grandes bancos de calizas fracturadas con espesores que van desde los 300 hasta los 700 m, sus características fracturadas generan buena productividad de aguas subterráneas.

El acuífero Chambira conformados por areniscas feldespáticas rojizas con altos niveles de recarga, presentan moderadas a buenas propiedades hidrogeológicas y alto interés hidrogeológico.

El acuífero Punacancha es un acuífero local, pero de buen a alto potencial hidrogeológico compuesto por areniscas altamente fracturadas.

Un acuífero de extensión muy local es el acuífero Hualhuani compuesto por cuarcitas y areniscas cuarcíticas fracturadas, tienen muy buenas condiciones hidrogeológicas, aunque su reducida extensión hace que no sea de gran interés hidrogeológico.

Las areniscas cuarzosas del Grupo Oriente, conglomerados del Grupo Puno, areniscas cuarzosas de la Formación Cay

Cay, entre otras, le dan a la región una gran extensión en este tipo de acuíferos.

- Acuíferos fisurados kársticos

Secuencias de la Formación Arcurquina compuestas por calizas macizas y de la Formación Ayabacas compuestas por calizas bioclásticas, areniscas intercaladas con lutitas negras componen este tipo de acuíferos de gran extensión en la región, pero de productividad temporal.

- Acuíferos fisurados volcánicos

Corresponden a los materiales volcánicos con capacidad de almacenar y transmitir aguas subterráneas, principalmente a través de sus fracturas y fallas, en el área de estudio corresponde a las lavas andesíticas del Grupo Barroso, flujos lávicos andesíticos del Grupo Sillapaca, lavas andesíticas de la Formación Ichocollo, lavas afáníticas de la Formación Santo Tomás-Andahua, andesitas y andesitas porfíricas de la unidad Sañayca, dacitas fracturadas de la unidad Totora.

- Acuíferos fisurados volcánico-sedimentarios

Agrupar a secuencias principalmente de flujos andesíticos, piroclásticos (tobas y brechas) con intercalaciones de conglomerados, areniscas, conglomerados y lodolitas de los Grupos Mitu (Formación Pachatusan) y Tacaza.

4.2.2 Acuitardos

Al ser formaciones rocosas, diaclasadas y hasta con esquistosidades menores y fracturas cerradas, tienen la capacidad para almacenar agua, pero su transmisibilidad es muy lenta o de forma muy localizada. Se han diferenciado:

- Acuitardos:

Corresponden a materiales impermeables con zonas de alteración y de Gossan que son muy reducidas en la región.

- Acuitardos intrusivos

Incluye a los cuerpos intrusivos del Batolito Machupicchu, La Raya, Marcapata, San Gabán, intrusivos pérmicos, cretácicos y paleoocénicos. 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 esto es muy superficial y no se considera como acuífero.

- Acuitardos sedimentarios

Litológicamente corresponden a secuencias de arcillas intercaladas con lutitas y yesos del acuitardo Maras, lutitas lacustres, lutitas marinas y areniscas del acuitardo Puquín,

areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas, limoarcillitas del acuitardo Vilquechico.

El acuitardo San Sebastián compuesto por arcillas intercaladas con diatomitas y arenas, a una escala puntual las arenas pueden constituir buenos acuíferos, aunque en general predominan las arcillas. Las lutitas pizarrosas del acuitardo San José presentan una extensión regional.

El acuitardo Maure se presentan en los límites con Arequipa y Puno, tiene amplia extensión, aunque se encuentra localizado solo en esta zona, condiciona en algunos casos al acuífero Ocoruro. Los acuitardos Quilque y Chilca compuestos por arcillas intercaladas con lutitas, limoarcillitas y margas condicionan al acuífero Kayra.

Acuitardo Vilquechico es un acuitardo de extensión regional compuesto por limolitas calcáreas, areniscas cuarzosas, calizas y lutitas, se encuentran en mayor proporción cerca al límite con la región Puno.

Acuitardo Chonta que son pelitas con bancos de arenas, son de extensión regional y condicionan las surgencias de los acuíferos Vivian y Pozo.

La intercalación de limos, arenas y niveles orgánicos de los depósitos lacustres, los depósitos de travertino, entre otros, que en conjunto son los que más predominan en la región, condicionan las surgencias de agua subterránea.

- Acuitardos volcánicos

Agrupar a una serie de unidades piroclásticas y lávicas de la Formación Rumicolca (Shoshonitas, andesitas), del miembro tobáceo del Grupo Barroso (tobas fuertemente soldadas), del Grupo Palca (Ignimbritas intercaladas con sedimentos arenosos, limolitas, areniscas tobáceas), de la Formación Alpbamba (tobas dacíticas a riódacíticas) y el miembro Manto de la Formación Orcopampa (tobas de bloques intercalados con aglomerados).

- Acuitardos volcánico-sedimentarios

Agrupar secuencias de tobas intercalados con areniscas y limoarcillitas de la Formación Pisquicocha, así como a las secuencias volcanosedimentarias del Grupo Barroso. Los acuitardos por lo general forman la base inferior o piso de los reservorios acuíferos, condicionando la salida de manantiales.

- Acuitardos metamórficos

Corresponden a materiales de baja a nula permeabilidad, sin interés hidrogeológico de extensión regional. Algunas de estas unidades están ubicadas en la frontera con la región de Madre de Dios que son zonas de alta precipitación, aquí estas unidades

tienden a saturarse con agua subterránea y esporádicamente generan surgencias de caudales mínimos. Incluye a las cuarcitas, esquistos, brechas, pizarras del Grupo Ollantaytambo; las pizarras y esquistos intercalados con areniscas de la Formación Málaga; los esquistos, microconglomerados y pizarras de la Formación San Gabán y las cuarcitas intercaladas con esquistos del complejo Iscaybamba.

4.2.3 Acuicludos

Su característica es que retienen el agua en su interior, pero no permiten la circulación de agua subterránea.

- Acuicludos metamórficos

En la región se encuentran acuicludos metamórficos del ordovícico, compuestos por cuarcitas con intercalaciones de pizarras de la Formación Sandía y pizarras y esquistos pizarrosos de la Formación Ananea, esquistos y gneis, pizarras del Complejo Marañón, se encuentra también las cadenas de granito gneisificado del devónico-carbonífero; estos materiales retienen el agua en su interior, pero no tienen la capacidad de transmitirla, cubren un área considerable en la región Cusco.

CAPÍTULO V

ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

5.1 PENDIENTE DE LOS TERRENOS

La pendiente de los terrenos es considerada un aspecto importante utilizado en la clasificación de las unidades geomorfológicas. Es uno de los principales factores dinámicos, particularmente de los movimientos en masa; ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002). Es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa como factor condicionante.

Se puede decir que es más fácil que ocurran movimientos en masa, en laderas y cauces, porque su pendiente principal varía entre media y fuerte ($> 30^\circ$). También es más alta la erosión de laderas (laminar, surcos y cárcavas) en colinas o montañas, dada la mayor pendiente. Ello facilita el escurrimiento superficial y, por ende, la erosión hídrica o pluvial.

Algunos procesos lentos, como la reptación de suelos y ocasionales deslizamientos, ocurren con un mínimo de pendiente. Las inundaciones y erosión fluvial, además de otros factores netamente geomorfológicos y dinámicos, también ocurren en terrenos de suave pendiente.

El mapa de pendientes de la región Cusco fue elaborado utilizando las hojas fotogramétricas del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN) a escala 1:100 000, con espaciamiento de curvas de nivel cada 50 m. Aquellas fueron procesadas con el software ArcGis (Mapa 4).

Se tomaron en consideración 6 rangos o grados de pendiente de los terrenos. Estos van desde muy baja o llana, suave o de baja pendiente, moderada, fuerte, muy fuerte, y muy escarpada. Todas se describen a continuación:

Terrenos llanos ($< 1^\circ$). Comprende terrenos planos de zonas de altiplanicie o meseta sedimentaria, bofedales, diferentes niveles de terrazas aluviales, llanuras de inundación, laderas de baja pendiente de lomadas, altiplanicies sedimentarias, fondos de valles y lagunas. Ocupan el 7.81% del área total de la región. Estas áreas están sujetas a inundaciones de tipo fluvial y pluvial por anegamientos, principalmente cuando se presentan lluvias estacionales de carácter extraordinario. Los principales peligros que se pueden presentar son flujos de detritos y de lodo, generados en terrenos más elevados y que discurren

por torrenteras, cuyos materiales se movilizan y depositan al alcanzar estas zonas planas.

Dentro de esta zona se han asentado los poblados de Pilcopata, Quincemil, Quiñota, El Descanso, Pichugua, Espinar Acocunca y Héctor Tejada. Así también se tienen poblados pequeños en ambas márgenes del río Urubamba en la Provincia de La Convención (poblados de Miria, San Pablo, Shimbillo, entre otros).

Terrenos inclinados con pendiente suave ($1-5^\circ$). Son terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de las zonas de altiplanicie o meseta sedimentaria, vertiente glacio-fluviales, bofedales, las mesetas volcánico-sedimentarias, mesetas lávicas, superficies con flujo piroclástico, en ondulamientos y lomadas de baja altura. También se distribuyen en terrazas y abanicos aluviales, depósitos de piedemonte de pendiente suave que bajan desde las quebradas tributarias hacia los ríos principales, como los ríos Apurímac, Vilcanota, Araza, Pilcopata y Urubamba, que vierten sus aguas a la cuenca del río Amazonas. Ocupan el 11.74% del área total de la región.

Dentro de este rango de pendientes se encuentran asentados los poblados de Quillabamba, Ancahuasi, Zurite, Anta, Urubamba, Chinchero, Cachimayo, Calca, Pichari, Maranura, Maras, Urubamba, Písac, Taray, Cusco, Condorama, Coporaque, Langui, San Pedro, Santiago, Yanaoca, Velille, San Sebastián, Lucre, Andahuaylas, Huaru, Urcos, Ccatca, Ocongate, Quiquijana, Acos, Pomacanchis y Pitumarca.

Pendiente moderada ($5-15^\circ$). Los terrenos de pendiente moderada presentan buena distribución en la zona de montañas, complejos volcánicos, domo y volcanes monogenéticos, colinas y lomadas. También están en vertientes con depósitos de deslizamientos, vertientes aluvio-torrenciales y vertientes coluvio-deluviales. Ocupan el 24.99% del área total de la región.

Dentro de este rango de pendiente se encuentran ubicados los poblados de Kimbiri, Quellouno, Ocobamba, Echarate, Santa Teresa, Ollantaytambo, Mollepata, Limatambo, Huarucondo, Yucay, Huallabamba, Calca, Lamay, Challabamba, Paucartambo, Colquepata, San Salvador, Cusco, Wanchac, San Jerónimo, Saylla, Huancarani, Ccapi, Caicay, Acomayo, Accha, Colquemarca, Tungasuca, Livitaca, Checca y Ocoruro.

Pendiente fuerte (15-25°). Son pendientes con distribución restringida a la zona de montañas, colinas, bordes de mesetas que forman acantilados y laderas de vertientes de valles. Ocupan el 26.44% del área total de la región. En este rango de pendiente se han desarrollado los poblados de Quebrada Honda, Lucma, Machupicchu, Lares, Paucartambo, Huanquite, Ccorcca, Paccartambo, Paruro, Rondocan, Pilpinto y Llusco.

Pendiente muy fuerte (25-45°). Están distribuidas principalmente en las laderas de montañas de la Cordillera Oriental, bordes de mesetas que forman acantilados y vertientes del Urubamba: También en las vertientes de los valles de los ríos Vilcanota, Apurímac, Santo Tomás y Velille en la Cordillera Occidental. Ocupan el 28.46% del área total de la región. Dentro de este rango de pendiente se encuentran ubicados los poblados de Omacha y Marcapata.

Pendiente muy escarpados (> 45°). Presentan una distribución muy reducida a lo largo de cumbres de montañas y montañas con cobertura glaciar, laderas y vertientes de valles encañonados (sector de Suykutambo), como en el valle del río Salcca en el distrito de Combapata y las laderas de la cuenca alta del río Araza. Ocupan tan solo el 0.56% del área total de la región.

5.2 GEOMORFOLOGÍA Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Etimológicamente, la palabra geomorfología viene de las raíces griegas *geos* ('tierra'), *morphe* ('forma') y *logos* ('tratado'), es decir, es el estudio de las formas de la superficie terrestre (Villota, 2005). Muchos autores se han ocupado de definir geomorfología, entre ellos Viers (1973), Derruau (1966), Strahler (1974), Holmes (1971), Thornbury (1960), Soeters (1976), Van Zuidam (1973), Verstappen (1983) y Bloom (1973). La mayoría manifiesta como objetivos principales de la geomorfología la descripción de las formas del terreno, la explicación de su génesis, es decir, de su evolución a través del tiempo geológico; la definición de la naturaleza y distribución de los materiales que constituyen las geoformas; la clasificación de los paisajes, principalmente con base en su morfología, origen, edad y composición; y, finalmente, la explicación y descripción de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores.

La geomorfología actual es el resultado de la necesidad de contar con una cartografía geológica de superficie, útil y necesaria en investigaciones relativas a las ciencias de la Tierra y con muchas de las actividades humanas. El reciente interés por la geomorfología es una derivación específica de esa necesidad y utilidad, pues, como consecuencia de la expansión demográfica, entran en consideración todos aquellos problemas relacionados con la geología superficial: la agricultura, riego, erosión, obras públicas, urbanismo, medio ambiente, riesgos naturales, etc. (Martín-Serrano et al., 2004).

La creciente sensibilización y preocupación social por problemas muy relacionados con la geomorfología, como el ordenamiento y planificación territorial que respeta el medio físico, los riesgos geodinámicos, el cambio climático, la desertificación o la pérdida de fertilidad de los suelos necesita nuevas cartografías que faciliten su estudio y resolución o mitigación de estos problemas ambientales.

Para realizar una adecuada interpretación de la geomorfología es necesario conocer el tipo de clima presente en una zona, así como el que se presentó en el pasado. Esto es interpretado a partir de las formas que dejaron en el relieve. Las formas del relieve son el resultado de la interacción de fuerzas de desplazamiento (gravedad terrestre), agentes y procesos endógenos (orogénesis, sismicidad y volcanismo) y exógenos (movimientos en masa). Todos estos factores controlan el modelado del relieve.

La cartografía geomorfológica proporciona una información organizada y precisa de las formas del terreno y de los procesos geodinámicos relacionados con ella.

El mapa geomorfológico desarrolla una cartografía donde se representa la superficie terrestre. También presenta información litológica (definidas como el grupo de formaciones superficiales y las referidas al substrato rocoso).

Las formas de acumulación o formas superficiales se refieren a unidades litoestratigráficas correspondientes a los de origen variado que recubren el substrato geológico. Muchas de estas no están definidas en la cartografía geológica tomada como base para la elaboración del mapa geomorfológico. Todo tiene relación directa con el relieve actual o con su evolución. Estos materiales son no coherentes, poco o nada consolidados, de poco espesor y de edad reciente. Todas las formaciones superficiales se definen con parámetros que refieren su geometría, textura, consolidación, espesor, génesis y cronología.

La información litológica de las unidades del substrato rocoso que se muestra en los mapas geomorfológicos representan los grandes dominios geológicos o morfoestructurales y, sobre todo, las principales asociaciones litológicas, obtenidas por simplificación o reagrupamiento de las unidades geológicas con características litológicas comunes (Martín-Serrano et al., 2004). Cada una de las nuevas unidades litológicas creadas corresponde a una misma litología.

Los grupos o asociaciones litológicas fundamentales y los dominios geológicos, que se consideran en el mapa geomorfológico son las siguientes:

- Asociaciones litológicas:
- Rocas plutónicas (ácidas y básicas)
- Rocas volcánicas (masivas, piroclastos)

- Rocas volcano-sedimentarias.
- Rocas metamórficas (gneis, filitas, pizarras, cuarcitas y esquistos).
- Rocas sedimentarias (conglomerados, areniscas, lutitas, limolitas, calizas, margas).
- Los dominios geológicos o morfoestructurales (León et al., 2000). El territorio peruano se extiende desde la línea de la costa hasta la llanura amazónica. La Cordillera de los Andes atraviesa el Perú con un rumbo noroeste-sureste y configura montañas seccionadas en franjas paralelas y cortadas por profundos valles longitudinales y por estrechos cañones transversales que desaguan hacia la vertiente occidental (cuenca del océano Pacífico) y oriental (cuenca del río Amazonas). La dirección del sistema montañoso andino es interrumpida por las deflexiones de Abancay al sur y de Huancabamba al norte. Desde el punto de vista geográfico y morfoestructural, la Cordillera de los Andes ha sido modelada por la erosión de grandes ríos y ha formado las cadenas montañosas separadas por valles longitudinales, individualmente denominadas Cordillera de la Costa, Llanura Preandina, Cordillera Occidental, valles interandinos, Cordillera Oriental, cuenca del Titicaca, la faja Subandina, la Llanura Amazónica y la franja de Conos Volcánicos.

La región Cusco se encuentra dentro de los siguientes dominios morfoestructurales:

- Cordillera Occidental. Conforman las elevaciones más altas del sistema andino. Su pico más alto es el nevado Huascarán (región Áncash), con una altitud de 6768 m s. n. m. La línea de cumbres sigue una dirección paralela al litoral Pacífico y es la divisoria continental de las aguas. Se encuentra separada de la Cordillera Oriental por los valles interandinos longitudinales del Marañón, Mantaro y Vilcanota, y la depresión del Titicaca. Además, se relaciona al fallamiento longitudinal Andino. En el sur del Perú, ambas cordilleras se juntan formando una altiplanicie a los 4200 m s. n. m. Sobre ella se levantan los alineamientos de conos volcánicos. Litológicamente, está constituida por sedimentos del mesozoico sobre un basamento Paleozoico, la prolongación oriental de Batolito de la Costa, el Batolito de la Cordillera Blanca y por secuencias volcano-sedimentarias y volcánicas del Cenozoico.
- Valles interandinos. Son valles longitudinales profundos, representados por los ríos Marañón, Mantaro, Apurímac y Vilcanota, que siguen una dirección de sureste a noroeste entre las cordilleras Occidental y Oriental. Todas desembocan en la cuenca amazónica. Estos valles están controlados por fallas longitudinales que involucran al basamento cristalino del Proterozoico.

- Cordillera Oriental. Es una cadena de montañas que presenta una topografía abrupta hacia el este, donde los valles exhiben flancos escarpados y estrechos, y los cauces descienden con fuertes pendientes y bruscas caídas hacia los grandes ríos de la Llanura Amazónica. Las rocas son mayormente pelitas paleozoicas con un epi-metamorfismo regional. Han sido intruidas por plutones cuya edad llega hasta el Permo-Triásico y han originado una aureola de metamorfismo termal.
- Faja Subandina. Se ubica entre la Cordillera Oriental y la Llanura Amazónica, a manera de una estrecha cadena de cerros y colinas. Sus elevaciones van de 400 m s. n. m. a 1000 m s. n. m. Se constituyen así las estribaciones orientales de los Andes. Los afloramientos rocosos son, mayormente, sedimentos cretáceos y capas rojas cenozoicas, las cuales han sido afectadas por sobreescurrecimientos de grandes magnitudes entre el Mioceno y el Pleistoceno.
- Llanura Amazónica. Presenta un clima cálido y húmedo. Conforman una extensa planicie de amplio desarrollo. Está cubierta por una densa vegetación y surcada por grandes ríos de cursos de forma meándrica. La llanura se caracteriza por estar formada de una cobertura con sedimentos aluviales cuaternarios, extendidos a manera de una extensa sabana, que cubre a las capas rojas suavemente plegadas y falladas. Todo ello caracteriza el estilo estructural de bloques compresivos.

En un mapa geomorfológico, las unidades elementales que contiene se organizan en agrupaciones genéticas; es decir, se establece a partir de su génesis principal (Martín-Serrano et al., 2004). Estas agrupaciones genéticas son las siguientes:

De origen endógeno (erosivas): son los relieves iniciales que constituyen las formas estructurales elementales.

- Estructurales propiamente dichas (geoformas de carácter tectónico-degradacional y denudacional-erosional). Son formas relacionadas directamente con la arquitectura geológica, la tectónica y la litología del substrato. Son consecuencia directa de la actividad endógena o derivada del efecto de la erosión diferencial.
- Volcánicas (geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional): formas construidas a partir de la actividad volcánica y de los productos que ella genera.

De origen exógeno (acumulación) (geoformas de carácter depositacional o de agradación): Se relaciona con los procesos y agentes denudativos. Estos pueden ser de los siguientes tipos:

- Gravitacionales. Relativas al modelado de las vertientes en los interfluvios.
- Fluviales y de escorrentía superficial. Contemplan todas las formas originadas por escorrentía superficial o subsuperficial canalizada. Incluye toda la red de drenaje.

- Glaciares y periglaciares. Están limitados a las altas cumbres montañosas.
- Eólicas. Están localizadas principalmente en la franja litoral. Pueden encontrarse también en el interior de un espacio geográfico, al estar ligadas a terrazas de ríos principales y a planicies aluviales sedimentarias levantadas estructuralmente.
- Lacustres. Se refiere a formas derivadas de la actividad lagunar y/o endorreica.
- Litorales. Se refiere a las formas desarrolladas por la acción marina sobre la franja emergida de la línea de costa.
- Meteorización química. Es el resultado del proceso de disolución en rocas carbonatadas, yesos y sales.
- Otras formas, poligénicas. Aquí se agrupan las formas de génesis dudosa o mixta, o también las que resultan de varios procesos superpuestos.
- Antrópica: formas derivadas de la interacción de las actividades del hombre con el relieve.

Para la elaboración del mapa geomorfológico de la región Cusco, se utilizó la información litológica de la Carta Geológica Nacional (INGEMMET). Ahí se han tenido en cuenta los límites de las unidades geológicas (substrato rocoso–depósitos superficiales), fotografías aéreas, imágenes satelitales de alta resolución disponibles en la plataforma Google Earth y datos geomorfológicos recopilados en campo. Con la información topográfica se elaboró el modelo digital del terreno (MDT) a partir del cual se obtuvo el mapa de pendientes del terreno (Mapa 4).

Se describen, a continuación, las unidades geomorfológicas agrupadas según su origen. Además, se detallan su ubicación y distribución geográfica (mapa 5) y se acompaña de algunas fotografías ilustrativas de geoformas características:

5.2.1 Geoformas de carácter tectónico-degradacional y denudacional-erosional

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

Geoformas de cadenas montañosas y colinadas. Se tiene dentro de este grupo a las geoformas de cadenas montañosas que conforman relieves montañoso estructural-erosional y relieves montañosos glacio-estructural; relieves volcano-glaciario y volcáno-erosional; y relieves modelados por procesos denudacionales (por acción fluvio-erosional; glaciar y glacio-fluvial; y disolución); se encuentran conformando también altiplanicies, colinas, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades geomorfológicas:

Unidad de montañas

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas con alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, se reconocen como cimas o cumbres agudas, subagudas, semiredondeada, redondeada o tubular 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 una pendiente promedio superior al 30% (Villota, 2005, p. 63).

En el contexto general se encuentran conformadas por alineamientos alargados, constituidos por rocas de tipos metamórficas, intrusivas, volcánicas, volcánico-sedimentarias y sedimentarias, afectadas por procesos de meteorización superficial en diferente grado. La unidad de montañas presenta la mayor distribución en la región Cusco, que abarca el 63.02 % de su área total. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

Montañas en rocas intrusivas (RM-ri). Las masas de rocas ígneas solidificadas en profundidad a partir de intrusiones de magma se disponen como diques, sill, lacolitos, stocks y batolitos; estos son expuestos por la remoción de las rocas suprayacentes, y son afectados por procesos denudativos como los fluvio-erosionales, que esculpen los paisajes montañosos. La red de drenaje está densamente ramificada con disposición dendrítica típica a dendrítica paralela en rocas ígneas félsicas (granito, cuarzo diorita, granodiorita y tonalita); y un patrón de drenaje paralelo a subparalelo de densidad media en rocas intermedias (monzonitas y dioritas).

Esta subunidad está conformada por montañas con laderas y crestas de topografía abrupta, en las Cordilleras Occidental y Oriental de los Andes, con elevaciones que alcanzan los 6100 m s. n. m. en la Cordillera Oriental (Nevado Alcamarinayoc) y los 4600 m s. n. m. en la Cordillera Occidental (Fotografía 5.1). Los cuerpos ígneos intrusivos que afloran en la región Cusco se disponen como stocks y batolitos, de formas irregulares, alargadas a subredondeadas, que siguen una dirección sureste-noroeste en la Cordillera Oriental, dirección que es cambiada hacia el oeste en la deflexión Abancay. En el extremo sur de la región (Cordillera Occidental), los cuerpos ígneos presentan formas irregulares y tienen una dirección preferente norte-sur. Se encuentran constituidos por rocas intrusivas de composición intermedia a ácida tipo granitos, monzogranitos, granodiorita, tonalitas y dioritas. Estos se meteorizan y forman suelos arenosos y arcillosos.

Esta unidad es disectada por ríos y quebradas que se abren camino hacia la amazonía y esculpen vertientes de topografía bastante abrupta con pendientes muy fuertes a escarpadas (25-45°).

Geodinámicamente, se asocian a procesos de erosión de laderas, caída de rocas, derrumbes, flujo de detritos y deslizamientos.

Montañas en rocas metamórficas (RM-rm). Corresponde a las cadenas montañosas en donde procesos denudativos (fluvio-erosionales, glaciar y glacio-fluvial) afectaron rocas metamórficas, estas montañas son antiguas y se hallan expuestas en el lado central de la región Cusco (provincias de La Convención, Anta, Urubamba, Calca, Paucartambo y Quispicanchi), abarcando el 21.24% de su superficie total, con altitudes que pueden alcanzar los 4 950 m s. n. m. (Cerro Padre Orjo, en el distrito de Marcapata). Litológicamente corresponden a rocas metamórficas del Complejo Iscaybamba, los grupos Sandia y San José (Fotografía 5.2).

Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas, de cumbres redondeadas a agudas que fueron afectadas por actividad glaciar, formando valles glaciares. El patrón de drenaje es paralelo a subdendrítico, con valles profundos en forma de V, sus laderas varían en pendiente desde fuerte (15°) a muy escarpado (>45°). Geodinámicamente, están asociadas a grandes deslizamientos, flujos de detritos y derrumbes.

Montañas en rocas sedimentarias (RM-rs). Dentro de esta subunidad geomorfológica se encuentran las elevaciones de terreno que hacen parte de las cordilleras. Han sido levantadas por la actividad tectónica y su morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía, los glaciares y el agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. En estas montañas el plegamiento de las rocas superficiales no conserva rasgos reconocibles de las estructuras originales, sin embargo, estas pueden presentar localmente laderas controladas por la estratificación de rocas sedimentarias, sin que lleguen a constituir cadenas montañosas.

La región Cusco corresponde a montañas modeladas en afloramientos de rocas sedimentarias de tipo calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas del Paleozoico, Triásico, Jurásico y Cretáceo (formaciones Chonta, Arcurquina, Puente, Maras, los Grupos Copacabana y Tarma), areniscas, lutitas y limoarcillitas del Devónico, Jurásico y Cretáceo (formaciones Ananea, Murco, Cachíos, Calapuja, Labra, Yahuarango, Ipururo, Chambira, y los Grupos Cabanillas y Ambo), lodolitas, limolitas y limoarcillitas de Creáceo (formaciones Vilquechico y Auzangate), conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas del Jurásico, Cretáceo, Paleógeno, Neógeno (Formaciones Cancao, Huancané, Anchiuay, Chincheros, Verónica, La Merced, Quilque, Muni, Písac, Casa Blanca; y los grupos Puno, Huayabamba, Moho, Maure), areniscas del Cretáceo (Serie arenosa del Grupo Oriente, las formaciones Vivian, Málaga y Caycai), calizas masivas del Jurásico (Formación Gramadal) y areniscas, limoarcillitas y calizas del Paleozoico y Cretáceo (formaciones Río Tambo, Vilquechico, Ayavacas y Maras).

Ocupan el 13.82 % de la superficie total, con distribución en toda la región, pero con mayor concentración en la zona sur-central (Fotografía 5.3)

En unidades sedimentarias blandas, como lutitas, limolitas, lodolitas y arcillitas, presentan una baja resistencia a la meteorización y a la erosión pluvio-fluvial. Las montañas se presentan fuertemente ramificadas con diferente elevación (pueden alcanzar altitudes de 6049 m s. n. m. en el Nevado Montura, en el límite entre los distritos de Pitumarca y Marcapata, en el Cordillera Oriental y por encima de los 4615 m s. n. m. en el cerro Condor Senja de las montañas de la Cordillera Occidental, en el distrito de Pomacanchi) y presentan laderas con pendientes moderadas a muy abruptas en las vertientes de valles. La red de drenaje es subdendrítica a subparalela. Con frecuencia se destacan numerosos rellanos y superficies aterrazadas determinadas por deslizamientos de grandes dimensiones. También se producen en sus laderas avalanchas de rocas, derrumbes y flujos de detritos.

Montañas en rocas volcánicas (RM-rv). Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de rocas volcánicas de tipo piroclásticas, correspondientes a los Grupos Tacaza, Barroso, Sillapaca, las formaciones Quenamari y Alpabamba, los complejos volcánicos Vilcarani y Jeñuma Pirhua, rocas piroclásticas y lavas, que corresponden al Grupo Barroso y la formación Palca. Continúan la lista secuencias de lava andesítica-dacítica de los grupos Tacaza, Barroso, Mitu, y la Formación Santo Tomás, y andesitas basálticas (Formación Rumicolca), que fueron depositadas por la actividad volcánica explosiva y efusiva que se produjo entre el Paleógeno y Neógeno. Estos depósitos fueron afectados por procesos fluvio-erosionales, glaciares y glacio-fluviales, los cuales modelaron los paisajes actuales. Además, presentan elevaciones que pueden superar los 5400 m s. n. m., como el cerro Jatun Huaychahui al sur de la región, que sirve de límite con Arequipa, en el distrito de Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas.

Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas en las cimas de montañas, rellanos de laderas y altiplanicies pequeñas, pendientes abruptas en los valles. La red de drenaje es subdendrítica a subparalela. Ocupa el 4.93 % de la superficie de la región y se distribuye a lo largo de la Cordillera Occidental en el extremo suroeste del Cusco.

Geodinámicamente, está asociada a la ocurrencia de flujos de detritos, deslizamientos, avalancha de rocas y nieve, derrumbes y caída de rocas desde las cumbres y acantilados modelados por actividad glaciar.

Montañas en rocas volcánico-sedimentarias (RM-rvs). Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de asociaciones de rocas volcánico-sedimentarias, rocas piroclásticas y lavas dacíticas y andesíticas intercaladas con arenisca, lutitas y conglomerados (Formación Orcopampa) y rocas piroclásticas, lavas andesíticas y lahares, intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados (grupos Mitu y Tacaza). Estas secuencias también presentan huellas de los efectos de procesos fluvio-erosionales, glaciares y glacio-fluviales. Además, se observa una intensa erosión glacial con valles de sección transversal en forma de "U", valles colgados, circos glaciares relacionados a morrenas. Las montañas presentan laderas que alcanzan pendientes moderadas a muy fuertes. Se distribuyen, principalmente, en la zona central y sur de la región Cusco. Ocupan el 2.39% de la superficie total de la región (Fotografía 5.4).

Geodinámicamente está asociada a la ocurrencia procesos de erosión de laderas, flujos de detritos, mega deslizamientos, movimientos complejos, derrumbes y caída de rocas.

Montaña estructural en rocas sedimentarias (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.

Su asociación litológica es principalmente sedimentaria; estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con el buzamiento de las capas de roca que controlan la pendiente de las laderas; en conjunto conforma un relieve de crestas paralelas separadas por depresiones igualmente paralelas, que se prolongan linealmente siguiendo un rumbo rectilíneo, sinuoso o en zigzag, prácticamente sin ramificaciones laterales (Figura 5.1 y Fotografía 5.5). Se encuentran conformando anticlinales, sinclinales, cuestras y espinazos que le dan una característica particular en las imágenes satelitales; en la región Cusco se presenta un alineamiento de dirección sureste-noroeste en el extremo sur; y con una dirección este-oeste que después cambia hacia el norte en el extremo norte de la región (provincia de La Convención). Estas ocupan el 10.32% de la superficie de la región, sus laderas varían en pendiente desde moderada (5-15°) a muy escarpados (> 45°).

Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas, derrumbes y deslizamientos. Dependiendo del buzamiento de los estratos se pueden presentar derrumbes por falla planar y deslizamientos traslacionales cuando las capas buzanan hacia la pendiente de la ladera y caída de rocas por vuelco cuando buzanan en sentido contrario a la pendiente con buzamientos de fuerte ángulo.

Montaña estructural en rocas volcánico-sedimentarias (RME-rvs). Esta subunidad también está conformada por elevaciones montañosas derivadas del plegamiento de las rocas de naturaleza volcánico-sedimentaria, que todavía conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas por procesos denudacionales fluvio-erosionales y glaciares. Estructuralmente también presentan alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con el buzamiento de las capas de roca que controlan la pendiente de las laderas; en conjunto conforma un relieve de crestas paralelas separadas por depresiones igualmente paralelas, que se prolongan linealmente siguiendo un rumbo rectilíneo, sinuoso o en zigzag, prácticamente sin ramificaciones laterales (Figura 5.2). Se encuentran conformando anticlinales, sinclinales, cuestras y espinazos que le dan una característica particular en las imágenes satelitales; en la región Cusco presentan un alineamiento de dirección sureste-noroeste, en el cerro Coyllorjasa, cerca del poblado de Sumaro en el distrito de Chinchaypujio, constituido por secuencias volcánico-sedimentarias del Grupo Tacaza; ocupa el 0.01% de la superficie de la región, sus laderas varían en pendiente desde moderada (5-15°) a muy fuerte (45°).

Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas, derrumbes y deslizamientos. Dependiendo del buzamiento de los estratos se pueden presentar derrumbes por falla planar y deslizamientos traslacionales cuando las capas buzanan hacia la pendiente de la ladera y caída de rocas por vuelco cuando las capas buzanan en sentido contrario a la pendiente con buzamientos de fuerte ángulo.

Montaña estructural en roca metamórfica (RME-rm). Esta subunidad conserva su naturaleza estructural, en caso de rocas antiguas metamórficas que fueron resistentes a los procesos erosivos. Al igual que los casos anteriores, todavía conservan rasgos reconocibles de sus estructuras originales. Se reconoció esta subunidad en el noroeste de la región (distritos de Kimbiri y Echarate), correspondiente a unas cuarcitas, metarenitas y pizarras del Grupo Sandia (Figura 5.3). Aquí la secuencia metamórfica fue levantada por una falla inversa. En la ladera es posible distinguir las facetas triangulares dejadas por la falla.

Montaña con cobertura glaciar (RM-cgl). Se refiere, principalmente, a cumbres montañosas que presentan una cobertura glaciar permanente durante todas las estaciones del año, ubicadas a altitudes superiores a los 5000 m s. n. m. Tiene también una intensa actividad glaciar en los frentes glaciares o zonas de avance y retroceso del glaciar, donde se acumula material de morrena y se forman lagunas. En las zonas que fueron afectadas por el retroceso glaciar paulatino, es posible apreciar el substrato rocoso estriado y la acumulación de bloques. Esto es evidenciado al comparar fotos aéreas antiguas (1962-1963) e imágenes satelitales recientes.

Esta subunidad fue identificada, principalmente, a lo largo de la Cordillera Oriental. Resaltan los nevados Huamantay (5459 m s. n. m.), Salcantay (6264 m s. n. m.), Huayanay (5362 m s. n. m.), Bonanta (5310 m s. n. m.), Verónica (5682 m s. n. m.) (Fotografía 5.6), Auzangate (6372 m s. n. m.) y Joyllor Puñuna (5743 m s. n. m.) (que forma parte del glaciar Quelccaya).

Unidad de colinas y lomadas

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección. Conforman alineamientos tipo serranías de carácter denudativo y volcánico. Pueden constituir superficies colinosas, alomadas, onduladas o lomeríos, en general, de amplia extensión y resultantes de la degradación prolongada e intensiva de anteriores piedemontes y altiplanicies, o resultantes del casi aplanamiento por la denudación extrema de una antigua cordillera. Estas geoformas presentan menor altura que una montaña (menos de 300 m 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. Su 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% (Villota, 2005, p. 64).

Estas subunidades se ubican dentro o en los bordes de la unidad de montañas, en la zona de altiplanicies y conforman las vertientes de ríos. Se les tiene distribuidas en toda la región, con mayores exposiciones en la Cordillera Occidental y la Llanura Amazónica, con menor presencia en la Cordillera Oriental. En conjunto representan el 14.78 % de la superficie total del Cusco. Dentro de esta unidad existen subunidades, cuyas descripciones ofrecen información referida al tipo de roca asociado y su ubicación a grandes rasgos:

Colina en roca intrusiva (RC-ri). Corresponde a elevaciones de terreno, donde las cimas son estrechas y agudas, con pendientes suaves a moderadas (5-15°) en sus laderas. Están conformadas por los intrusivos de tipo granítico de las unidades Hatun Chico, Ciriolo Consevidayoc; dioritas, granodioritas y tonalitas de la Unidad Cotabambas del Plutón Cotabamba, Unidad La Raya, Plutón Colquemarca (Fotografía 5.7) y Plutón Charamuray; monzonitas de la Unidad Pomacanchis. También se consideraron cuerpos hipabisales en esta subunidad.

Se tienen exposiciones reducidas de esta subunidad en las provincias de La Convención, Paucartambo, Anta, Cusco, Chumbivilcas, Espinar, Canas y Canchis. Representan tan solo el 0.62 % del área total de la región.

Colina en roca metamórfica (RC-rm). Está conformada por rocas metamórficas del Grupo San José, la Formación Sandía y el Complejo Iscaybamba. Se le identifica en la Cordillera Oriental

y la Faja Subandina, en las provincias de La Convención, Paucartambo y Quispicanchi. Esta subunidad representa el 0.1 % del área total del Cusco.

Colina en roca sedimentaria (RC-rs). Se encuentra conformada por secuencias sedimentarias de las formaciones Ipururo, Río Picha, Yahuarango, Chambira, Tarma, Copacabana, Chonta, Vivian, Cancao, Ananea, San Sebastián y los grupos Cabanillas, Ambo y Oriente, en la llanura amazónica. En la Cordillera Oriental se tiene a las formaciones Chincheros, Maras, Paucarbamba, Vilquechico, San Sebastián, Muñani, Soncco, Huancane y Muni; y en la Cordillera Occidental se componen de las secuencias sedimentarias de las formaciones Arcurquina, Murco y Huancané. Esta subunidad representa el 1.44% del área total del Cusco (Fotografía 5.8).

Colina en roca Volcánica (RC-rv). Localizado principalmente a lo largo de la Cordillera Occidental en el lado sur de la región, se encuentra conformado por secuencias volcánicas lávicas y pirocláticas del Volcánico Quecha Grande, las formaciones Alpabamba, Palca y los grupos Barroso y Sillapaca. Esta subunidad abarca el 0.39% del área del Cusco.

Colina en roca volcánico-sedimentaria (RC-rvs). Presenta una reducida exposición en las provincias sureñas del Cusco. Se conforma de secuencias volcánico-sedimentarias de las formaciones Anta, Alpabamba, Orcopampa y los grupos Mitu y Puno. Representan el 1.52% del área total del Cusco.

Colina estructural en roca sedimentaria (RCE-rs). Sus mayores exposiciones se localizan en la Faja Subandina y la Llanura Amazónica. Está conformada, principalmente, por rocas de las formaciones Ipururo, Chambira, Yahuarango y Río Picha. En las Cordilleras Oriental y Occidental en el sur del Cusco, la subunidad presenta reducidas exposiciones formadas por secuencias sedimentarias en Arcurquina, Auzangate, Huancané, Casa Blanca, y el Grupo Maure (Figura 5.4). Abarca el 4.3% del área total del Cusco.

Colina estructural en roca volcánico-sedimentaria (RCE-rvs). Se identificó una sola manifestación de esta subunidad que sigue una dirección sureste-noroeste, en las provincias de Espinar y Canas. Se encuentra conformada por una secuencia volcánico-sedimentaria del Grupo Tacaza. Abarca el 0.1% del área total del Cusco.

Colinas y lomadas en rocas intrusivas (RCL-ri). Es una subunidad que tiene como característica principal la asociación de geoformas de lomas y colinas. No fue posible individualizarlas por la escala de trabajo adoptada. Así que es posible observar elevaciones alargadas con cimas agudas y pendientes medias



Fotografía 5.1 Montañas modeladas en granitos y granodioritas (cerros Condorsenja y Mesapelada). Vista hacia el norte por encima del poblado de Huyro, en el distrito de Huayopata.



Fotografía 5.2 Laderas de montañas modeladas en pizarras, esquistos y cuarcitas del Grupo San José. Vista aguas arriba de la cuenca de la quebrada Garabito.



Fotografía 5.3 Montañas modeladas en rocas sedimentarias (Grupo Cabanillas), denominado cerro Conchayoc, ubicado frente al poblado de Palmareal, margen izquierda del río Urubamba.



Fotografía 5.4 Montañas modeladas en rocas del Grupo Mitu, sector quebrada Pucamarca, frente al poblado de Lamay.

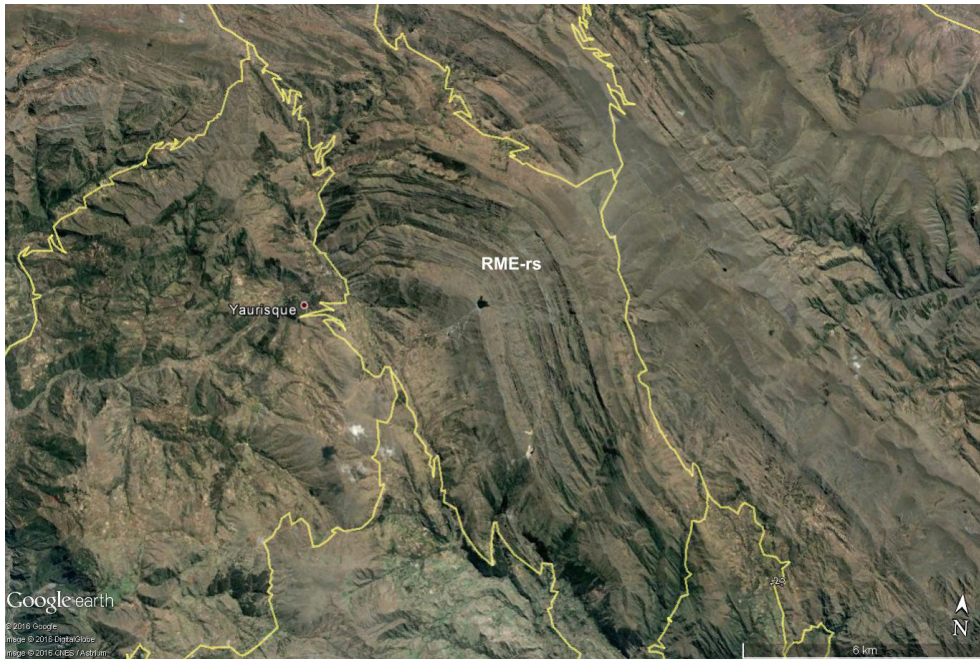


Figura 5.1 Montañas estructurales en roca sedimentaria (RME-rs) al este de Yaurisque, conformadas por secuencias sedimentarias de las Formaciones Soncco, Kayra, Chilca, Quilque y Puquín.



Fotografía 5.5 Montañas estructurales sedimentarias ubicadas al este de Yaurisque (cerro Mashca). Es posible observar los alineamientos que forman los estratos en la ladera.

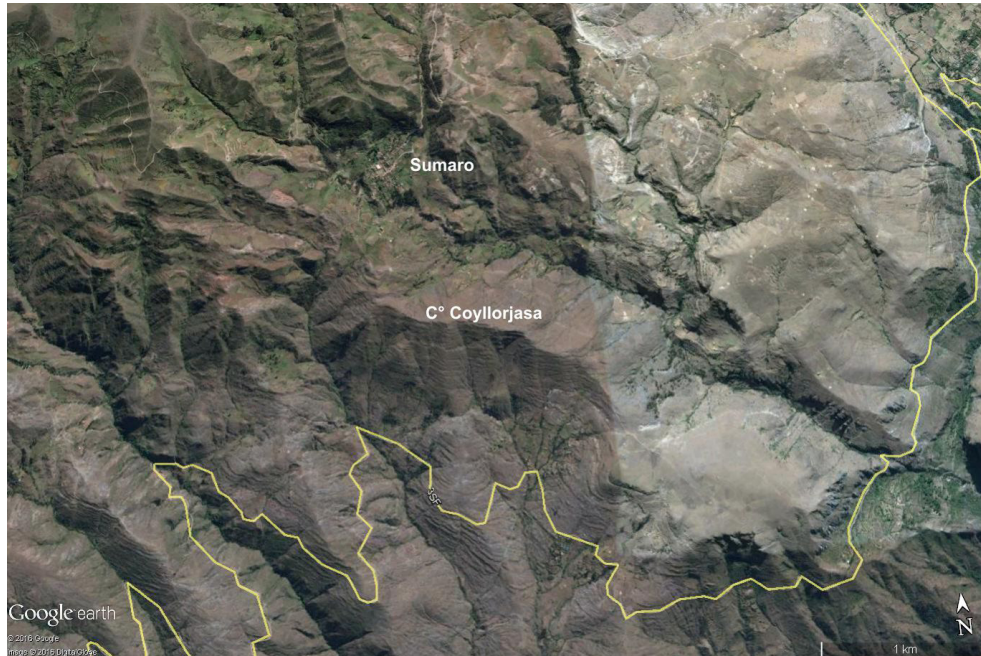


Figura 5.2 Alineamientos de secuencias volcano-sedimentarias en el sector de Sumaro, distrito de Chinchaypujio (Google Earth).

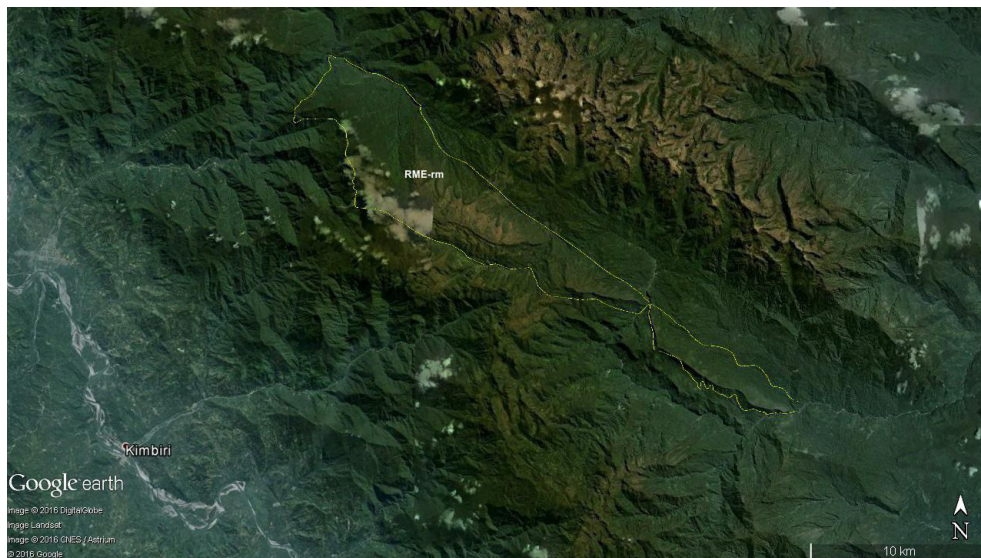


Figura 5.3 Montañas estructurales (línea amarilla). Facetas triangulares generadas por la presencia de una falla inversa, distritos de Kimbiri y Echarate.



Fotografía 5.6 Nevado Verónica mostrando su cobertura glaciar. Vista hacia el suroeste desde el Abra Málaga.



Fotografía 5.7 Colinas intrusivas (Plutón Colquamarca) hacia ambas márgenes del río Chillorolla, entre los distritos de Chamaca y Velille, provincia Chumbivilcas.



Fotografía 5.8 Colinas sedimentarias de baja altura en los alrededores de Sangarará.

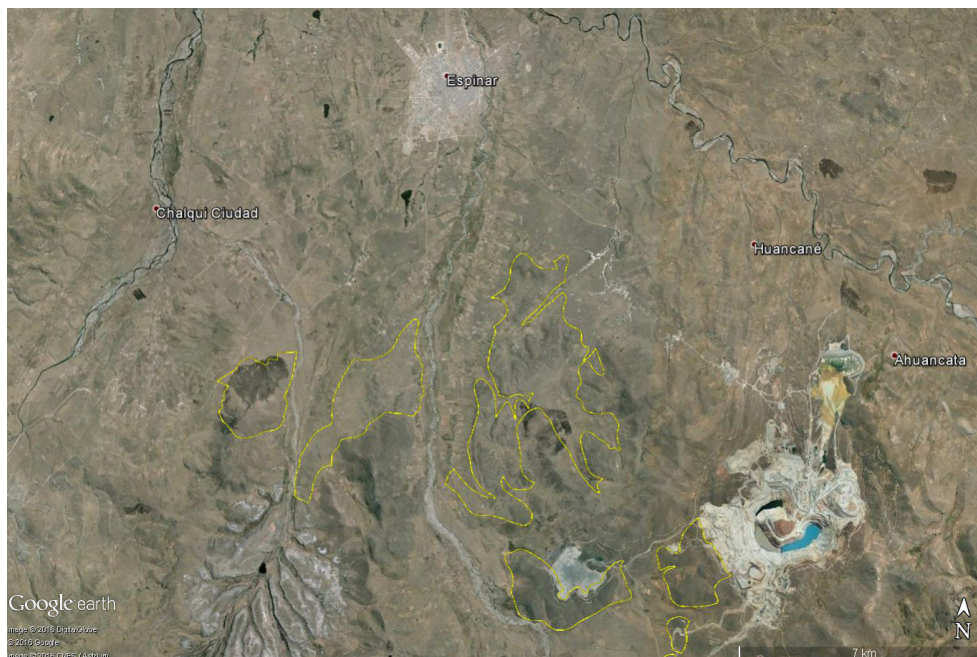


Figura 5.4 Colinas estructurales modeladas en rocas de la formación Huancane y el Grupo Maure, delimitadas por la línea amarilla; al sur de Espinar.

a fuertes muy cerca de elevaciones con laderas de pendiente tendida y cimas redondeadas. Se encuentran compuestas por intrusiones ígneas de tipo tonalítico pertenecientes al Plutón Colquemarca. Se ubican en las provincias de Chumbivilcas y Paruro, y abarcan el 0.6% del área total de la región.

Colinas y lomadas en roca sedimentaria (RCL-rs). Las lomas y colinas aparecen asociadas, constituidas por secuencias sedimentarias de las formaciones San Sebastián, Maras, Chincheros y Auzangate en las provincias de Urubamba y Anta (Fotografía 5.9), así como las formaciones Casa Blanca, Arcuquina, Ocoruro y el Grupo Maure en las provincias de Espinar y Canas. Esta subunidad representa el 1.61% de la superficie total del Cusco.

Colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs). Esta subunidad consta de asociaciones de colinas y lomadas que han sufrido una intensa denudación y se encuentran con un alto grado de disección producido por quebradas, que configuran un drenaje subparalelo. Fue diferenciada en la zona norte del Cusco, en la provincia de La Convención, haciendo parte de la Llanura Amazónica, constituida por secuencias sedimentarias de las formaciones Ipururo, Río Picha y Chambira. También es reconocida en el lado central-este de la región en el distrito de Camanti formando parte de la Faja Subandina. Se constituye de depósitos aluviales que se encuentran algo consolidados. Abarca el 3.44% de la superficie total del Cusco.

Colina y lomada en roca volcano-sedimentario (RCL-rvs). Esta subunidad está ubicada al sur del Cusco, en el distrito de

Coporaque, provincia de Espinar. Se encuentra conformada por secuencias volcánico-sedimentarias del Grupo Tacaza. Abarca el 0.02% de la superficie total de la región.

Lomada en roca intrusiva (RL-ri). Esta subunidad presenta geofomas de lomadas, con alturas menores a 300 m, con respecto a su nivel de base local, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8 y 16%. Se identificó esta subunidad en el distrito de Coporaque, provincia de Espinar. Se encuentra conformada por dioritas y granodioritas de la Unidad Choquechambe. Abarca el 0.003% de la superficie de la región.

Lomadas en roca sedimentarias (RL-rs). Esta subunidad se localiza al sur de la región Cusco, en la provincia de Espinar. Se encuentra configurando un paisaje plano-ondulado modelado en rocas sedimentarias de la Formación Ocoruro y los grupos Maure y Puno. Abarca el 1.94 % de la superficie total de la cuenca.

Lomada en roca volcánica (RL-rv). Se localiza en el lado sur de la región Cusco en la provincia de Espinar y, en menor proporción, en la provincia de Canas. Además, se encuentra formando secuencias volcánicas de los Grupos Maure y Barroso. Abarca el 0.07% del área de la región.

Unidades volcánicas

En esta unidad se agrupan 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 conjunto ocupan el 0.64% del área total del Cusco.

Coladas o campos de lava basalto-andesítica (Ca-la). Esta subunidad configura paisajes que tienen forma, por lo común, de lenguas alargadas, de relativa estrechez y delgadas, con varios lóbulos frontales empinados (frentes de lava). Su altura está en función de la viscosidad y volumen de la lava.

Constituyen los últimos episodios de actividad volcánica andina Neógeno-Cuaternario, de origen fisural principalmente. Se exponen en el lado sur de la región y forman parte de la Cordillera Occidental y el valle interandino del río Vilcanota. Cubre relieves preexistentes y rellena valles fluviales y fluvio-glaciares. En conjunto representa el 0.12% de la superficie total de la región.

Este tipo de subunidad ha sido identificada en los valles de los ríos Vilcanota y Huatanay, formada por el enfriamiento lavas de composición andesítica, dacítica, traquítica y shoshonítica, originadas en el Neógeno. Estas coladas son las responsables del cierre del valle del río Huatanay que drenaba y confluía en el Vilcanota con una dirección noroeste-sureste. Este cierre obligó al río Huatanay a buscar una nueva zona de confluencia, esta vez con una dirección suroeste-noreste, en el sector de Huambutío. Esta subunidad también fue identificada en Raqchi, distrito de San Pedro. Las lavas andesíticas corresponden al volcánico Quinsachata (Figura 5.5). También se les identificó en el distrito de Santo Tomás, donde el flujo de lava oscura corresponde a la Formación Santo Tomás.

Cono de escorias monogenético (CoE). Esta subunidad configura paisajes cónicos truncados con acumulación de material piroclástico suelto (escorias, cenizas y bombas), emitidos a partir de un conducto central o cráter, con actividad volcánica de tipo estromboliana. Presentan alturas entre 100 a 300 m, con laderas de pendiente moderada (15°) a muy fuerte (45°). Está constituido por los productos emitidos también en la última actividad volcánica del Cuaternario, denominado Volcánico Rumicolca, Quinsachata y Santo Tomás. Esta subunidad tiene una reducida presencia, y representa tan solo el 0.009 % de la superficie total de la región Cusco.

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. Los conos de escoria identificados en la región Cusco pueden ser catalogados como de este tipo. Ejemplo de esta subunidad puede ser observado al sur de Santo Tomás, en el cerro Finahui, conformado por las lavas negras de la Formación Santo Tomás (Figura 5.6).

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.

Domo volcánico (Do-v). Son geofomas con superficies convexas o cóncavas ubicados en la cima de complejos volcánicos u estrato volcanes y cadenas montañosas de rocas volcánicas, también por vulcanismo fisural. Se forma por el enfriamiento de lavas de composición andesítica y shoshonítica originadas en el Neógeno y Cuaternario. 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. Luego 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. Estas estructuras han sido identificadas a lo largo de la margen izquierda del río Vilcanota (Cordillera Oriental), sobre la localidad de Huancarani, en Oropesa y el centro arqueológico de Tipón (Figura 5.7). Se encuentran conformadas por las shoshonitas del volcánico Rumicolca. También se localizan en la cima de los cerros Arapuyo y Turpa. Estos se constituyen por la unidad de domos del volcánico Quehue Grande.

El domo o complejo de domos puede presentarse afectado por la erosión glaciar y glacio-fluvial. Asimismo, le configura un drenaje radial centrífugo, con valles en forma de "U", en cuyas vertientes se acumulan depósitos de morrenas y piedemonte de origen fluvio-glaciar. Este tipo de estructuras está relacionado a procesos de erosión de laderas, flujos y avalancha de detritos, derrumbes y caída de rocas desde los bordes de pendiente escarpada.

Complejo volcánico (Co-v). Es un conjunto de aparatos volcánicos erosionados, cuyas cumbres y laderas están conformadas por materiales provenientes de un vulcanismo explosivo y efusivo, como son los flujos piroclásticos, caída de cenizas y flujos de lava, acumulados por varios centros volcánicos por migración de la cámara magmática principal, de edad Neógeno y Cuaternario.

Esta subunidad representa el 0.4% de la superficie de la región Cusco. Como ejemplos se puede citar al complejo volcánico, actualmente denominados cerros Callpapujio, Arapuyo, Llallahua y Turpa, que se encuentran conformados por lavas y tobas del volcánico Quehue Grande, en el distrito de Livitaca (Figura 5.8). También al sur del distrito de Santo Tomás en el límite con la región Arequipa, el complejo volcánico está constituido por materiales del estrato volcán Jatún Huaychahui y del volcánico Huacallani.

Los complejos volcánicos presentan formas elípticas, que han sido modificadas por acción glaciar y fluvio-glaciar. El drenaje es radial centrífugo.

Geodinámicamente, se asocian a la ocurrencia de flujos y avalancha de detritos, deslizamientos, movimientos complejos y derrumbe o colapso de flancos de los conos volcánicos.

Colina y lomada ignimbrítica (CL-ig)

Esta subunidad se caracteriza por presentar un terreno ondulado de baja altitud conformado por materiales volcánicos ignimbríticos del Neógeno. Ocupan el 0.02% de la superficie total de la región.

En la región Cusco, esta subunidad fue identificada en el distrito de Espinar, en el sector de San Martín y en el distrito de Coporaque, en el sector de Morocahua hacia ambos márgenes del río Apurímac (Figura 5.9). En ambos sectores se encuentran constituidos por tobas de composición dacítica a riodacítica del complejo volcánico Caylloma.

Unidad de planicies

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya sea que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, cual está determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales. También lo determina la acumulación de material volcánico piroclástico que cubre superficies preexistentes. Esta subunidad en conjunto representa el 1.59% de la superficie del Cusco.

Meseta o planicie volcanoclástica (M-vc). Es una superficie elevada y de relieve predominantemente llano. Está conformado por secuencias de rocas volcanoclásticas producidas por actividad volcánica, generalmente explosiva, seguida de una remoción y retrabajo del material volcánico.

Las rocas volcanoclásticas tienen aspecto similar a las clásticas, debido a que se transportan (por medio de agua y flujos de masas con diverso grado de saturación): Además depositan y acumulan por procesos similares a dichas rocas, aunque el proceso original que produce el material es volcánico.

Esta subunidad ha sido reconocida en los cerros Chachani y Concomayo, ubicados en las cabeceras del río Santo Tomás, en el distrito de Llusco, provincia de Chumbivilcas, en el límite con la región Apurímac. También está en el cerro Yurajsayhua, del distrito de Suyckutambo en la provincia de Espinar. Se encuentra conformada por materiales volcánicos de fases explosivas que fueron transportados por medio de corrientes aéreas que los acumuló como depósitos de cenizas, y por medio acuoso que redepositaron los sedimentos retrabajados.

Esta subunidad solo representa el 0.05% de la superficie de la región. En los bordes de la meseta, se pueden presentar procesos de caídas de rocas y derrumbes, hasta deslizamientos de diferentes dimensiones.

Meseta volcánica lávica (M-vl). Es una superficie elevada y de relieve predominantemente llano, aunque puede presentar

ligeros ondulamientos. Se conforma por secuencias de rocas volcánicas. Dentro de la región Cusco, las secuencias lávicas que constituyen esta subunidad son de edad Neógeno-Cuaternario y corresponden al Grupo Barroso. Además, están constituidas por lavas dacíticas a andesíticas, y fueron reconocidas en los distritos Santo Tomás, Velille, Suyckutambo y Coporaque (Figura 5.10).

Esta subunidad representa tan solo el 0.19% 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 (Sfp). 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 conformando 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 hubiera 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.

En la región Cusco se presentan planicies altas horizontales a poco inclinadas con frentes escarpados, compuestos por ignimbritas del Grupo Barroso (Neógeno-Plioceno). Se localizan en las provincias de Chumbivilcas y Espinar, y representan el 0.46% de la superficie total de la región (Figura 5.11).

Superficie con flujo piroclástico disectado (Sfp-d). Esta subunidad presenta el mismo origen que la superficie con flujos piroclásticos. Se diferencia porque ha sufrido los efectos de la denudación y se ha encontrado con un alto grado de disección, cortado por cursos de quebradas y torrenteras que configuran un drenaje paralelo a subparalelo. Esta subunidad se encuentra distribuida en la Cordillera Occidental, al sur del Cusco y representa el 0.27% de la superficie total de la región.

Ejemplos de este tipo de paisaje se puede observar en las laderas superiores de ambas márgenes del río Apurímac, en los distritos de Suyckutambo y Coporaque. Su superficie plana disectada ha sido modelada en secuencias de tobas cristalolíticas de composición dacítica a riodacítica del Complejo Volcánico Caylloma (Figura 5.12).



Fotografía 5.9 Colinas y lomadas (cerro Huanacaure), modeladas en roca sedimentarias de las formaciones Maras y Auzangate, que se levanta unos 300 m por encima de la planicie. Sector de Laguna Huaypo en el distrito de Anta.

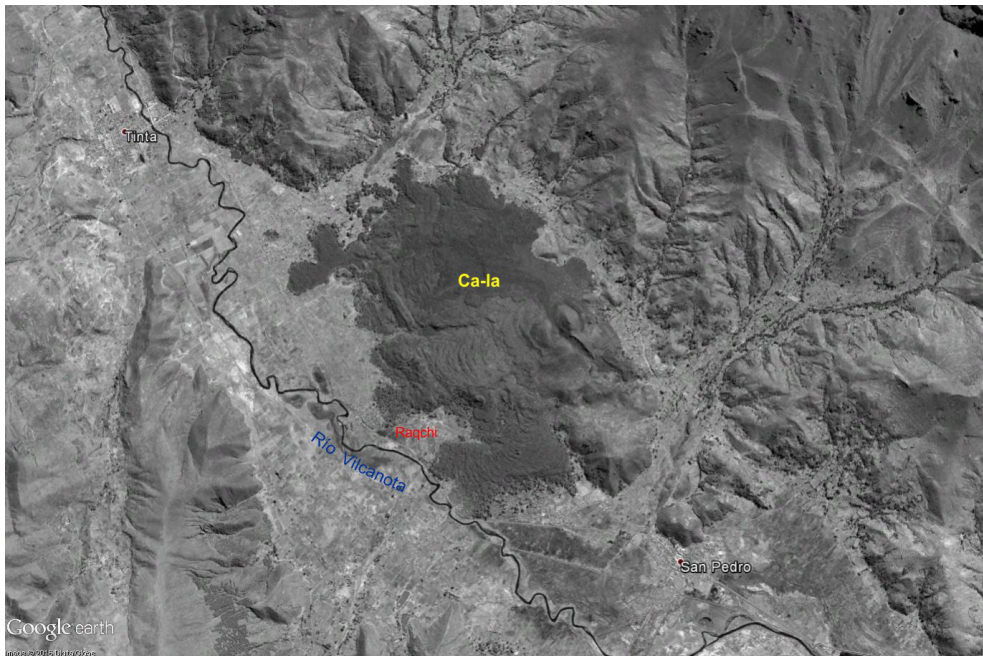


Figura 5.5 Colada de lava (Ca-la) en el sector de Raqchi, correspondiente al volcánico Quinsachata.

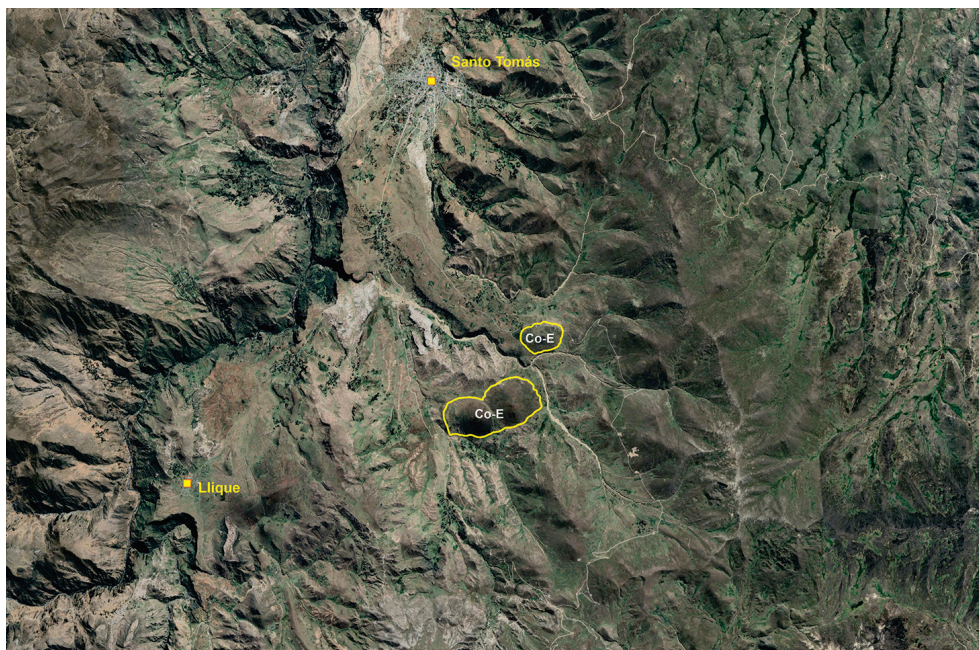


Figura 5.6 Cono de escorias (cerro Finahui), al sur de Santo Tomás.

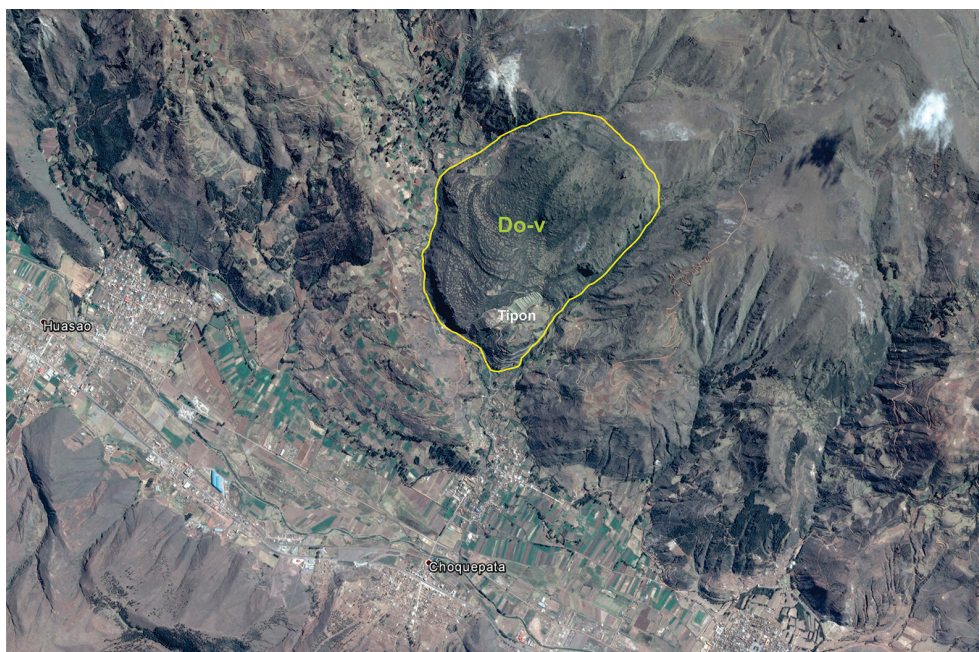


Figura 5.7 Domo volcánico en el centro arqueológico de Tipón, distrito de Oropesa.

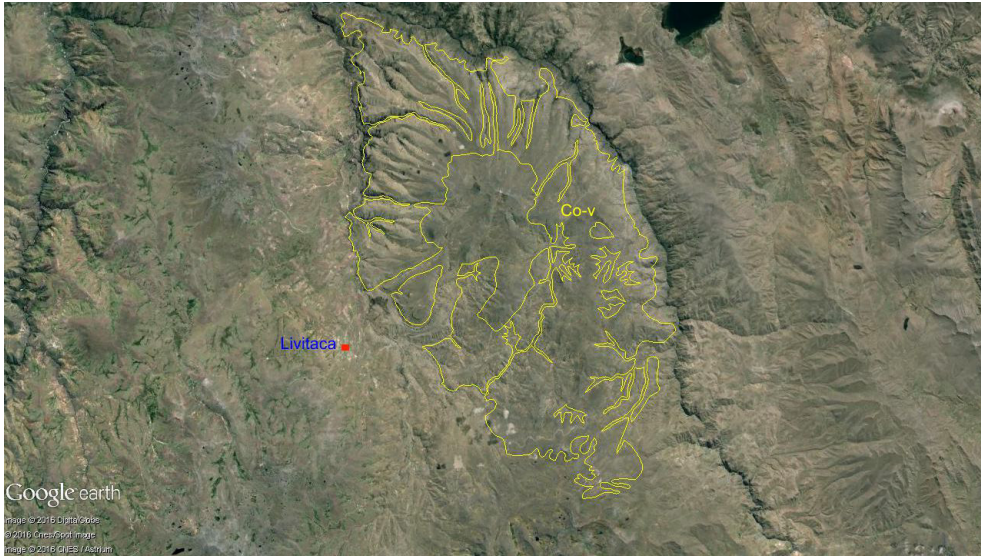


Figura 5.8 Complejo volcánico localizado al este de Livitaca. Es posible observar su forma elíptica y el drenaje radial.

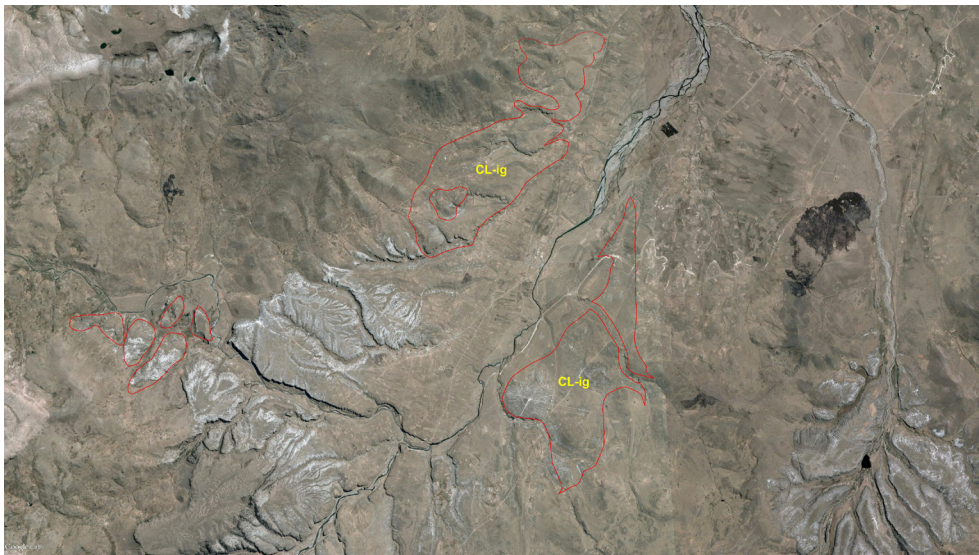


Figura 5.9 Colinas y lomadas ignimbríticas en el sector de Moroccahua, distrito de Espinar.

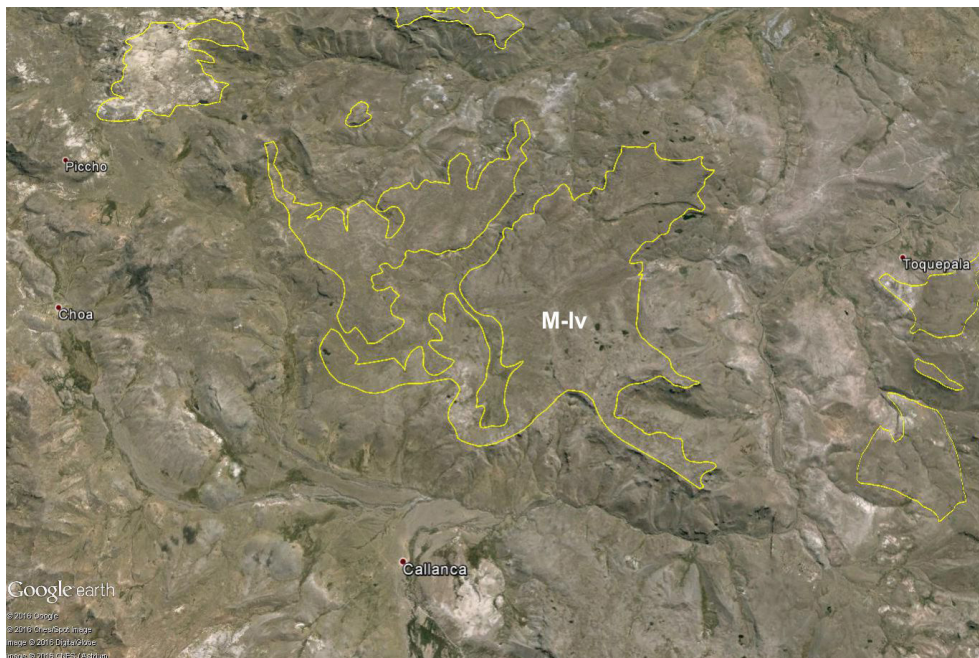


Figura 5.10 Meseta volcánica lávica en la cabecera del río Qqero, en el distrito de Coporaque, en el límite con la región Arequipa.

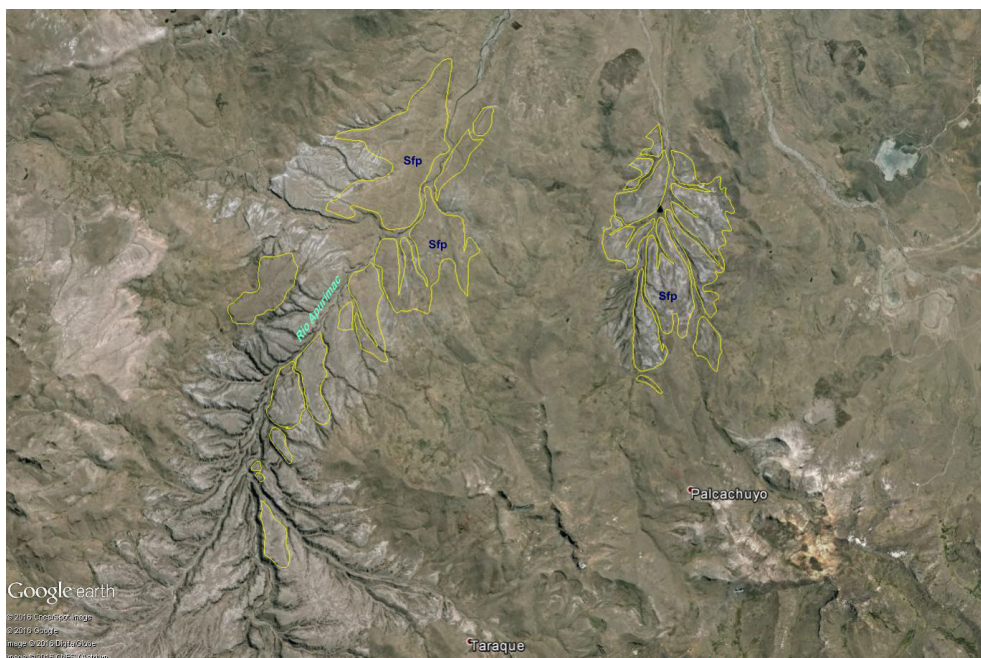


Figura 5.11 Flujo piroclástico, hacia ambas márgenes del río Apurímac, en los distritos de Suyckutambo y Coporaque, se señala con línea amarilla.

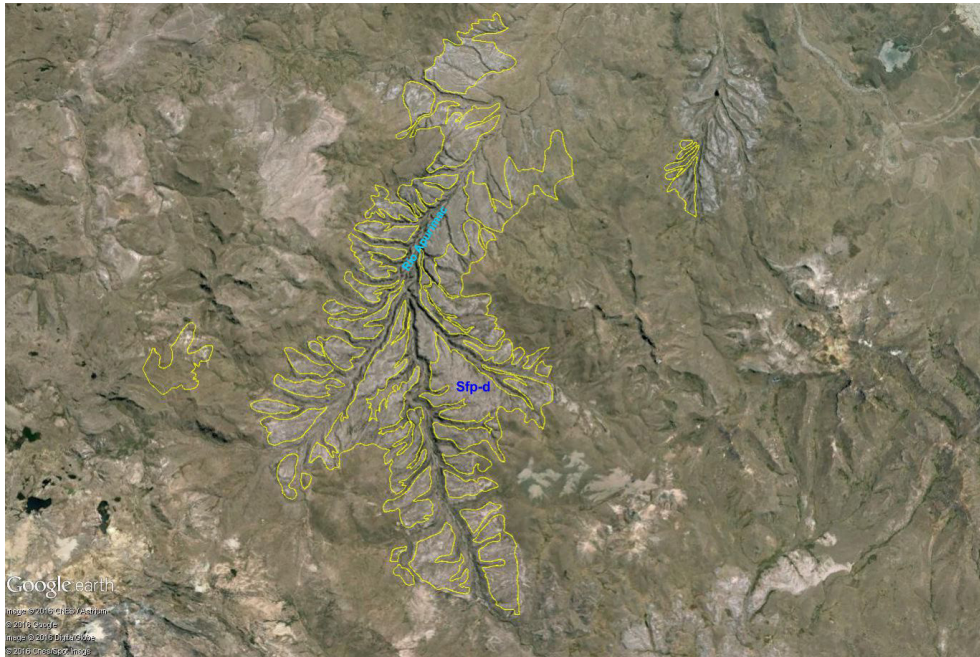


Figura 5.12 Superficie con flujo piroclástico disectado en el sector del cañón de Suykutambo-río Apurímac, en los distritos de Coporaque y Suykutambo.

Otro sector que presenta este tipo de paisaje se encuentra en las laderas superiores de la margen derecha del río Ranrapata, en el distrito de Santo Tomás. Aquellas fueron modeladas en aglomerado y tobas del Complejo Volcánico Huacallani del Grupo Barroso.

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.

Altiplanicie sedimentaria (Ap-s). Esta subunidad se caracteriza por presentar un relieve predominantemente llano, donde los procesos de agradación superan a los de degradación (erosión). Se pueden encontrar elevados con respecto a los terrenos circundantes por efectos de la erosión diferencial o por efecto tectónico y presentar ligera inclinación. Está conformada por secuencias de rocas sedimentarias.

La altiplanicie fue reconocida en el extremo sur del Cusco, en la provincia de Espinar. Incluso esta ciudad se encuentra asentada sobre esta subunidad (Fotografía 5.10), conformada principalmente por unidades sedimentarias del grupo Maure. En el centro de la región, se encuentra constituida principalmente por rocas de la Formación San Sebastián, entre los distritos

de Zurite, Anta y Huarcocondo (Fotografía 5.11), también en Ccatca. En el distrito de Echarate, al norte del Cusco, sobre las formaciones Río Picha, Ipururo y Ucayali, se configuran estas planicies. Abarca el 0.51% de la superficie de la región.

Altiplanicie sedimentaria disectada (APD-s). Son terrenos que presentan relieves planos, algo inclinados, conformados por secuencias de rocas sedimentarias, que presentan un alto grado de disección por cursos de quebradas de disposición subparalela.

Esta subunidad fue identificada sobre el poblado de Coribeni, en el distrito de Echarate (Figura 5.13), conformado por rocas de la Formación Anchiway. Abarca el 0.09% de la superficie total de la región.

Altiplanicie estructural sedimentaria (APE-s). Es un terreno con relieves planos, algo inclinados, conformado por rocas sedimentarias, cuya disposición obedece principalmente a efectos del plegamiento de rocas. Esta subunidad fue identificada al este de Santo Tomás, en el sector de Cullojaman. Se encuentra constituida por secuencias de calizas de la Formación Arcurquina. Presenta una reducida exposición que equivale al 0.001% de la superficie total de la región.

5.2.2 Geoformas de carácter deposicional 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, los glaciares, las corrientes marinas, las mareas y los vientos. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados. En la región Cusco se diferenciaron las siguientes unidades y subunidades:

Vertiente coluvial de detritos (V-d). Se forma al pie de acantilados, escarpes y laderas muy empinadas. Hay 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 gelifracción o termofracción de los materiales que los constituyen. Estos fragmentos, dependidos de los escarpes, se desplazan en caída libre o rodando cuesta abajo. Van formando aglomeraciones de bloques sueltos que adoptan una forma semicónica. Así, pues, se les denomina conos cuando se presentan como un depósito único, y talud de detritos cuando se presentan como varios conos acomodados de forma sucesiva. Los materiales coluviales acomodados al pie de acantilados o laderas tienen un ángulo de reposo de 35° 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. Los fragmentos más pequeños se ubican hacia el ápice del depósito. Estos depósitos se consideran inestables, ya que no existe cohesión entre sus fragmentos. Por esta razón, 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 pueden desarrollar suelo y cobertura vegetal estabilizadora (Villota, 2005).

Esta subunidad no ha sido representada en gran número en el mapa geomorfológico del Cusco (Fotografía 5.12), debido a que la mayoría de sus exposiciones no son cartografiables para la escala de trabajo que se adoptó en este estudio. Así, su escasez en el mapa no determina su ausencia en el terreno.

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 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 semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa. Esta unidad fue identificada en gran número en las Cordilleras Occidental y Oriental, con menor presencia en la faja subandina y escasas ocurrencias en la Llanura Amazónica relacionada principalmente a la erosión de riberas (Fotografía 5.13); abarcan el 1.59% de la superficie de la región.

Se relacionan con rocas de diferente naturaleza litológica, ya que es posible encontrarlas comprometiendo todo tipo de rocas. Geodinámicamente se asocia 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.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd). Unidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Están acumulados al pie de laderas de montañas o acantilados de valles.

Los depósitos coluviales se conforman por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, son 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; además 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. Se depositan y cubren las laderas de los cerros, con taludes suaves a moderados. Estos depósitos han sido removidos por la escorrentía formada por precipitaciones pluviales. Esta última 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 Cusco y abarca el 2.02 % de su superficie. Se puede asociar geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo movimientos complejos, reptación de suelos, avalancha de detritos y flujos de detritos (Fotografía 5.14).

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al). Conforman planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Están 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 (1-15°). Sobre estos abanicos se pueden depositar también materiales provenientes de flujos torrenciales, comúnmente conocidos como huaicos.

Esta geoforma representa el 1.88 % de la superficie total de la región Cusco. Ejemplos de esta subunidad pueden ser observados en los alrededores del poblado de Sangarara, donde concurren varios abanicos aluviales acomodados de forma sucesiva (Fotografía 5.15). También se pueden encontrar ejemplos de esta subunidad hacia ambos márgenes del río Vilcanota, en el sur de la región (Figura 5.14).

Vertiente o piedemonte aluvio-torrenciales (P-at). Conforman planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, ubicadas al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Están formadas por la acumulación de sedimentos que son acarreados por corrientes de agua de carácter excepcional y están relacionadas a lluvias ocasionales, extraordinarias y muy excepcionales que se presentan en la región. Pueden estar asociadas al fenómeno de El Niño. La pendiente de estos depósitos es suave a moderada (1-15°).

En la región Cusco, las planicies tienen buena distribución y abarcan el 1.05 % de su superficie. Ejemplos de estas geoformas pueden ser observados a lo largo de los valles de los ríos Apurímac, Vilcanota, Urubamba, Yavero, Santo Tomás, Velille, Mapacho, Paucartambo, entre otros. Todos estos abanicos son formados por los materiales acumulados por flujos de detritos constituidos en quebradas tributarias, que alcanzan los cauces principales (Fotografía 5.16).

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.

Vertiente glaciar o de gelifración (V-gl). Esta subunidad geomorfológica está 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. Aquellos son producidos por la meteorización mecánica (gelifración) del substrato rocoso que conforman las paredes del valle.

Estos materiales pueden encontrarse formando un solo cono o talud de detritos, de granulometría variada. Su pendiente es muy fuerte y puede sobrepasar los 30°. En la región Cusco representan el 0.18 % de la superficie total (Figura 5.15).

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

Estos depósitos pueden encontrarse al pie de laderas, acantilados o en altiplanicies formando conos de diversos tamaños o mantos de material no consolidado, que cubren el substrato rocoso. En la región Cusco, esta subunidad ha sido identificada en zona glaciar y periglaciar, y abarca el 3.26% de la superficie total de la región.

Vertiente de detritos poligénica (V-dp). Esta subunidad también se encuentra conformada por piedemontes cuya génesis es dudosa, ya que no está bien definido el proceso que la formó. También porque su origen es mixto o resultado de varios procesos superpuestos (presenta horizontes conformados por materiales de caídas, interestratificados con niveles de materiales producidos en procesos del deslave de la ladera).

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. Hay tamaños de gravas con formas angulosas, bloques, guijarros y arena, y están dispuestas sin estratificación en abundante matriz de limo y arcilla.

Existen varios tipos de morrenas y están clasificadas de acuerdo a su posición en un glaciar. Morrena de fondo es la que se sitúa debajo, en contacto con el lecho; morrena lateral, la que se sitúa en las orillas o bordes del lecho glaciar; morrena central, formada por la unión de morrenas laterales en la confluencia de 2 glaciares en un mismo valle; y morrena frontal o terminal, la que se sitúa en la zona de deshielo del glaciar.

Las áreas principales de morrenas en la región Cusco se ubican a lo largo de valles glaciares labrados en las Cordilleras Occidental y Oriental de los Andes. Abarcan el 1.74% de la superficie total de la región (Fotografía 5.18).

Unidad de valles

Valle encañonado o valle cañón (VII-e). Este valle fluvial con paredes o vertientes de pendiente abrupta puede ser profundo. Estas son originadas por efecto de la fuerte erosión fluvial que, principalmente, excava y profundiza el lecho de un río. Esta subunidad fue reconocida en el sector de Suykutambo, al sur del Cusco, donde el río Apurímac ha cortado y profundizado en tobas dacíticas y riódacíticas del Complejo Volcánico Caylloma, esculpiendo un paisaje de gran belleza natural (Fotografía 5.19).

Valle glaciar (VII-gl). Este es el paisaje actual heredado del labrado que ocasionan los glaciares en las altas cumbres de montañas que se pueden encontrar desde los 4000 m s. n. m. El principal agente modelador son los glaciares, aun cuando han contado con el concurso de la meteorización física y la escorrentía.

El valle glaciar tiene una sección transversal con forma de "U". Puede contener un glaciar activo o encontrarse en otra etapa de desarrollo con corrientes fluviales que remueven y transportan 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.

Esta subunidad fue reconocida en las Cordilleras Occidental y Oriental. Abarca el 3.49% de la superficie de la región Cusco (Fotografía 5.20).

Valle glaciar con lagunas (VII-gl/l). En esta subunidad también se pueden encontrar los diferentes paisajes glaciares como circos, artesas, valles colgados, etc. Además, entre los diferentes niveles de terrazas dejados por el avance y retroceso de un glaciar se forman cuencas donde se pueden encontrar cuerpos de agua que ocupan estas concavidades y forman lagunas. Dichas lagunas se pueden formar por represamiento de un valle glaciar, por la ocurrencia de un deslizamiento, avalancha de rocas o detritos de gran magnitud, arrancado en las paredes del valle.

Esta subunidad también fue reconocida a lo largo de las Cordilleras Occidental y Oriental. Abarca el 0.51% de la superficie de la región Cusco (Fotografía 5.21).

Terrazas aluviales (T-al). Son porciones de terreno plano que se encuentran dispuestos 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 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 3 niveles de terrazas: aluviales (T-al), media aluvial (Tm-al) y alta aluvial (Ta-al) a lo largo de los valles de los ríos Apurímac, Vilcanota, Yavero, Yanatile, Urubamba, Mapacho, Paucartambo, Araza, etc. (Fotografía 5.22).

Terraza indiferenciada (Ti). La conforman valles de ríos estrechos que discurren cortando la Cordillera de los Andes. Aquí 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 1.2% de la superficie total del Cusco.

Altiplanicie aluvial (AP-al). Esta geoforma se caracteriza porque se encuentra conformando un terreno plano-ondulado y está constituida por acumulación de material aluvial, coluvio-deluvial y proluvial, sin consolidación. Sus pendientes pueden alcanzar valores considerados como terrenos llanos (1°) a moderados (5-15°). Es posible encontrar ondulaciones de poca altitud en el terreno.

Geodinámicamente pueden ser alcanzados por los materiales acarreados por flujos de detritos que se generan a mayor altitud y que llegan a depositarse en esta zona.

Llanura o planicie inundable (PI-i). Son superficies bajas, adyacentes a los fondos de valles principales y al mismo curso fluvial, sujetas a inundaciones recurrentes, ya sean estacionales o excepcionales. Morfológicamente se distinguen como terrenos planos compuestos de material gravo-arenoso con limos, no consolidado y removible con cada subida estacional del caudal del río (Fotografía 5.23).

Planicie de travertinos (PI-tr). Esta es una superficie de relieve predominantemente llano horizontal, o con poca inclinación. Está formada por la acumulación de costras de material de precipitación química (travertinos y sinters), asociado a aguas termales. Estas acumulaciones pueden configurar diferentes formas como promontorios, puentes naturales, cúpulas, conos, etc.

Se podrían decir que los travertinos son un tipo de roca sedimentaria, formada por las precipitaciones de carbonato de calcio (calcita) de aguas altamente saturadas de calcio. Se encuentran consolidadas, por lo tanto, son menos porosas. Cuando las aguas están saturadas de sílice coloidal se da lugar a la formación de un sinter silíceo.

En la región Cusco se identificó esta subunidad geomorfológica en los distritos de Yanaoca y Pampamarca (Fotografía 5.24) (provincia de Canas); Tinta, Combapata, San Pablo y Sicuani (provincia de Canchis), y Mosollacta y Acopia (provincia de Acomayo).

Bofedales (Bo). Son terrenos planos cóncavos anegados, con formaciones vegetales en un ambiente edáfico orgánico y una condición hídrica de saturación permanente. Se localizan en las cabeceras de valles de toda la región Cusco donde se acumulan las aguas de precipitación pluvial y de surgencias de aguas subterráneas (Fotografía 5.25). Muchas de estas subunidades no se representan en el mapa geomorfológico de la región Cusco, por factores de escala, ya que por sus dimensiones no son cartografiables.

Unidad de cuerpos de agua

Cauce de río; laguna y cuerpos de agua (Lg/ca). Dentro de esta unidad se reúne a todos los cuerpos de agua de origen natural (ríos y lagunas) y artificial (represamientos), los cuales tienen dimensiones representables a la escala de trabajo. Como ejemplos están las lagunas Lucre, Urcos, Pomacachi, Acopia, Asnacocha, Pampamarca, Cochapata, Languilayo, Conococota, Sacanicocha, Sabinacocha, entre otras (Fotografía 5.26).

Origen antrópico

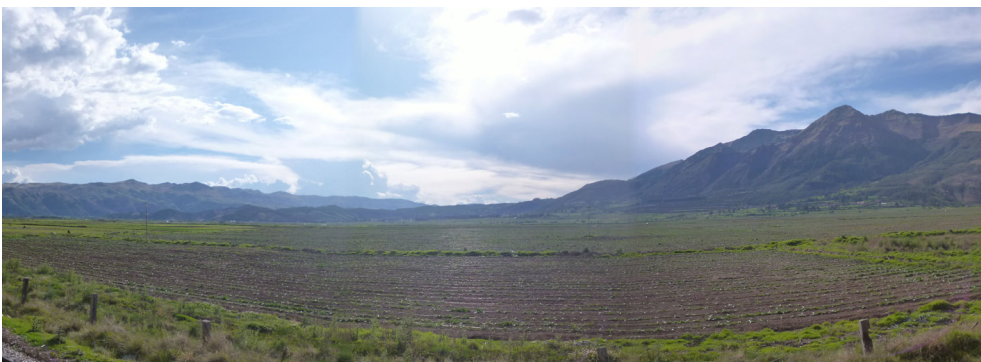
Incluyen aquellos fenómenos que modifican o alteran de forma importante el desarrollo o manifestación de algunos

de los procesos naturales (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.

Actividad Minera (Am). Dentro de esta subunidad se han considerado rellenos artificiales de diferente tipo (desmonteras y pilas de lixiviación), diques, presas, tajos abiertos, labores de explanación y nivelación, que son resultado de las labores de explotación, procesamiento y depositación de la actividad minera, cartografiable a la escala de trabajo del presente estudio (Figura 5.16). Abarca el 0.03 % de la superficie de la región.



Fotografía 5.10 Vista hacia el este donde se puede apreciar la planicie sedimentaria. Allí se encuentra asentada la ciudad de Espinar.



Fotografía 5.11 Planicie sedimentaria de Zurite (vista hacia el suroeste).



Fotografía 5.12 Talud de detritos en el talud superior de la carretera Ollantaytambo-Ocobamba, a la altura del Km. 7+800.

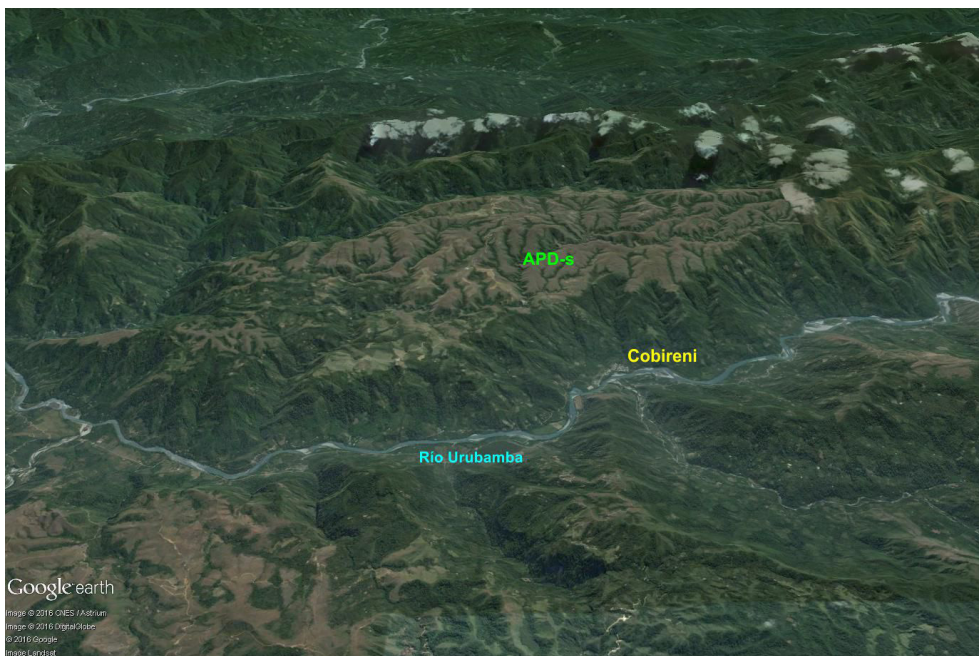


Figura 5.13 Altiplanicie disectada, ubicada por encima del poblado de Cobireni, en el distrito de Echarate.



Fotografía 5.13 Vertiente con depósitos de deslizamiento del cerro Chinchana, que afectó lutitas, limolitas y areniscas del Grupo Ananea. El poblado de Huallje se asienta sobre el cuerpo del deslizamiento Margen izquierda del río Mapacho, distrito Colquepata, provincia Paucartambo.



Fotografía 5.14 Depósitos coluvio-deluviales acumulados al pie del cerro Pucaccasa en la margen izquierda del río Vilcanota, distrito de Andahuaylillas.



Fotografía 5.15 Piedemonte aluvial cerca del poblado de Sangará. Estos depósitos se encuentran cortados por una falla activa.



Figura 5.14 Abanico aluvial formado por la quebrada Moccorayse, sobre este depósito se asientan los poblados de Chasquihasi y Puccio, en la margen izquierda del río Vilcanota, distrito Cusipata.



Fotografía 5.16 Flujo de detritos en la quebrada Livincay, tributario del río Vilcanota por la margen derecha. El material acarreado formó un abanico aluvio-torrencial, distrito de Sicuani.

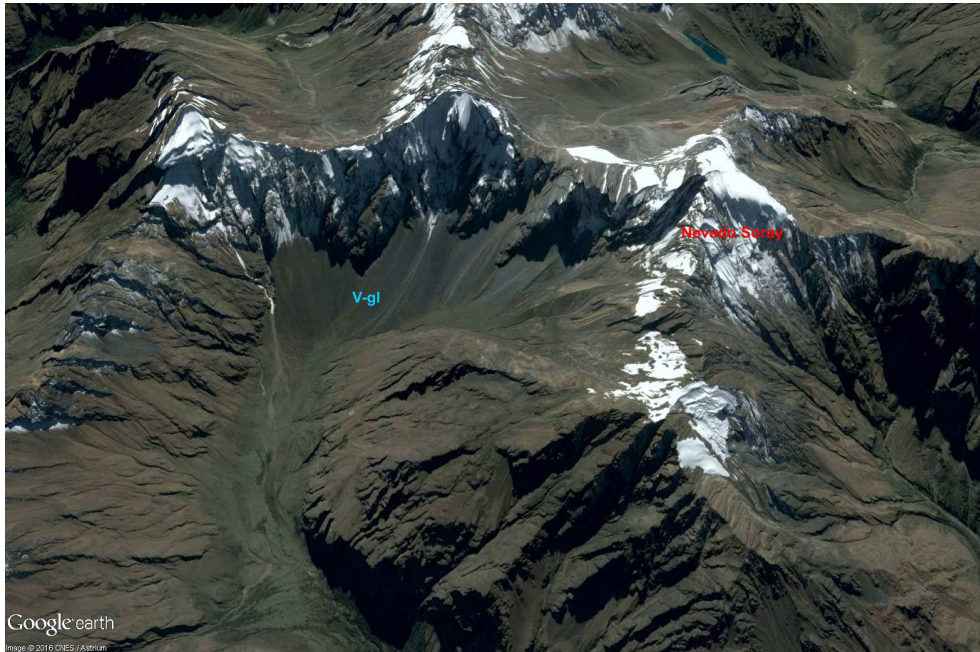


Figura 5.15 Vertiente de gelifractos acumulados al pie del nevado Soray afectada por el retroceso glaciar, distrito de Mollepata.



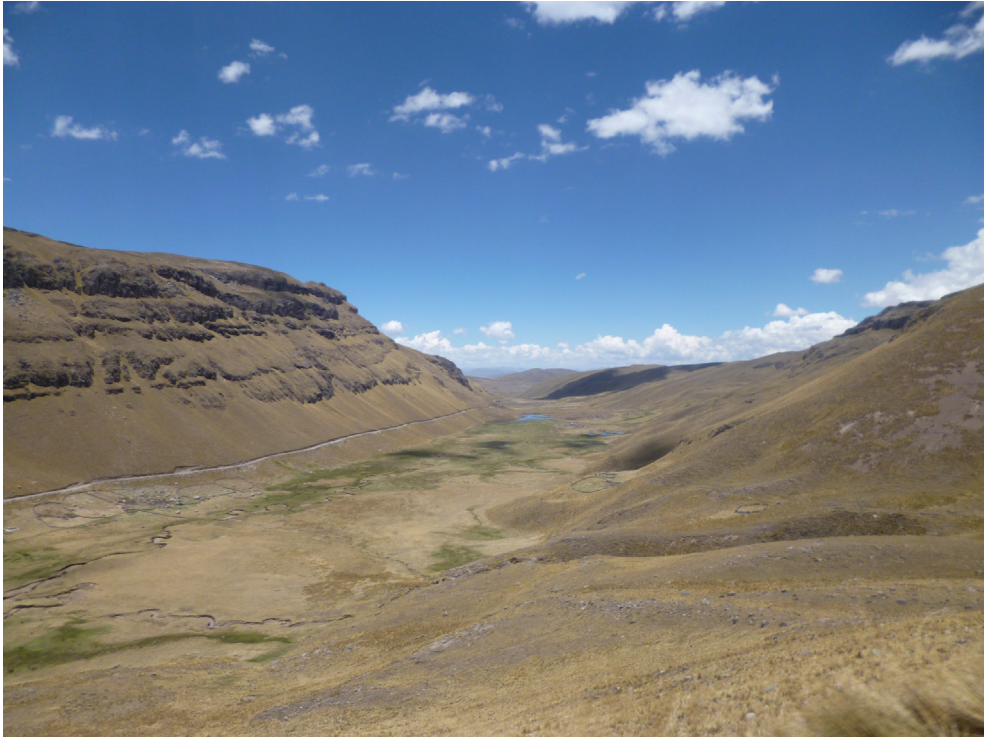
Fotografía 5.17 Material de morrena removilizado por corrientes de agua que provienen del deshielo glaciar y las precipitaciones pluviales. Depositan un nuevo cono glacio-fluvial, sector Pichupata, distrito de Ocongate.



Fotografía 5.18 Morrenas laterales en la quebrada Queuesera, que baja desde el nevado Alcamarinayoc, visto desde la carretera Interoceánica que conduce de Ocongate a Quincemil, distrito de Ocongate.



Fotografía 5.19 Vista del cañón formado por el río Apurímac en el sector de Suyckutambo.



Fotografía 5.20 Valle glaciar de la quebrada Aroccollo, distrito de Velille, carretera Yauri-Velille.



Fotografía 5.21 Laguna glaciar Sibinacocha, en el distrito de Pitumarca.



Fotografía 5.22 Terrazas en la margen izquierda del río Vilcanota, cerca del distrito de Urcos.



Fotografía 5.23 Llanura inundable y terrazas bajas, en la vista agua abajo del valle del río Salcca, sector de Huallatayre, que pertenece al distrito de San Pablo, provincia de Canchis.



Fotografía 5.24 Estructura de forma cónica, con apariencia de cono volcánico, formado por la emanación y precipitación desde un punto central de agua rica en carbonato de calcio, sector de Pabellones, distrito de Pampamarca.



Fotografía 5.25 Bofedales en la cabecera del río Huacahuata, en el distrito de Pitumarca.



Fotografía 5.26 Laguna de Languilayo. Vista hacia el noroeste, distritos Langui y Layo.



Figura 5.16 En la imagen de Google Earth se pueden observar el tajo abierto, los desmontes y presas de relave de la mina Tintaya, distrito de Espinar.

CAPÍTULO VI

PELIGROS NATURALES

6.1 GENERALIDADES

Según datos estadísticos, los peligros naturales han causado, desde 1970, la muerte de 3.3 millones de personas en el mundo. Esto hace una cifra de 82 500 muertes al año, con grandes fluctuaciones de año a año y sin tendencias temporales pronunciadas. Las sequías constituyen los peores peligros naturales de las 4 categorías (terremotos, inundaciones y tormentas son los otros 3) (Banco Mundial, 2011). Se presume que los movimientos en masa están inmersos en 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, los terremotos y las tormentas ocasionan mayores daños. Asimismo, los daños son desproporcionadamente más elevados en países de renta media. En los países pobres, con pocos activos, incurrir en un daño escaso, y en los países ricos (con más capital) se previenen los daños de forma efectiva (Banco Mundial, 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 (Ayala-Carcedo, 2002).

En este contexto, es comprensible la necesidad de contar con información que permita realizar trabajos de prevención. Dichos trabajos se inician con la identificación y estudio de los peligros naturales, para nuestro caso los peligros derivados de los movimientos en masa y los peligros geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial).

La prevención vale la pena, pero no es necesario pagar siempre más por ella. 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) (Banco Mundial, 2011). 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 slo permitirá ahorrar miles de millones de dólares, sino también salvar cientos de millones de vidas. También reconoce que promover una cultura de prevención no es fácil; pues sus costos deben pagarse en el presente, en tanto que sus beneficios se verán en el futuro (Ayala-Carcedo et al., 2002).

En nuestro país, el estudio y monitoreo de los peligros naturales es realizado por varias instituciones, las cuales integran el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD). Este sistema tiene, entre sus objetivos principales, "la identificación de los peligros, el análisis de las vulnerabilidades y el establecimiento de los niveles de riesgo para la toma de decisiones oportunas en la gestión del riesgo de desastres". Es, en este contexto, que el INGEMMET, con la información propia generada en los últimos años y con apoyo de información sísmica y meteorológica que proveen otras instituciones, elabora estudios que buscan identificar, estudiar y monitorear los peligros geológicos, con el fin último de prevención y gestión del riesgo geológico.

La información contenida en este capítulo se basa en la recopilación de información de peligros existentes en la bibliografía (informes técnicos, boletines, tesis, etc.). También se basa en información tomada en campo, basada específicamente en un inventario de peligros geológicos de movimientos en masa, peligros geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial) y el cartografiado geodinámico a escala 1:50 000, sobre una base topográfica actualizada del Instituto Geográfico Nacional (IGN), con la ayuda de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Por otro lado, las características sismotectónicas del Perú obligan a conocer el peligro sísmico a los cuales está sujeta la región Cusco. En el caso de la información de peligro sísmico, la evaluación partió de los datos proporcionados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), principalmente en el análisis de aceleraciones máximas esperadas para diferentes períodos de retorno, como factor detonante de peligrosidad de los movimientos en masa.

La información temática sobre peligros, generada en este estudio como cartografía básica para cualquier análisis integral del medio físico de la región, es expresada en términos de susceptibilidad y definición de zonas críticas.

6.2 PELIGRO/AMENAZA

Antes de introducimos 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:

Un peligro o amenaza es “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 cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos (SGRD, 2016).

Peligro/amenaza natural es “un proceso natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Este término se utiliza para describir eventos relacionados con amenazas existentes al igual que condiciones latentes que podrían ocasionar el surgimiento de acontecimientos futuros. Los peligros naturales se pueden caracterizar por su magnitud o intensidad, su velocidad en un principio, la duración y el área que abarcan.

Peligro/amenaza geológica es “un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales” (Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Los peligros geológicos incluyen procesos terrestres internos (terremotos, actividad volcánica) y procesos terrestres externos afines como el de movimientos en masas. Los factores hidrometeorológicos son elementos que contribuyen considerablemente en alguno de estos procesos.

6.3 REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS DESASTROSOS EN LA REGIÓN CUSCO

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

La región Cusco, 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.

La información de ocurrencias de peligros por movimientos en masa, disponible en los archivos técnicos del INGEMMET y en los compendios estadísticos de emergencias del Indeci, permitió elaborar el Cuadro 6.1 donde se presenta de forma resumida los eventos que afectaron a diferentes sectores de la región, así como los daños que estos ocasionaron; para los datos obtenidos de informes técnicos elaborados por el INGEMMET, 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 implicó que se realice una evaluación puntual a cada uno de ellos.

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, 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 Cusco, sea siempre utilizado en los trabajos de evaluación de peligros.

6.4 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). También responde 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, *landslides* 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.

Los movimientos en masa identificados en la región Cusco 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). Asimismo, se diferencian procesos activos y antiguos (algunos reactivados). Los tipos más comunes de movimientos en masa son descritos a continuación:

Caídas (Fall)

La caída es un tipo de movimiento en masa en el que uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera sin que, a lo largo de esta superficie, ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material cae desplazándose principalmente por el aire, lo que ocasiona golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978) (Figura 6.1). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en 3 tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

- Aludes. Son desprendimientos violentos de un frente glaciar (hielo/nieve) que acompañan algunas veces el substrato rocoso y/o fragmento detrítico (morrenas), que ocurren en áreas de montañas glaciares.
- Caída o desprendimiento de rocas. Ocurre en laderas de montañas y colinas de moderada a fuerte pendiente, frentes rocosos escarpados, montañas estructurales asociadas a litologías de diferente naturaleza (sedimentarias, ígneas y metamórficas), sujetas a fuerte fracturamiento, así como en taludes al efectuarse cortes en laderas para obras civiles (carreteras y canales) (Figura 6.2).

- Derrumbes. Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros. Se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de rocas sedimentarias, esquistos y depósitos poco consolidados. También se presentan en rocas ígneas fracturadas.

Vuelco (Toppling)

Este tipo de movimiento en masa tiene una rotación, generalmente, hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior (Figura 6.3). Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empuje de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

Deslizamiento (Slide)

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

Deslizamiento traslacional (Translational slide), deslizamiento en cuña (Wedge slide). 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 6.4 y 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 que el cuerpo del deslizamiento está delimitado por 2 planos de discontinuidad que se intersectan entre sí e intersectan la cara de la ladera o talud. Así, el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos o el buzamiento de uno de ellos.

La velocidad de los deslizamientos puede variar desde rápida a extremadamente rápida.

Deslizamiento rotacional (Rotational slide, Slump). En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (Figura 6.6). La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es, con frecuencia, baja excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas.

Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

Propagación lateral (lateral spread)

Tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material (Figura 6.7). La mayoría de deslizamientos y los flujos involucran algún grado de expansión. Las propagaciones laterales pueden considerarse la etapa final de una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo. Varnes (1978) distingue 2 tipos de propagación: uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas; y otro, que ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.

Flujo (Flow)

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

Flujo seco. El término flujo trae naturalmente a la mente la idea de contenido de agua y, de hecho, para la mayoría de los movimientos de este tipo se requiere cierto contenido de agua. Sin embargo, ocurren con alguna frecuencia pequeños flujos secos de material granular y se ha registrado un número considerable de flujos grandes y catastróficos en materiales secos (Varnes, 1978).

El flujo seco de arena es un proceso fundamental en la migración de dunas de arena. Los flujos secos de talud son importantes en la formación de conos de talud (Evans & Hungr, 1993). Los

de limo, a veces, son desencadenados por el fallamiento de escarpes empinados o barrancos de material limoso (Hungr et al., 2001).

Flujo de detritos (Debris flows). Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y, finalmente, los depositan en abanicos de detritos (Figura 6.8). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de "U", trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.

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

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

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

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

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

Flujo de lodo (Mud flow). Es un flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos. Su contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (índice de plasticidad mayor al 5 %). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material. También se distingue de los deslizamientos por flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento por flujo ocurre por licuación in situ, sin un incremento significativo del contenido de agua (Hungri et al., 2001). En algunos países de Sudamérica se denomina flujo o torrente de barro.

Flujo de tierra (Earth flow). Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungri et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año. Sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1998). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.

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

Avalancha de detritos (Debris avalanches). Es un flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que, al desplazarse, sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos, y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal ni tampoco un frente de material

grueso en la zona distal (Hungri et al., 2001).

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

Avalancha de rocas (rock avalanches). Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hungri et al., 2001). Pueden ser bastante móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria (Figura 6.9). Algunos depósitos de avalanchas pueden alcanzar volúmenes del orden de kilómetros cúbicos y desplazarse a grandes distancias. Con frecuencia son confundidos con depósitos morrénicos.

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

Reptación

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser estacional cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (Figura 6.10).

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

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

Movimiento complejo. Se produce por la combinación de uno o más de los tipos de movimientos en masa descritos anteriormente.

Cuadro 6.1
Cronología de peligros geológicos ocurridos en la región Cusco

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
Febrero de 1946	Aluvión	Machupicchu pueblo, Urubamba	Represamiento del río Aguas Calientes 2 kilómetros arriba del pueblo, el posterior desembalse destruyó puentes peatonales, el puente de la línea férrea, un tramo de la carretera a Quillabamba, también parte de la minicentral hidroeléctrica.
1/22/1982	Deslizamiento	Huamancharpa, Santiago-Cusco	El evento represó el río Huancaro, fue desembalsado posteriormente por medio de un canal con el cual se controlaron daños mayores aguas debajo de la zona represada. El evento continúa activo en la actualidad.
1989	Deslizamiento	Río Ccochoc, Calca-Calca	El evento represó el río Ccochos, cuyo desembalse afectó terrenos de cultivo, viviendas, las calles Espinar, Miguel Grau, Plaza de Armas y la carretera a Urubamba.
4/5/1995	Deslizamiento-Flujo de detritos	Machupicchu pueblo, Urubamba	Represamiento y posterior ruptura de embalse destruyeron los baños termales, 3 puentes y 5 viviendas, 10 familias fueron afectadas.
7/3/1995	Flujo de detritos	Carrizales y Yanamanchu, distrito de Huayopata	Evento detonado en el nevado Huancavilqui, dejó veinte damnificados, 4 fallecidos, 4 viviendas destruidas y 102 ha de cultivo afectadas.
1/16/1996	Flujo de detritos	Comunidad campesina de Hullcuyo, distrito de Omacha	El flujo dejó como saldo 150 personas damnificadas y 22 ha de cultivo afectadas.
2/17/1996	Flujo de detritos	Ubiato-Pichari, distrito de Quimbiri	El evento dejó 150 personas damnificadas, 20 viviendas destruidas y un kilómetro de carretera interrumpido entre Pichari y San Francisco.
2/18/1996	Inundación fluvial	Comunidades campesinas de Pasto Grande, Paucarbamba, Santiago, Huertapampa y Chintapata, distrito de Yanatile	El evento dejó 180 personas damnificadas y 20 viviendas afectadas.
2/20/1996	Inundación fluvial	Localidades de Huanipa, Chillmay y Maucallacta, distrito de Ocobamba	Inundaciones dejaron 720 personas damnificadas, 20 viviendas destruidas y 50 viviendas afectadas.
7/12/1996	Deslizamiento y flujos de detritos	Quebrada Acobamba, distrito de Machupicchu	El evento dejó 4 personas fallecidas, una persona desaparecida, 50 personas damnificadas, 15 viviendas destruidas y 15 ha de cultivo afectadas. Interrupción del Puente Acobamba, localizado en el Km. 122+700 de la vía férrea Cusco-Quillabamba.
7/12/1996	Aluvión	Nevado Salkantay, quebrada Sisaypampa	El evento dejó 5 muertos, 45 familias damnificadas, 13 viviendas destruidas y destrucción de terrenos de cultivo. También produjo daños en camino de herradura y camino inca.
12/5/1996	Flujo de detritos	Quebrada Supahuayco, distrito de Lucre.	El evento dejó 50 personas damnificadas, 25 viviendas y 6 ha de cultivo afectadas.
12/5/1996	Flujo de detritos	Piñipampa, distrito de Andahuaylillas	El evento dejó 32 personas damnificadas y 7 viviendas afectadas.
12/19/1996	Deslizamiento	Calle Malapata, distrito de Santiago	A consecuencia de lluvias intensas se produjo un deslizamiento que dejó 2 fallecidos, 2 personas heridas, 15 personas damnificadas y una vivienda destruida.
1/17/1997	Inundación fluvial	Calca	Desbordes del río Yanatile inundaron el distrito de Calca dejando 7 personas muertas, 75 personas afectadas, una vivienda destruida y 15 afectadas, 6 ha de cultivo perdidas y el servicio de agua potable interrumpido.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
1/17/1997	Inundación fluvial	Quimbiri	Las inundaciones en el distrito de Quimbiri dejaron 2 personas damnificadas y 60 afectadas; 12 viviendas afectadas; y 4 ha de cultivo perdidos.
1/26/1997	Inundación fluvial	Quellouno	Desbordes del río Colcamayo dejó 3 personas damnificadas y 40 afectadas; 8 viviendas destruidas; y 8 ha de cultivo perdidos.
1/28/1997	Deslizamiento	Echarate	El evento dejó 50 personas damnificadas y 60 afectadas; 8 viviendas destruidas y 12 afectadas; 30 ha de terreno de cultivo destruidas. Carretera de acceso a la localidad destruida.
2/13/1997	Deslizamiento del cerro Ato-Saico-Matamangos, Inundación fluvial	Matamangos, Pashnapacana, San Pedro, Madre Selva, Velderas y Chaupimayo, distrito de Maranura	Desbordes del río Chinchimayo y el deslizamiento dejaron 215 personas damnificadas, 43 viviendas destruidas y 12 ha de cultivo perdido.
2/1/1997	Inundación fluvial	Oropesa-Quipicanchis	Desbordes del río Mutuy dejó 10 personas damnificadas y 15 afectadas; una vivienda destruida y 3 afectadas; 5 ha de cultivo perdido.
2/16/1997	Inundación fluvial	Písac	Desbordes del río Vilcanota dejaron 60 personas damnificadas y 60 afectadas; 12 viviendas afectadas; 200 ha de cultivo perdido, el puente Písac a punto de colapsar.
2/18/1997	Inundación fluvial	Sectores de José Beltrán 10, Shihuaco y Barrio Obrero, distrito de Sicuani	Desbordes del río Vilcanota dejó un cuantioso saldo de 1345 personas damnificadas y 1425 afectadas; 63 viviendas destruidas y 285 afectadas; 3120 ha de cultivo perdido; un centro educativo afectado; canales de regadío destruidos, pérdida de ganado vacuno, ovino y equino.
2/18/1997	Inundación fluvial	San Pedro	Desbordes del río Vilcanota dejó 243 personas damnificadas y 70 afectadas; 34 viviendas destruidas y 14 afectadas; 424 ha de cultivo perdidas; 2 centros educativos perdidos.
2/18/1997	Inundación fluvial	San Pablo	Desbordes del río Vilcanota dejó 190 personas damnificadas y 70 afectadas; 34 viviendas destruidas y 14 afectadas; un centro educativo destruido; y 20 ha de cultivo perdidos.
2/18/1997	Inundación fluvial	Marangani	Desbordes del río Vilcanota dejó una persona fallecida; 5 personas damnificadas y 875 afectadas; 165 viviendas destruidas; 12 ha de cultivo perdido.
2/18/1997	Inundación lagunar	Pampamarca, provincia de Canas	Desborde de la laguna Pampamarca dejó 48 personas damnificadas y 90 afectadas; 6 viviendas destruidas y 18 afectadas; un centro educativo afectado; 34 ha de cultivo perdido; interrupción de los tramos carreteros Pampamarca-Yanaoca y Combapata-Pampamarca.
2/21/1997	Inundación fluvial	Huarocondo	Desbordes del río Huarocondo dejaron 12 personas damnificadas, 2 viviendas destruidas, 60 ha de cultivo perdido y un puente peatonal destruido.
3/2/1997	Inundación fluvial	Acomayo	Desborde de los ríos Cachimayo y Marpamayo dejaron 110 personas damnificadas y 80 afectadas; 16 viviendas afectadas y 18 destruidas; 50 ha de cultivo afectados; carretera Cusco-Acomayo interrumpido en el sector de Chiquicahuana.
3/4/1997	Inundación fluvial	Andahuayllillas, Quispicanchis	Desbordes del río Vilcanota dejaron 280 personas damnificadas y 265 afectadas; 52 viviendas destruidas y 53 afectadas; 61 ha de cultivos de maíz y papa destruidos.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
3/5/1997	Inundación lagunar	Mosocllacta	Elevación del nivel de agua de la laguna de Tungasuca dejó 132 personas damnificadas; 12 viviendas destruidas; 185 ha de cultivo destruidas.
3/5/1997	Inundación fluvial	Caycai-Paucartambo	Desbordes del río Vilcanota dejaron 10 personas damnificadas y 50 afectadas; 2 viviendas destruidas; 15 ha de cultivo perdido.
3/5/1997	Inundación fluvial	Machu Picchu	Inundación causada por el río Vilcanota destruyó 180 metros de vía férrea en el Km. 128 de la ruta Cusco-Quillabamba; 12 viviendas inundadas en el sector de San Miguel; 2 personas damnificadas y 60 afectadas; 12 viviendas afectadas; y 5 ha de cultivo perdido.
3/6/1997	Deslizamiento	Cerro Paltaychayoc-Santa Teresa	El evento dejó 181 personas damnificadas y 31 viviendas destruidas.
3/9/1997	Inundación fluvial	Zurite-Anta	Desbordes del río Titumayo dejaron 40 personas damnificadas, 5 viviendas destruidas y 30 ha de cultivo perdido.
3/11/1997	Flujo de detritos	Zurimaná-Yanaoca	El flujo dejó 75 personas damnificadas; 15 viviendas destruidas, 40 ha de cultivo destruido y la carretera que une Zurimana y Tocuri interrumpido en el Km. 47.
3/16/1997	Flujo de detritos	Coya	Desbordes del río Vilcanota dejaron 80 personas damnificadas y 305 afectadas; 16 viviendas destruidas y 61 afectadas; 12 ha de cultivo perdido; y un centro educativo afectado.
12/12/1997	Flujo de detritos	Calca	El flujo dejó 75 personas y 15 viviendas afectadas.
1/8/1998	Inundación fluvial	Chilca, Ollantaytambo	Los desbordes del río Patacancha dejó 115 personas damnificadas, 20 viviendas afectadas y 3 destruidas.
1/13/1998	Aluvión	Río Sacsara, Santa Teresa	El evento destruyó puentes carrozables y peatonales, también la vía férrea y sus maquinarias. En Yanatile se reportaron 11 personas desaparecidas; en Huaquiña 9 desaparecidos; en la comunidad de Versalles Alta y Baja se tuvo 10 viviendas arrasadas y 3 familias damnificadas. En la cooperativa Huayquiña se tuvo 9 viviendas arrasadas; y en el sector de Península se reportaron 3 personas damnificadas. En total el evento destruyó 573 viviendas; 15 km de la carretera Santa Teresa-Yanatile afectados y 1880 m de la línea férrea Santa Teresa-Quillabamba. También se afectaron servicios de agua, alcantarillado y electricidad.
1/23/1998	Aluvión	Yanaoca-Canas	El evento dejó 54 personas damnificadas, 9 viviendas afectadas y 150 ha de cultivos perdidos.
2/7/1998	Flujo de detritos	Kiteni, Echarate	El flujo dejó 35 personas damnificadas y 7 viviendas destruidas.
2/11/1998	Aluvión	Marcapata, Quispicanchis	El evento dejó 1600 personas damnificadas y 4 fallecidas; 320 viviendas destruidas, 272 ha de cultivo destruidos y 2 kilómetros de carreteras afectadas.
2/23/1998	Deslizamiento	San Gerónimo	El evento dejó un saldo de 12 personas damnificadas y 2 viviendas destruidas.
2/23/1998	Deslizamiento	Santiago	El evento dejó un saldo de 12 personas damnificadas y 2 viviendas afectadas.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
2/26/1998	Inundación fluvial	Cusco	Desbordes dejaron 130 personas damnificadas, 17 viviendas afectadas y 2 viviendas destruidas.
2/26/1998	Aluvión	Echarate	El flujo dejó 250 personas afectadas, 50 viviendas y 8 km de carretera afectada.
2/27/1998	Flujo de detritos	Machupicchu	El evento dejó 65 personas damnificadas, 13 viviendas afectadas y 9 ha de cultivos afectados.
2/27/1998	Aluvión	Río Aobamba-Santa Teresa	El flujo que bajó por el río Aobamba represó el río Vilcanota, causando el levantamiento del nivel de sus aguas provocando a su vez que se cubran las estructuras de la C.H. de Machupicchu ubicadas en este valle; fueron afectadas sus cavernas con sus respectivas salas de máquinas, patio de transformadores, casa de control y mando, algunas torres de alta tensión y parte del campamento. También fueron afectados caminos vecinales, 12 km de la vía férrea, los caseríos de Luycho, Colpani, Manqui y Manahuafusca y la pérdida de vidas humanas.
12/2/1998	Deslizamiento	Cerro Inkatambo-Huyro, Huayopata	El evento dejó 5 personas damnificadas, 3 personas muertas y un kilómetro de carretera afectada.
12/11/1998	Flujo de detritos	Calca	El evento dejó un saldo de 90 damnificadas, 15 viviendas afectadas y 35 ha de cultivos perdidos.
12/20/1998	Flujo de detritos	Sierra Bella, Cay Cay	El evento dejó 65 personas damnificadas; 10 viviendas afectadas y una destruida; y 3 ha de cultivos perdidos.
1/25/1999	Flujo de detritos	Ollantaytambo-Cusco	El flujo causó el represamiento del río Vilcanota, cuyas aguas se desbordaron y afectaron la línea férrea en un tramo de 200 m de longitud, entre el Km. 96+300 al 96+500, interrumpiéndose el servicio de tren Cusco-Machupicchu.
2/26/1999	Deslizamiento	Ocobamba, La Convención	El evento dejó 30 personas damnificadas, 10 viviendas afectadas y una destruida.
1/6/2000	Deslizamiento	Chincheru, Urubamba	El evento dejó un saldo de 24 personas damnificadas, 40 ha de cultivos perdidos y 2 viviendas afectadas.
4/21/2000	Deslizamiento	Cusco	Se reportaron como daños una persona muerta y 3 heridas; una vivienda destruida y 4 afectadas.
9/8/2000	Aluvión	Comunidad de Arma, Vilcabamba	El evento dejó una persona muerta, 10 personas desaparecidas y 24 damnificadas, 4 viviendas destruidas; una posta médica afectada; y un salón comunal arrasado.
11 y 24/01/2001	Deslizamiento	A. H. Tincoc, Santiago	Se produjeron 2 deslizamientos en esas fechas que destruyeron 6 viviendas y afectaron 7; también dejó en total 65 personas damnificadas.
1/31/2001	Flujo de detritos	Sectores de Amazonas y Muñikituyoc, Písac	En el sector de Amazonas se reportaron 7 viviendas destruidas y 42 personas damnificadas; en el sector de Muñikituyoc se tuvo 7 viviendas destruidas y 35 personas damnificadas.
2/3/2001	Flujo de detritos	Centro Poblado Qosqo Aylo, San Salvador	Se reportaron 30 viviendas destruidas, 10 ha de cultivos destruidos, 15 personas damnificadas y 60 afectadas.
2/3/2001	Flujo de detritos	Choquepata, Oropesa	El evento afectó 13 viviendas, 65 personas resultaron damnificadas y un centro educativo dañado.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
2/5/2001	Flujo de detritos	Localidad de Huancalle, Taray	El evento dejó 85 personas damnificadas, 16 viviendas destruidas, un centro de salud afectado y 3 puentes peatonales destruidos.
2/9/2001	Inundación fluvial	Echarate bajo, La Convención	Desbordes de ríos tributarios del Urubamba dejaron 5 viviendas afectadas y 30 personas damnificadas.
2/16/2001	Deslizamiento	Pichigua, Colquepata	El deslizamiento dejó 4 viviendas dañadas, 20 personas damnificadas, un puente destruido, un centro de salud y una escuela dañada y 30 ha de cultivos perdido.
3/1/2001	Deslizamiento	Quiñota, Chumbivilcas	Como resultado del evento se inundaron 12 viviendas y 60 personas quedaron damnificadas.
3/1/2001	Deslizamiento	Cachabamba, Huaru, Quispicanchis	El deslizamiento afectó 4 viviendas, dejó 20 personas damnificadas.
3/6/2001	Deslizamiento	Llusco, Chumbivilcas	El evento reportó 12 viviendas afectadas y 60 personas damnificadas.
3/11/2001	Deslizamiento	Localidad de Pirque, Rondocan	El evento dejó 64 viviendas afectadas.
3/20/2001	Flujo de detritos	Chile, Marcapata	El flujo dejó 15 viviendas dañadas y 75 personas damnificadas.
8/8/2001	Deslizamiento	Oropesa, Quispicanchis	El evento dejó 60 viviendas dañadas y 65 personas damnificadas.
3/13/2002	Inundación fluvial	Acomayo	Desborde del río Cachimayo destruyó 4 puentes vehiculares, dejó 18 viviendas inundadas, afectando en total a 90 personas.
Años 1920, 1966, 1967, 1982, 1987, 1994 Enero y junio de 2001	Flujo de detritos	Quebrada Hatun Wayqo, Saylla-Cusco	En la quebrada a través de los diversos episodios de flujos de detritos, han ocurrido los siguientes daños. - Terrenos de cultivo y viviendas afectadas en la comunidad campesina de Anawarque. - Viviendas afectadas en el poblado de Saylla. - Huaico bajado por la quebrada Hatun Waiqo embalsó el río Huatanay, destruyó un colegio, dañó algunas viviendas y la carretera Cusco-Sicuani.
1/4/2002	Inundación fluvial	Huancalle, Taray	El desborde del río Huancalle inundó 8 viviendas, dejando 40 personas damnificadas y 10 ha de cultivo perdido.
1/31/2002	Inundación fluvial	Huaru, Quispicanchis	Desbordes del río Hatunmayo inundó 4 viviendas y dejó 24 personas damnificadas, produjo la colmatación del cauce principal del río, interrumpió caminos y calles de la comunidad, interrumpió el servicio de agua potable.
1/31/2002	Inundación fluvial	Urbanizaciones San Juan de Dios, Los Jardines Virgen del Rosario, Perolpujio y Chimpahuaylla; San Gerónimo, Cusco	Los desbordes del río Huatanay inundaron 4 viviendas dejando 20 personas damnificadas, además las aguas invadieron las calles.
2/4/2002	Erosión fluvial	Naciones Unidas, A. H. 1.º de Mayo y Villa Corpac; San Sebastián	Este evento dejó 35 personas damnificadas, se inundaron 6 viviendas, algunas viviendas colapsaron por erosión en la base de las terrazas en las cuales se asentaban.
2/25/2002	Flujo de detritos	C.C. Huancalle, Pisac	Afectó 5 viviendas y un número no precisado de hectáreas de cultivos.
3/13/2002	Flujo de detritos	Quiquijana	El flujo dejó 2 viviendas destruidas y 12 personas damnificadas.
3/20/2002	Inundación fluvial	Localidades de San Camilo y Los Cipreses; San Sebastián	Desbordes por incremento en el caudal del río Tancarpata, dejaron 2 personas muertas, 2 heridas, 10 viviendas destruidas y 9 inundadas.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
3/21/2002	Inundación fluvial	C.C. Sierra Bella y Huambutío, Lucre	Huaico que bajó por la quebrada Sierra Bella represó parcialmente el río Vilcanota y este a su vez al río Huatanay, ocasionando desbordes que dejaron 70 personas damnificadas y 11 viviendas afectadas.
4/3/2002	Inundación fluvial	C.C. Huchuy Qosqo, Lamay	Los desbordes de ríos y lagunas dejaron 5 viviendas inundadas y 25 personas damnificadas.
1/27/2003	Inundación fluvial	Sectores de Huancarki y Juan Espinoza Medrano en la comunidad de Cchona; Santiago	Desbordes del río Chocco dejó 130 personas damnificadas, 4 muertos, 14 viviendas afectadas, 24 destruidas y 40 inhabitables.
3/19/2003	Deslizamiento	Sector de Wiscachani, Vilcabamba	El evento dejó una persona desaparecida, 2 fallecidas y una herida.
Sep-03	Cárcavas, deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos	Cuyo Chico, Ampay y Ccotataqui-Písac	Asentamientos de 200 m de la plataforma de la carretera Pisac-Complejo Arqueológico de Písac. 6 viviendas en el sector de Cuyo Chico y unos 40 m de carretera pueden ser afectados por reactivación de deslizamiento antiguo. Asentamiento de viviendas y un colegio en Cuyo Chico. Colegio de la comunidad de Ampay con agrietamiento de paredes por efectos de asentamientos de terrenos. Asentamiento en la trocha Cuyo Chico-Ccotataqui.
12/15/2003	Inundación fluvial	Urbanización San Felipe y Barrio Miraflores, Sicuani	Desbordes del río Vilcanota dejaron 150 personas damnificadas, un centro de salud y 30 viviendas afectadas.
1/10/2004	Inundación fluvial	Oropesa, Quispicanchi	Los desbordes de los ríos Huatanay y Pachatusan dejaron 100 personas y 20 viviendas afectadas.
1974 11/29/1981 1/18/2004	Deslizamiento y flujo de detritos	Quellouno, La Convención	En 1974, un flujo destruyó el pueblo de Quellouno, dejó un muerto y varios heridos. En 1981, el deslizamiento presenta actividad intensa con avances de hasta 10 m diarios que no llegan a canalizarse por la quebrada; afectó 100 m de la carretera a Putucusi. El año 2004, fueron afectadas 105 personas y 21 viviendas.
2/14/2004	Inundación fluvial	Santa Teresa, La Convención	Desbordes del río Salcantay afectaron 130 personas y 26 viviendas.
2/15/2004	Inundación fluvial	Saylla, Cusco	Desbordes de los ríos Chocco, Huancaro y Huatanay dejaron 50 personas y 10 viviendas afectadas.
4/10/2004	Inundación fluvial	Machupicchu, Urubamba	Los desbordes del río Alcamayo dejaron 43 personas afectadas, una persona herida, 4 fallecidas y 7 desaparecidas; 16 viviendas afectadas; destruyó la vía férrea, a consecuencia de esto se suspendió el servicio turístico de trenes hacia Machupicchu.
8/8/2004	Deslizamiento	Cotaña, Capacmarca	El evento afectó a 150 personas, así como también a 50 viviendas.
12/23/2004	Deslizamiento	Comunidad de Saclo, Calca	El evento dejó 100 personas afectadas, una persona desaparecida, una fallecida, 20 viviendas destruidas y 10 ha de cultivos afectados.
2/17/2005	Aluvión	Maranura, La Convención	El evento dejó 25 personas damnificadas, 2 fallecidas; 5 viviendas destruidas y 21 afectadas; 15 km de carreteras afectadas.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
4/1/2005	Deslizamiento	Marcapata, Quispicanchi	El evento dejó 300 personas damnificadas, 62 viviendas destruidas y un kilómetro de carretera afectada.
1/2/2006	Deslizamiento	Lacco, Quellouno, La Convención	El evento dejó 44 personas damnificadas, 7 viviendas destruidas, 2 km de carretera y 2 puentes afectados.
1/15/2006	Inundación fluvial	H u a r c a r p a y - L u c r e , Quispicanchi	Desborde del río Huatanay afectó 235 personas y 47 viviendas.
1/15/2006	Inundación fluvial	Localidad de Sambaray-Santa Ana, La Convención	Desbordes de los ríos Chuyapi y Sambaray, dejaron 16 personas damnificadas y 4 viviendas destruidas.
1/16/2006	Inundación fluvial	Saylla, Cusco	Los desbordes del río Huatanay afectaron 150 personas y 30 viviendas.
1/17/2006	Inundación fluvial	Cusco, Cusco	Desborde del río Saphy afectaron 50 personas y 10 viviendas.
1/20/2006	Inundación fluvial	Ccolcca-Quiquijana	Fueron afectados 35 personas, 7 viviendas y 9 ha de cultivos.
1/21/2006	Inundación fluvial	Siusa, San Salvador	Desbordes del río Huatanay dejaron 110 personas afectadas, 22 viviendas afectadas y 2 destruidas.
1/27/2006	Inundación fluvial	Localidad de Succso, San Jerónimo, Cusco	Desbordes del río Huatanay afectaron 600 personas y 120 viviendas.
2/3/2006	Inundación fluvial	Uchupampa, Tinta	Desbordes del río Vilcanota dejaron 50 personas y 10 viviendas afectadas.
2/6/2006	Inundación fluvial	Senccachectuyoc, Sicuani	Desbordes del río Vilcanota afectaron a 50 personas y 10 viviendas.
2/23/2006	Inundación fluvial	Luy Luy, Yanatile	Desbordes del río Luy Luy dejaron 275 personas afectadas, 55 viviendas y un puente afectado.
2/23/2006	Inundación fluvial	San Pablo, Canchis	Desbordes del río Chihuaco dejaron 750 personas y 150 viviendas afectadas.
3/14/2006	Deslizamiento	Palestina Baja- Quimbiri	El evento dejó 385 personas afectadas, 77 viviendas afectadas y 12 destruidas, 1.5 km de carretera afectadas.
1/15/2007	Inundación fluvial	Quimbiri-La Convención	Desbordes del río Quimbiri afectó a 510 personas, 1.2 km de carretera y 300 ha de cultivos.
1/20/2007	Deslizamiento	San Sebastián-Cusco	El evento dejó 20 damnificados y 5 viviendas destruidas.
1/30/2007	Deslizamiento	Ivochote-Echarate	Quedaron damnificadas 12 personas y 2 viviendas fueron destruidas.
3/4/2007	Deslizamiento	Socapata, Marcapata-Quispicanchi	El evento dejó 26 personas damnificadas y 6 viviendas destruidas.
3/10/2007	Deslizamiento	Manto Real-Echarate	Quedaron damnificadas 35 personas y 8 viviendas fueron destruidas.
3/31/2007	Deslizamiento	Hatunpampa-Santa Teresa	Quedaron damnificadas 17 personas, una murió y 3 viviendas fueron destruidas.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
4/3/2007	Inundación fluvial	San Lorenzo-Ocobamba	Desbordes del río San Lorenzo dejaron 120 personas damnificadas, 24 viviendas destruidas y el 70 % del servicio de agua interrumpido, y un puente afectado.
2/6/2008	Flujo de detritos	Nueva Esperanza-Echarate	El evento destruyó 3 viviendas y dejó 12 personas damnificadas.
2/1/2009	Flujo de detritos	La Florida-Limatambo	El flujo dejó 30 personas y 6 viviendas afectadas. También se perdieron 21 ha de cultivos de maíz.
4/10/2009	Deslizamiento	Localidad de derrumbe-Maranura	El evento dejó 42 personas afectadas, 5 viviendas destruidas. El servicio de agua y luz se interrumpieron parcialmente. Además 1.2 km de carretera fue afectada y varias ha de cultivos destruidos.
9/23/2009	Deslizamiento	Localidad de Santa Rosa-Kozñipata	Colapso de material del cerro de Bienvenida. Esto afectó 150 personas y 30 viviendas, 10 ha de cultivo perdido.
1/24/2010	Flujo de detritos	Localidades de Chosepata, Huasao y Pinahua-Oropesa	Los daños registrados fueron 4142 personas damnificadas y 1025 afectadas; 125 viviendas dañadas y 31 destruidas; 2 colegios resultaron afectados; un centro de salud destruido; 4 puentes afectados; 12 km de carretera devastada; y 59 ha de terrenos para riego destruidos.
1/22/2010	Derrumbe y represamiento	Cerro Huahuachayoc, río Chaquil	Rotura del dique formado en el río Chaquil formó un aluvión que se encausó por el río Colorado y afectó las localidades de Huertahuayco, Sondorf, Huayroncca y localidades aledañas a Limatambo. También destruyó canales de riego y tuberías de agua. Hubo daños en la carretera Cusco-Limatambo-Abancay entre los Km. 768+000 al 791+000.
1/26/2010	Alud	Capacmarca, Chumbivilcas	El evento dejó 857 personas y 37 viviendas afectadas. Además destruyó 7 viviendas.
Jan-10	Inundación y erosión fluvial; deslizamientos	Puente Agua Buena y urbanización Cachimayo, distrito de San Sebastián	Incremento del caudal del río Huatanay causó los siguientes daños. 2 personas muertas en el sector de A.P.V. Santa Rosa por deslizamiento de talud. Erosión en la Av. Pachacamac hasta la Vía de Evitamiento y desbordes que afectaron viviendas. Hubo inundación y colapso de edificaciones entre el puente Corpac y la A. P. V. Surihuaylla. Colapso de estructuras de protección ribereña e inundación de viviendas en las urbanizaciones San Antonio, A. P. V. Las Joyas, Munay, Los Manantiales, Naciones Unidas, Moyopata, San Martín de Porres y Santa Rosa de la Guardia Civil.
1/26/2010	Inundación fluvial	Sector de Huayroncolloc Pampa-Ollantaytambo	El río Vilcanota inundó 15 viviendas, la plaza principal, la iglesia y terrenos de cultivo.
Jan-10	Inundación y erosión fluvial	Tanccac Pampa-Ollantaytambo	El desborde del río Vilcanota produjo el colapso del puente San Pedro; además erosionó la plataforma de la carretera Ollantaytambo-Piscaycucho y la plataforma de la línea férrea Ollantaytambo-Aguas Calientes.
1/17/2010	Flujo de detritos	Subcuenca del río Chicon-Urubamba	Afectó pastos naturales, zonas agrícolas y viviendas. Se canalizó por las principales avenidas de la ciudad de Urubamba, erosionó el asfalto y destruyó sistemas de agua y desagüe de los sectores de Cichubamba, San Isidro, Yanaoca y Urubamba distrito.
Jan-11			

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
1/28/2010	Deslizamiento, flujo de detritos	Zurite-Anta	El evento dejó 42 viviendas inhabitables, 48 viviendas afectadas, la Institución Educativa Mixta N.º 118 quedó colapsada. El Centro de Salud también. El Centro Cívico, inhabitable. La Municipalidad, el templo y el mercado, afectados
24 al 27/02/2010	Erosión fluvial	Machupicchu Pueblo- Urubamba	El incremento del río Urubamba erosionó su margen derecha, lo que provocó el colapso de la línea férrea. Además, destruyó 10 viviendas y debilitó bases de hoteles construidos en el cauce del río. El evento destruyó el malecón del poblado y socavó 150 m de la carretera que une con la ciudadela Inca de Machupicchu.
Jan-11	Inundación fluvial	Huycho-Urubamba	Destrucción del Puente Huycho, colapso de unas 23 viviendas.
Jan-11	Inundación y erosión fluvial	Puente Huayllabamba- Urubamba	Socavamiento de las bases del puente Huayllabamba, por lo que fue interrumpido el tránsito de vehículos.
Jan-11	Inundación y erosión fluvial	Yucay-Urubamba	Erosión de 500 m de plataforma de carretera, inundación de terrenos de cultivo.
2/3/2011	Deslizamiento	Lares-Lares	El evento dejó 750 personas afectadas y 175 damnificadas; 150 viviendas dañadas y 35 destruidas; 2 centros de salud y un colegio afectados; 4 puentes dañados y 4 destruidos y la interrupción total del servicio de electricidad.
2/23/2011	Inundación fluvial	Localidades de Jatun Rumi y Pichari-Pichari	Los desbordes del río Apurímac dejaron los siguientes daños: 2625 personas afectadas y 1200 damnificadas; 525 viviendas resultaron afectadas y 240 destruidas. Además, 3 colegios fueron dañados y el servicio de electricidad interrumpido. Asimismo, 70 m de carretera y 1065 ha de cultivos resultaron afectados.
2/24/2011	Deslizamiento-flujo de detritos	Mesacancha-Ipal, Vilcabamba	En la quebrada Puentemayo se reportaron 5 personas muertas, 10 desaparecidas, 100 damnificadas, 20 viviendas y 200 m de carretera destruidas. En la quebrada Ayancate se tuvo 125 personas damnificadas y 75 afectadas, 25 viviendas destruidas.
Enero y febrero del 2011	Deslizamiento	Comité N.º 7 de la Cooperativa de Vivienda Zarzuela, Santiago-Cusco	Fueron afectadas 15 viviendas.
Enero, 2010 y febrero 2011	Deslizamiento	A. P. V. Coripata, Santiago	El evento afectó viviendas de Coripata.
Febrero/2013	Erosión fluvial	Sectores de Beatriz, Collpani y Mandor/derrumbe y Platanal; La Convención	Destrucción de viviendas y terrenos de cultivo de la margen izquierda del río Vilcanota. Destrucción de defensas ribereñas y cultivos en el sector de Mando. Erosión fluvial intensa en los sectores de Beatriz Bajo y Collpani.

Fecha	Tipo de peligro	Localidad	Daños
2/12/2013	Flujo de detritos	Huyro-Huayopata	El flujo dejó 5 personas muertas; destruyó 33 viviendas del barrio antiguo de Huyro; 4 puentes peatonales y uno carrozable quedaron devastados. El evento enterró un puente carrozable; represó y desvió el curso del río Lúcumo hacia su margen izquierda, lo que provocó la erosión del talud inferior de carretera y destruyó una vivienda.
2/14/2013	Flujo de detritos	Quebrada Yuracmayo o Chinche, Maranura	Destruyó un puente carrozable, 5 viviendas ubicadas cerca del cauce de la quebrada y poza séptica para el tratamiento de aguas servidas. Además 4 personas murieron.
4/13/2013	Deslizamiento	Ocobamba-La Convención	El evento destruyó 30 viviendas ubicadas en la avenida principal de Ocobamba y dejó 150 personas damnificadas. Se colapsaron sistemas de agua potable y desagüe. Esto afectó plantaciones de café.
1950 Dec-85 Feb-86 Apr-14	Deslizamiento	Ranraccasa, Yaurisque-Paruro	Destrucción de terrenos de cultivo localizados en el cuerpo del deslizamiento. Destrucción de 228 m de la carretera que conduce a Paruro.
3/16/2015	Deslizamiento, flujo de detritos	Ccollpaccata-Limatambo	Causó la pérdida de terrenos de cultivo, viviendas, animales domésticos, sistemas de agua potable y electricidad. También destruyó una de las carreteras de acceso hacia la comunidad de Ccollpaccata.

Fuente: INGEMMET, INDECI.

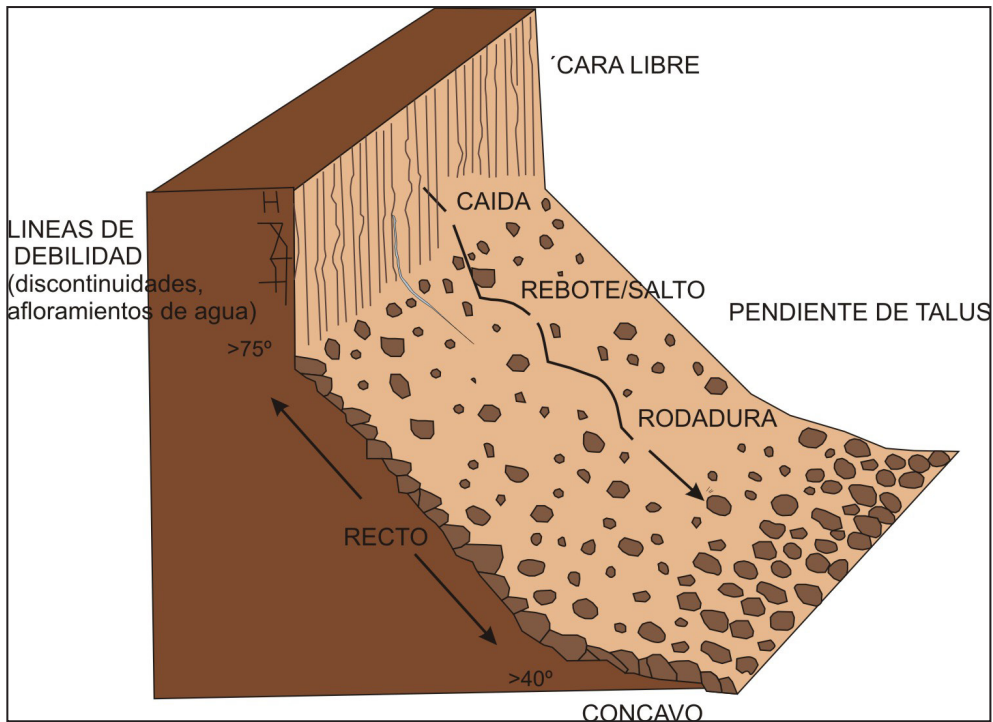


Figura 6.1 Tipo de movimientos seguidos por un bloque caído desde un talud o ladera.

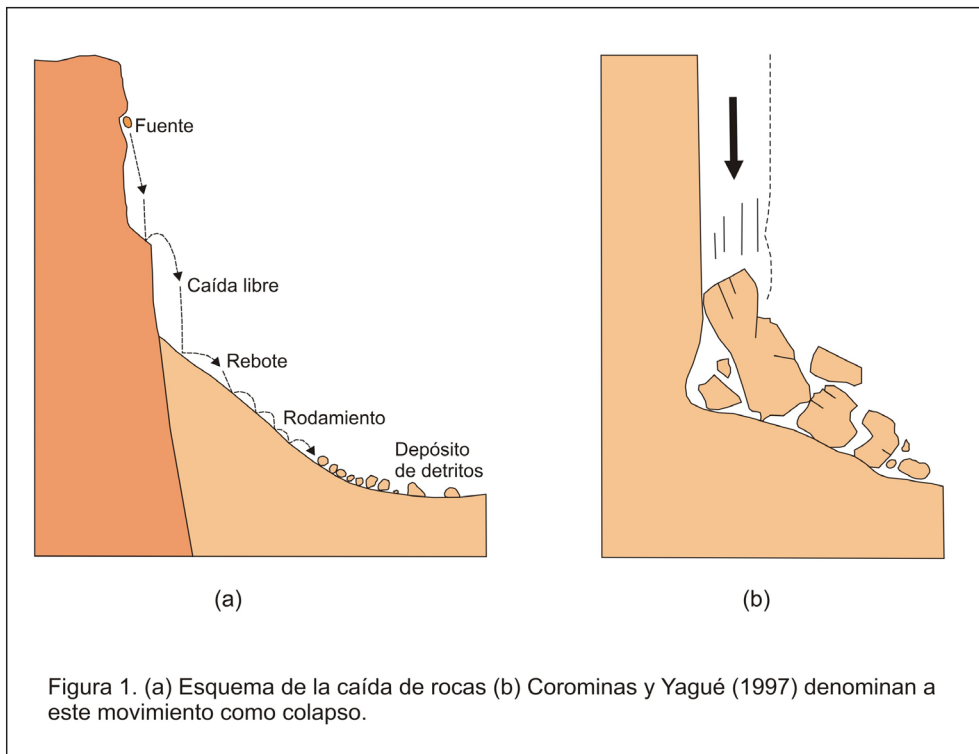


Figura 6.2 (a) Esquema de la caída de rocas. (b) Corominas y García Yagué (1997) denominan a este movimiento colapso.

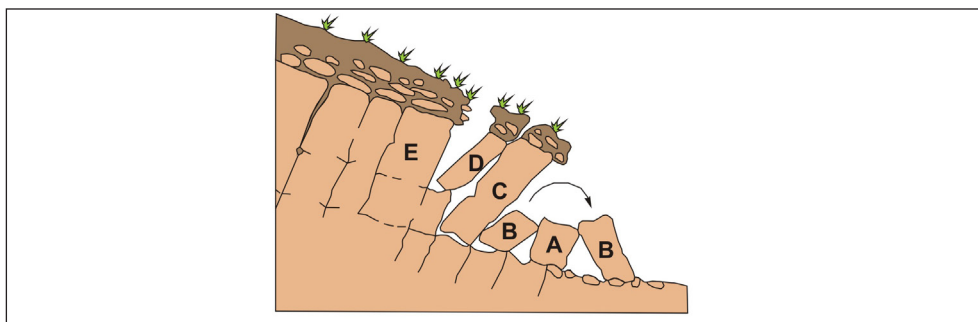


Figura 6.3 Esquema del vuelco en bloques (Freitas y Waters, 1973, en Radbruch-Hall & Varnes, 1976).

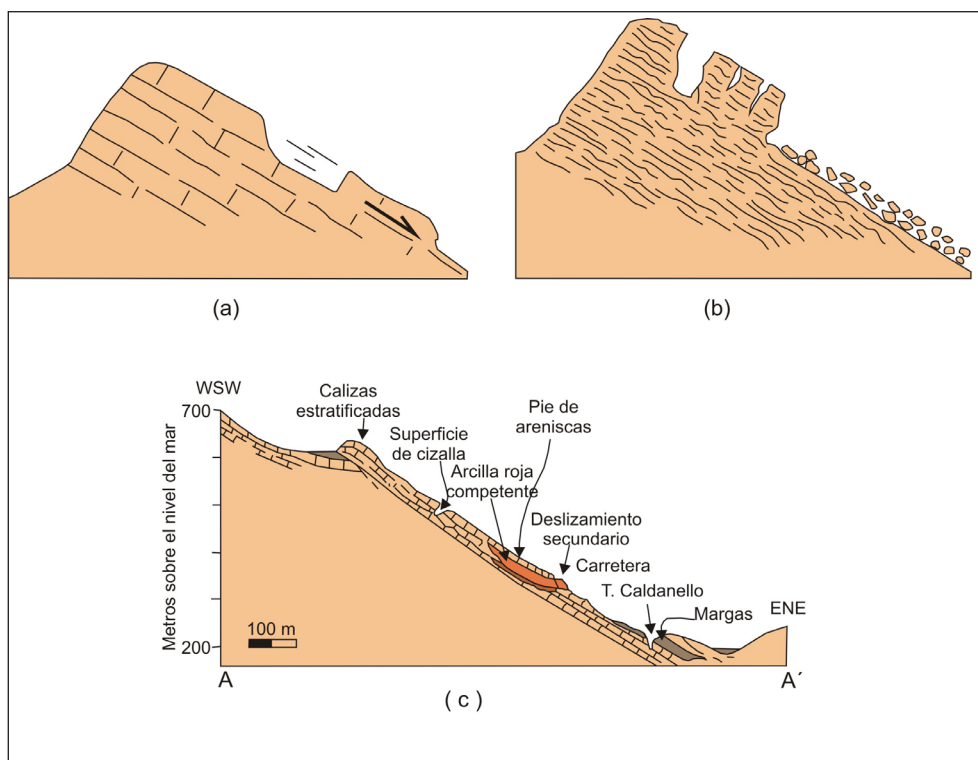


Figura 6.4 (a) y (b) Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento según Corominas y García Yagué (1997), (c) Esquema de un deslizamiento traslacional en roca en Cerchiaria di Calabria, sur de Italia, según Antronico et al. (1993), en Dikau et al. (1996) (Tomado de Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

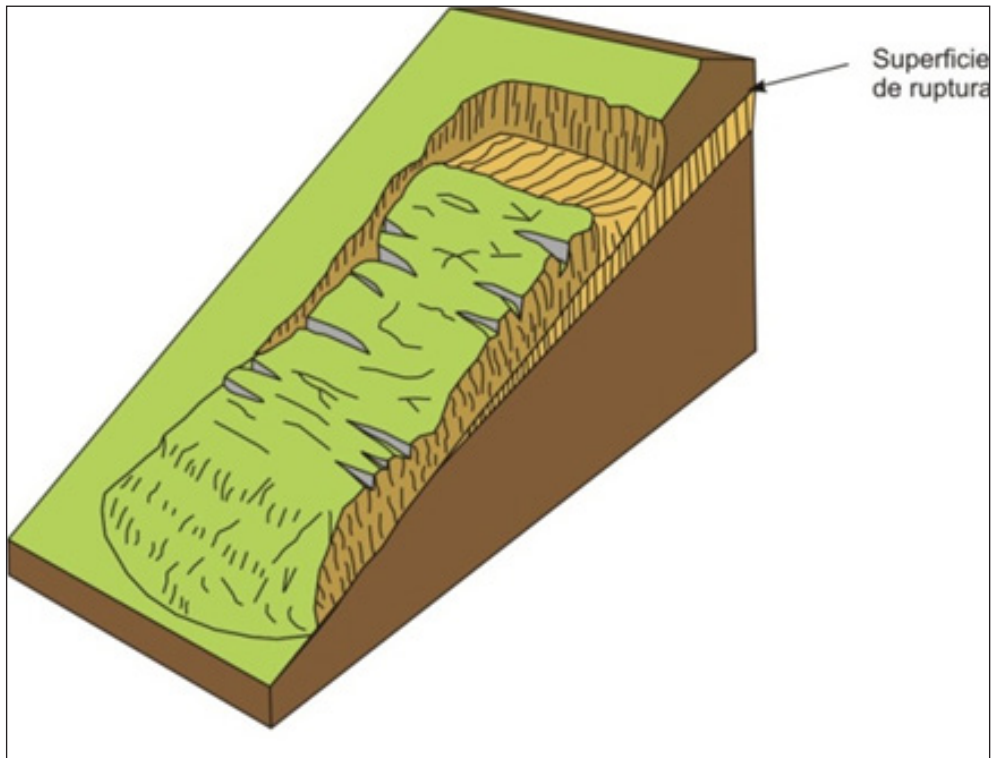


Figura 6.5 Esquema de un deslizamiento traslacional.

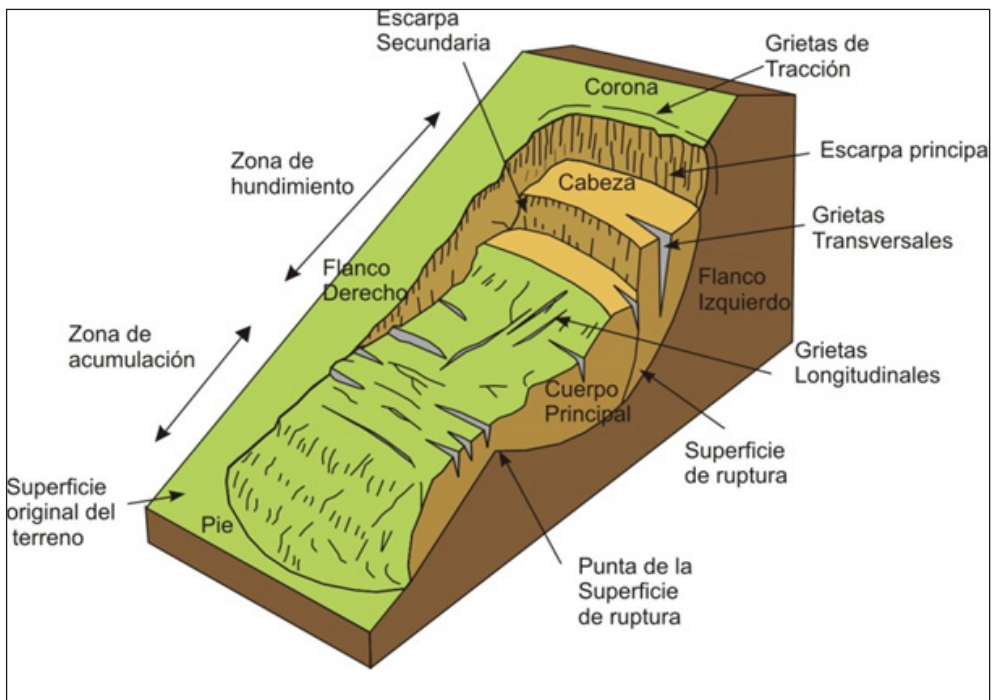


Figura 6.6 Partes de un deslizamiento rotacional.

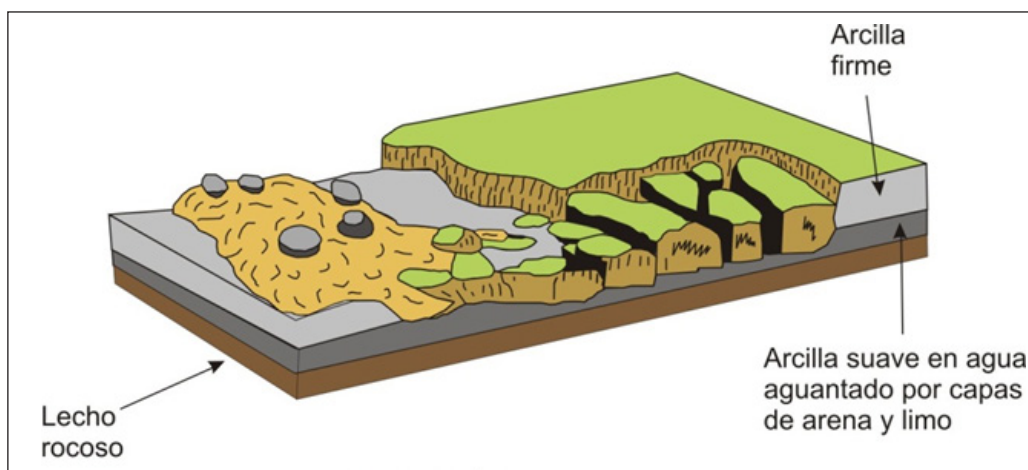


Figura 6.7 Esquema de una expansión lateral.

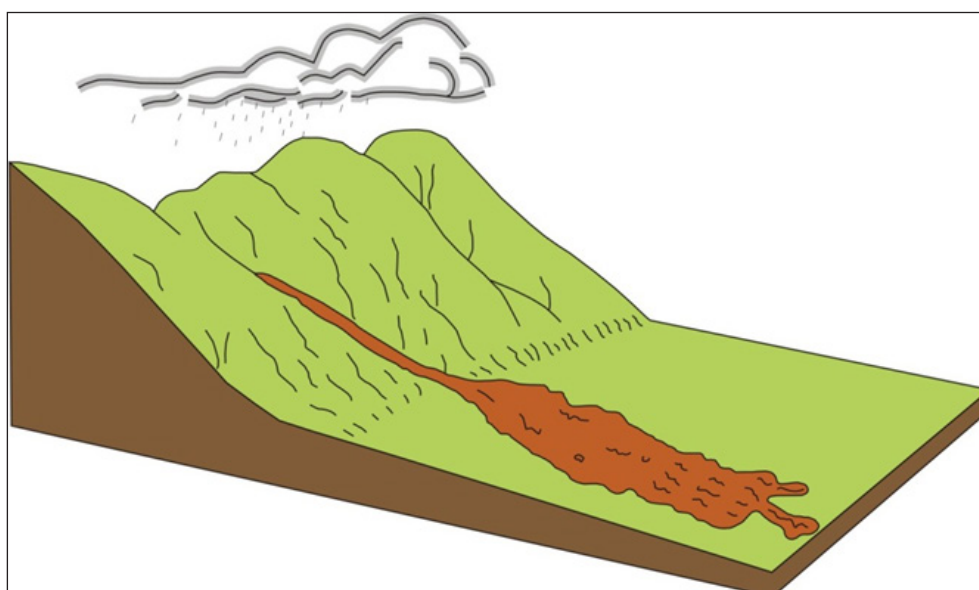


Figura 6.8 Esquema donde se muestra el depósito que forma un flujo de detritos.

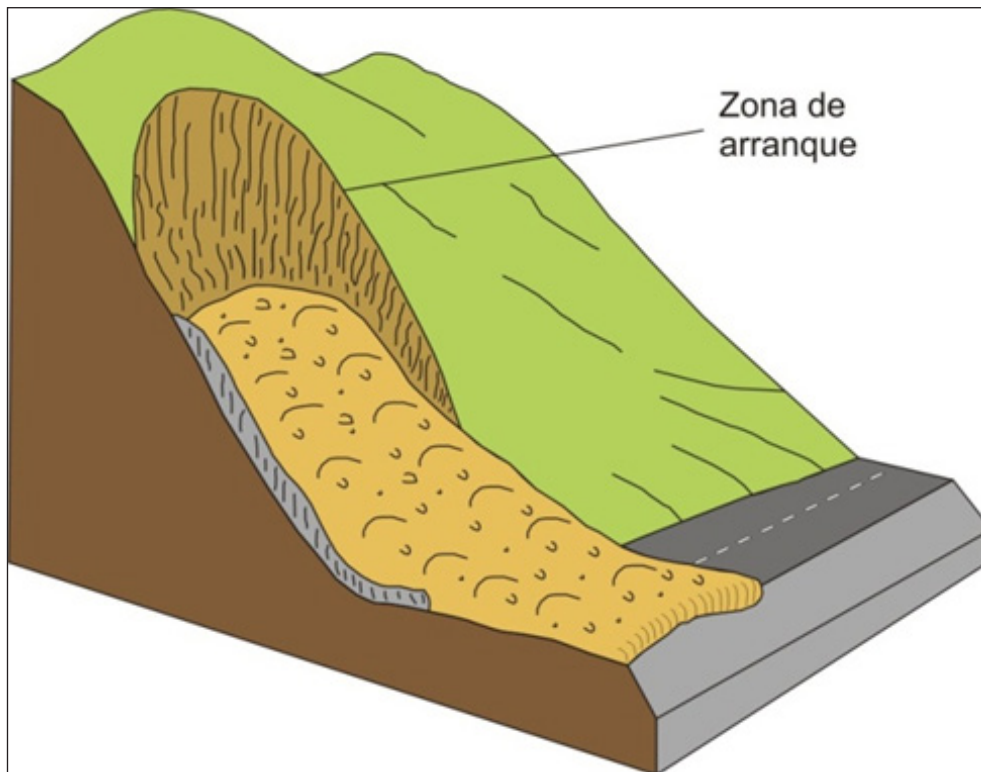


Figura 6.9 Esquema de una avalancha de rocas.

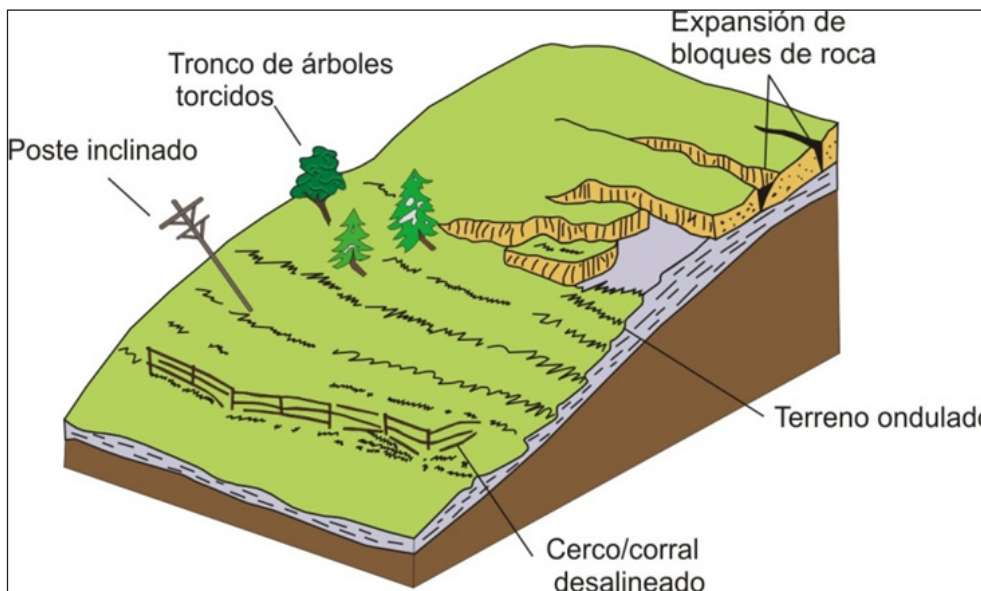


Figura 6.10 Esquema de una ladera afectada por reptación de suelos.

6.5 OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

Erosión de laderas

Este tipo de movimientos es considerado predecesor de la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta debido a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo (Figura 6.11). En el primer caso, por el impacto; y, en el segundo caso, por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo y se generan los procesos de erosión (Duque et al., 2016).

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

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia abarca los siguientes procesos:

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

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

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

Hundimientos

La subsidencia comprende los desplazamientos verticales del terreno, asociados a remoción lenta de material debajo de la masa que se hundirá, ya sea de forma natural (disolución de calizas, erosión de túneles) o antrópica (explotaciones mineras,

túneles viales y socavones para hidroeléctricas) (Villota, 2005). Un hundimiento es el colapso de una masa de suelo o roca por efectos del desplome del techo de una caverna, galería o túnel artificial.

6.6 FACTORES DE INESTABILIDAD DE LAS LADERAS

Los factores que intervienen en la ocurrencia de un movimiento en masa son variados, estos son agrupados por los distintos autores bajo diferentes categorías. Para Ferrer (1987), estos factores pueden ser agrupados en 2 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 a las características intrínsecas, relacionadas con la resistencia de los materiales (litología, estratificación, consolidación, tamaño de partículas, etc.) y los estados de esfuerzos. Las características extrínsecas están relacionadas con la morfología de la ladera (pendiente de la ladera y su disposición respecto a discontinuidades geológicas, y la orientación de la ladera), y con las condiciones ambientales de la zona (cambios estacionales de temperatura, tipo de vegetación).

Los factores externos. Actúan sobre los materiales modificando las condiciones originales de las laderas. Además, provocan 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 se determinará por su grado de cohesión, fricción interna, presencia de fallas, diaclasas, planos de estratificación, de exfoliación, buzamiento de los estratos, discontinuidades litológicas con alternancia de materiales duros y blandos, o por permeabilidades e impermeabilidades.

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 produce todo tipo de movimientos en masa más o menos lenta. Por encima de los 30° ocurren con mayor frecuencia movimientos rápidos. En pendientes verticales a subverticales se producen caídas de rocas por ser escasa la presencia de suelos. Otra forma de incidencia de la topografía

está relacionada con la ruptura de la continuidad de la ladera, determinada por fallas, o por acción antrópica (construcción de carreteras), socavamiento por corriente fluviales y por olas. Todo esto crea 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. El más frecuente refiere aquel que ocurre en zonas donde se presentan lluvias fuertes y prolongadas que humedecen y saturan materiales poco o nada coherentes, porosos e intensamente fracturados. 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 se debe a variaciones en su estado de humedad. Así, 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 lo 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 y hasta sobrepasar el límite de plasticidad; también puede 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 promueve 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 influencia en la ocurrencia de movimientos en masa. Por ejemplo, cuando se tienen árboles de raíces superficiales, estos no amarran el suelo ni retienen los movimientos. Tampoco absorben el exceso de agua infiltrada a alguna profundidad, como sucede con las especies de raíces profundas y ávidas de agua, como el eucalipto. El pastoreo y pisoteo excesivo de ganado en los terrenos de ladera favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.

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

El tiempo, aunque no se considera un factor, resulta ser un parámetro fundamental en la estabilidad que determina la seguridad en los taludes. Aquel influye sobre aspectos como

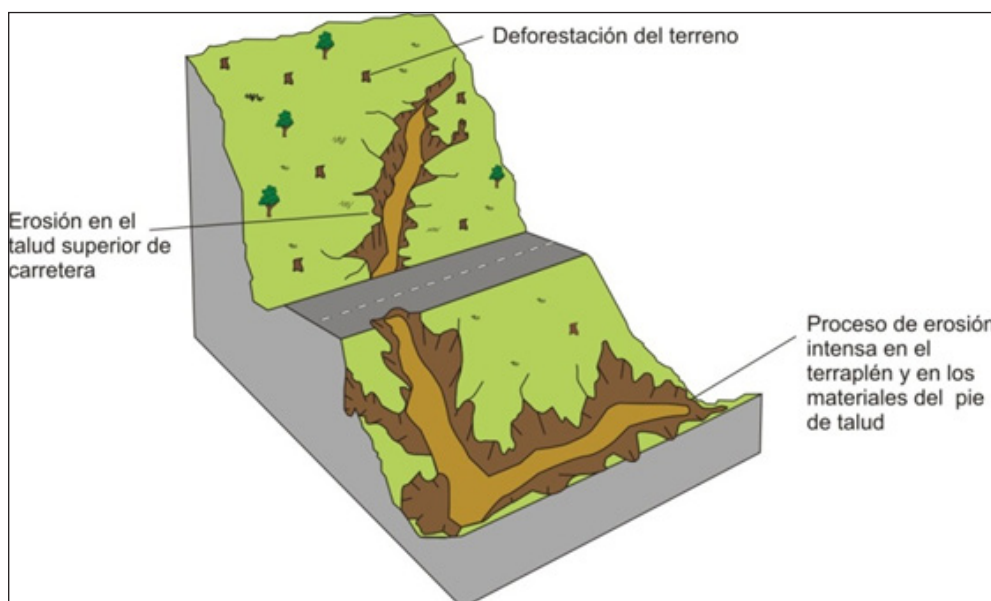


Figura 6.11 Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

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 los había. Estos suelos pueden ser propensos a la ocurrencia de un movimiento en masa.

6.7 EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD RECONOCIDAS

La cartografía geomorfológica-geodinámica efectuada en la región Cusco puso especial atención a las geoformas relacionadas con procesos de movimientos en masa, tanto de eventos antiguos como recientes. Para ello, se utilizaron fotografías aéreas disponibles de los años 1962 y 1963, imágenes satelitales de alta resolución disponibles en la plataforma Google Earth y mapas topográficos actualizados del IGN a escala 1:100 000, cuya escala de trabajo fue elevada a 1:50 000.

La evolución de las vertientes o laderas, las formas de depósito y/o erosión reconocidas asociadas a movimientos en masa son las siguientes:

Formas de depósitos de movimientos en masa:

- Depósitos de movimientos en masa de dimensiones grandes (deslizamientos, derrumbes y avalanchas de rocas), cartografiados a escala 1:50 000 y, en algunos casos, de escala menor.
- Depósitos de flujos antiguos de dimensiones variables, tanto de origen deluvial como proluvial que muestran cierres parciales de valles.
- Conos o abanicos de mayor dimensión (aluvionales), por ejemplo, los que se encuentran en la Cordillera Occidental. Así se tienen los afluentes del río Oquero en la provincia de Espinar, los abanicos aluviales de las lagunas Pomacanchi (provincia de Acomayo) y Languilayo (provincia de Canas), abanicos hacia ambas márgenes del río Vilcanota, entre las cordilleras Occidental y Oriental. Grandes abanicos aluviales que descienden de la Cordillera Oriental atraviesan la faja subandina y se depositan en la llanura amazónica (ríos Urubamba y Camisea, en la provincia de Echarate; Pilcopata, Queros, Sabaluyoc y Toro, en la provincia de Paucartambo; y los ríos Araza y Camanti, en la provincia de Quispicanchi).
- Depósitos de movimientos en masa de diferente tipo con represamientos de valles principales o secundarios.
- Depósitos de vertiente o piedemonte con formas irregulares, muchas veces asociadas a movimientos en masa.

Formas de erosión:

- Canales o surcos de erosión pluvial, cárcavamientos, por ejemplo, procesos de erosión de laderas que forman surcos y cárcavas, que afectan montañas entre los distritos de Ccatca y Urcos.
- Cicatrices de deslizamientos antiguos, caídas o derrumbes y vuelcos recientes.
- Irregularidades en el terreno en laderas de baja a fuerte pendiente por procesos de reptación, que involucran rompimiento de cobertura vegetal (pastizales).

6.8 PELIGROS GEOHIDROLÓGICOS

Dentro de este tipo de peligros se ha considerado la erosión fluvial o de riberas y la inundación fluvial.

Erosión fluvial

Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos, pues socava los valles, los profundiza, los ensancha y los alarga (Davila, 1999).

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

En la región Cusco, en condiciones climáticas normales, la erosión fluvial se produce a lo largo de las márgenes de los ríos Urubamba, Vilcanota, Mapacho, Paucartambo, Araza y Huatanay. Esto ocurre durante los periodos de lluvia (diciembre-marzo), que es cuando los ríos presentan caudales importantes.

Esta situación se agrava cuando se presentan lluvias estacionales extraordinarias (muy intensas) o lluvias relacionadas al fenómeno de El Niño. En ambos casos se producen procesos de erosión fluvial e inundaciones por desbordes de los ríos Urubamba, Vilcanota, Berbejo, Colorado, Mapacho, Paucartambo, Araza, Saphy, Huatanay, Velille, Oquero, Apurímac, entre otros. Se registran precipitaciones muy intensas que activan quebradas secas y afluentes de ríos principales. Se registran caudales elevados y se produce una intensa erosión fluvial a lo largo de sus márgenes, así como migración y cambios en sus cursos.

Inundación fluvial

Este es un peligro natural que se produce y ha sido evidenciado en los valles de los ríos Urubamba, Vilcanota, Berbejo, Colorado, Mapacho, Paucartambo, Araza, Huatanay, Velille y Apurímac cuando se presenta el fenómeno de El Niño o se producen lluvias estacionales de carácter extraordinario 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. Esto provoca desbordes e inundación de tierras adyacentes.

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.

6.9 INVENTARIO Y FRECUENCIA DE OCURRENCIAS

Los peligros geológicos por movimientos en masa, los denominados otros peligros geológicos (erosión de laderas) y los peligros geohidrológicos (erosión fluvial e inundaciones) fueron cartografiados 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 sistema de información geográfico (SIG), lo cual permitió su representación gráfica, debidamente ilustrada, con ejemplos de los tipos principales de peligros (Mapa 6). Además, permitió a la vez la actualización del banco de datos de peligros geológicos del Perú y efectuar análisis estadísticos sobre frecuencia y ocurrencia. Cada ocurrencia tiene, adicionalmente, una o más fotografías ilustrativas.

Para la región Cusco, se ha inventariado un total de 1682 ocurrencias de peligros geológicos, otros peligros geológicos y peligros geohidrológicos siguiendo la metodología descrita en el Capítulo I. Es necesario precisar que los eventos que se muestran en el mapa geomorfológico de la región representan una mayor cantidad de ocurrencias. Muchas de estas no cuentan con ficha de inventario, ya que proceden de los trabajos de interpretación de imágenes satelitales, por lo que se recomienda que, en los trabajos de evaluación del peligro, se use de forma conjunta el mapa de inventario de peligros y el mapa geomorfológico. Los trabajos de campo en la región Cusco se realizaron durante el año 2013 en un total de 63 días.

En Figura 6.12 se aprecia un primer análisis estadístico de las ocurrencias de peligros naturales según el origen en la región Cusco. Aquí se tiene que los peligros geológicos por movimientos en masa representan la mayor cantidad de ocurrencias con un total de 1272 eventos. Esto representa el 75.62 % del total. Los denominados otros peligros geológicos tienen 214 ocurrencias y representan el 12.72 %. Finalmente se tienen los peligros geohidrológicos con 196 ocurrencias, lo que representa el 11.65 % del total de eventos inventariados.

Al realizar un análisis estadístico de los peligros geológicos por movimientos en masa, del total de 1272 eventos inventariados

(Figura 6.13), se puede observar que, en primer lugar, se encuentran las caídas con 479 ocurrencias (37.66 %). Le siguen los deslizamientos, con 391 ocurrencias (representa el 30.74 % del total); los flujos, con 287 ocurrencias (22.56 %); reptación de suelos, con 72 ocurrencias (5.66 %); los movimientos complejos, con 42 ocurrencias (3.30 %) y, finalmente, están los vuelcos con una sola ocurrencia (0.08 %).

En la Figura 6.14, se muestra un análisis estadístico de ocurrencias por tipo específico de movimientos en masa, que permite observar que los derrumbes constituyen la mayor cantidad de ocurrencias con 430 eventos inventariados. Esto representa el 33.81% de un total de 1272 eventos registrados durante los trabajos de campo. Los derrumbes se localizan, principalmente, a lo largo de taludes de corte de carreteras que atraviesan rocas de calidad geotécnica calificada como mala a muy mala, muy fracturadas y alteradas, como sucede en la carretera Santa Teresa-Quillabamba-Echarate. Aquí el talud superior de la carretera está conformado por rocas metamórficas (pizarras, esquistos y cuarcitas) y se producen derrumbes que pueden cortar el paso de vehículos y transeúntes. Estos derrumbes también han sido identificados en los taludes superiores de los tramos carreteros Ollantaytambo-Ocobamba (cortes realizados en granioritas, granitos, pizarras y esquistos); carretera Paucartambo-Pilcopata (se ven comprometidas rocas metamórficas) y la carretera Hancarani-Huambutío (cortes realizados en substrato conformado por lutitas, limolitas y areniscas).

En segundo lugar, están los flujos de detritos con 276 eventos inventariados. Representa el 21.70% del total de ocurrencias. Los flujos se distribuyen en toda la región, y pueden ser observados a lo largo de las Cordilleras Occidental y Oriental, la faja subandina y el llano amazónico. Muchos de estos flujos se encauzan por quebradas tributarias de ríos principales a los cuales confluyen y depositan los materiales que transportan. Así se puede encontrar depósitos de flujos de detritos que forman abanicos y conos en los valles de los ríos Urubamba, Llaverio, Vilcanota, Berbejo, Colorado, Mapocho, Paucartambo, Araza, entre otros. Se debe tener en cuenta que estas quebradas no siempre se encuentran activas. Algunas obedecen a regímenes de precipitaciones pluviales extraordinarias y localizadas, lo que motiva su ocupación antrópica (por ejemplo, las ciudades de Urubamba, Ollantaytambo, Machipichu y Zurite) al existir grandes periodos de calma en los ríos y quebradas. En contraparte, se tienen depósitos de flujos de detritos que se encuentran en los valles de la Cordillera Occidental y Oriental. Esto presenta una actividad más recurrente, pues muchos de estos flujos se presentan con cada estación lluviosa.

Los deslizamientos rotacionales (con 255 ocurrencias, 20.05% del total) también se presentan distribuidos en toda la región. Son considerados eventos antiguos algunos; otros activos y

reactivados, que se encuentran comprometiendo litologías de todos los tipos; por ejemplo, rocas intrusivas, sedimentarias, volcánicas, volcánico-sedimentarias y principalmente rocas metamórficas con poca área y volúmenes comprometidos hasta configurar verdaderos mega deslizamientos, como el de Ranraccasa en Yaurisque-Paruro, con un registro de actividad de más de 100 años. Otros deslizamientos se encuentran en las laderas de ambos márgenes del valle del río Vilcanota en los distritos de Santa Ana-Quillabamba, Urcos y Caicay, valle de los ríos Paucartambo y Huilluca en los distritos de Paucartambo y Challabamba, respectivamente, y el río Checa en el distrito de Checca de la provincia de Canas.

Los deslizamientos traslacionales con 136 ocurrencias (10.69%) necesitan condiciones especiales para que se produzcan, por ejemplo, la inclinación y dirección de las fracturas y de las capas de rocas sedimentarias o metamórficas. Así también se necesita del ángulo de fricción interna de las rocas. Este puede alcanzar grandes magnitudes y se producen cuando caen lluvias excepcionales en la zona. Ejemplo de este tipo de eventos es el deslizamiento de Huamancharpa, localizado en la microcuenca del río Huancaro, distrito de Santiago, a tan solo 7 kilómetros de Cusco.

Los procesos de reptación de suelos con 72 ocurrencias (5.66% del total) se encuentran distribuidos a lo largo de zonas de bofedales, la altiplanicie, zonas glaciares y periglaciares. Estos afectan la cobertura de suelos superficiales y pueden constituir el estadio inicial de un deslizamiento o movimiento complejo.

Se reportaron 44 ocurrencias (3.46 % del total) de caídas de rocas y se identificaron de igual forma a lo largo de taludes de corte de carreteras. Aquí la disposición de las fracturas condiciona la caída de bloques de roca, clastos o detritos, de forma aislada. Los mecanismos de rotura de los taludes, las fallas planares y vuelcos fueron identificados a lo largo de la vía Ollantaytambo-Ocobamba, Paucartambo-Pilcopata, Huancarani-Huambutío, Urcos-Catcca-Ocongate, Yaurisque-Paruro, etc.

Los movimientos complejos, con 42 ocurrencias (3.3% del total), fueron principalmente derrumbes y deslizamientos al inicio. Los materiales colapsados y saturados alcanzaron gran movilidad hasta constituir flujos de detritos de gran magnitud, que alcanzaron grandes recorridos.

Finalmente, se tienen a las avalanchas de detritos, con 7 ocurrencias inventariadas (0.55%), las cuales se localizan a lo largo de laderas de pendientes abruptas que pueden configurar acantilados. Están conformados por rocas volcánicas, sedimentarias y volcánico-sedimentarias. También se reportaron aludes, con 5 ocurrencias (0.39 del total); flujos de tierra, con 4 ocurrencias (0.31% del total) y vuelcos con una ocurrencia (0.08 % del total).

La Figura 6.15 muestra la distribución estadística de los denominados "Otros peligros geológicos". Esta información nos permite ver los procesos de erosión de laderas (laminar, surcos y cárcavas) con un total 206 ocurrencias inventariadas, que representan el 96.26% del total inventariado (214 ocurrencias). Los eventos no son puntuales, sino que constituyen sectores afectados por estos procesos, como laderas de montañas cortadas por surcos y cárcavas, o cabeceras de quebradas donde la incisión en el terreno es por medio de cárcavamientos con avances retrogresivo y laterales. En estos surcos y cárcavas se pueden generar flujos de detritos, así como deslizamientos o derrumbes. Cuando la erosión de laderas alcanza un estadio muy avanzado se forman los denominados badlands o tierras malas.

Los hundimientos tienen escasa presencia en la región. Solo se identificaron 8 ocurrencias (3.74 %) relacionadas, principalmente, a rocas sedimentarias con niveles de calizas (Formación Maras) en los distritos de Mollepata y Pucyura en la provincia de Anta; a rocas carbonatadas (calizas de la Formación Arcuquina), en el distrito de Livitaca; a rocas volcánico-sedimentarias (Grupo Tacaza), en el distrito de Anta; y a depósitos fluvio-aluviales, en el distrito de Urcos.

En lo que respecta a los peligros geohidrológicos, que fueron abordados en el estudio, la figura 6.16 nos muestra los procesos de erosión e inundación fluvial, y la inundación lagunar, los cuales pueden presentarse asociados en algunas ocasiones. Así se tiene un total de 142 zonas afectadas por procesos de erosión fluvial (72.45% del total de 196 ocurrencias); en 51 sectores se registraron inundaciones fluviales (26.02 %) y, en 3 sectores, inundación lagunar (1.53%). Esto se localiza, principalmente, a lo largo de los valles de los ríos Urubamba, Vilcanota, Saphy, Huatanay, Paucartambo, Mapacho, Apurímac, Araza y Kosñipata.

El grado de peligro que se le asigna a cada uno de los eventos inventariados se hace siguiendo 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. Se consideran, además, los factores detonantes en el área.

Haciendo un análisis estadístico de la calificación cualitativa del grado de peligro otorgado a cada uno de los peligros que se inventariaron en la región Cusco (1682 ocurrencias) (Figura 6.17), se concluye que el 45.30% de las ocurrencias fueron calificadas como "peligro alto". El 29.13 % de las ocurrencias ha sido calificada con "peligro medio"; el 22.95 %, como eventos con "peligro bajo"; y solo el 2.62%, con peligro "muy alto". Esta información se puede interpretar como que el grueso de eventos

inventariados se presenta en un estado activo, latente (en el caso de los flujos de detritos), o son eventos antiguos que presentaban alguna reactivación al momento que se realizó el trabajo. El volumen que comprometen significan cantidades importantes y pueden generar grandes daños. Finalmente, se registra la recurrencia de estos eventos, muchos de los cuales se producen de forma periódica-estacional y ocasional, como es el caso de los flujos de detritos que se producen en la red de drenaje que cortan las Cordilleras Occidental y Oriental.

De igual forma, el grado de vulnerabilidad de todo lo que se encuentra expuesto a determinado tipo de peligro dentro de la región considera el 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 cualitativo de los daños causados o probables a viviendas y áreas pobladas, servicios básicos y 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 Cusco (figura 6.18) nos muestra que el 41.80 % del total de 1682 ocurrencias fue calificado con una "vulnerabilidad alta"; el 39.77 %, con "vulnerabilidad media"; el 11.59 %, con "muy alta vulnerabilidad"; y solo el 6.84 % de los eventos presenta una "vulnerabilidad baja". Esto puede interpretarse como que, ya sea dentro o en el área de influencia de cada uno de estos eventos identificados, casi siempre se encuentran elementos expuestos que pueden resultar afectados con las reactivaciones de los eventos o su ocurrencia periódica, como es el caso de los deslizamientos, que 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. En el caso de los derrumbes y caídas de rocas, estos ocurren principalmente en taludes de corte de carretera. Los elementos expuestos son los vehículos y personas que transitan por ellas y pueden llegar a causar muertes, cortar el tránsito por horas, inclusive días. Con esto se afectarán las actividades económicas. Los flujos de detritos que se producen de manera periódica a excepcional siempre tienen infraestructura desarrollada dentro de sus límites (entiéndase como las áreas conformadas por depósitos dejados por eventos antiguos), como es la construcción de viviendas, carreteras o se realizan labores agrícolas. Todos estos son altamente vulnerables a la ocurrencia de nuevos flujos. Finalmente, están las zonas de inundación y erosión fluvial, donde se han construido obras viales importantes, como carreteras y vías férreas. Allí también

se asientan poblados y se desarrollan actividades agrícolas. Todas estas obras presentan una alta a muy alta vulnerabilidad y pueden ser afectados en diferente grado.

6.10 PELIGRO SÍSMICO EN LA REGIÓN CUSCO

La ocurrencia de terremotos introduce un riesgo, en el sentido más amplio, en la vida del hombre que es necesario estudiar para disminuirlo y, si fuese posible, evitarlo. El modelo mecánico que explica la producción de terremotos se inicia a partir de la rotura más o menos extensa de un bloque litosférico que produce una serie de ondas elásticas tal y como predice la mecánica de sólidos. Estas ondas son las causantes, en forma generalizada, de los daños que produce el sismo por el movimiento vibratorio del terreno al paso de las ondas. Sin embargo, existen otros fenómenos asociados a la producción del sismo que provocan daños sobre el hombre: las edificaciones e instalaciones que construye. Entre estos fenómenos se tiene a los hundimientos y fallamiento del terreno, deslizamientos, licuefacción y tsunamis (Mézcua, en Ayala-Carcedo & Olcinas, 2002).

El peligro sísmico puede ser definido como el conocimiento de la agitabilidad del terreno en un emplazamiento determinado como consecuencia de la ocurrencia de futuros terremotos en áreas próximas (Mézcua, en Ayala-Carcedo & Olcinas, 2002).

El peligro sísmico, en este estudio, se determina por medio del método probabilístico, que consiste en incorporar todos los terremotos que se han producido y aplicarles todos los modelos de atenuación para todas las frecuencias posibles; es decir, toma en cuenta el tratamiento de incertidumbres en los resultados que se presentan. Esta metodología también tiene la ventaja de poder incluir la opinión de expertos en ciertos aspectos parciales del cálculo, como puede ser la definición de fuentes sismogénicas, relaciones de atenuación, etc.

6.10.1 Generalidades

El Perú, por su ubicación geográfica en la zona central y occidental de Sudamérica, se presenta muy accidentado debido, principalmente, al proceso de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Este proceso da origen a un gran número de sismos de diferentes magnitudes con focos a diversos niveles de profundidad y que han producido, en superficie, distintos grados de destrucción. Estos sismos son parte de la principal fuente sismogénica pues en ella se han producido los de mayor magnitud conocidos en el Perú. Una segunda fuente la constituye la zona continental cuya deformación produce la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores en tamaño a los

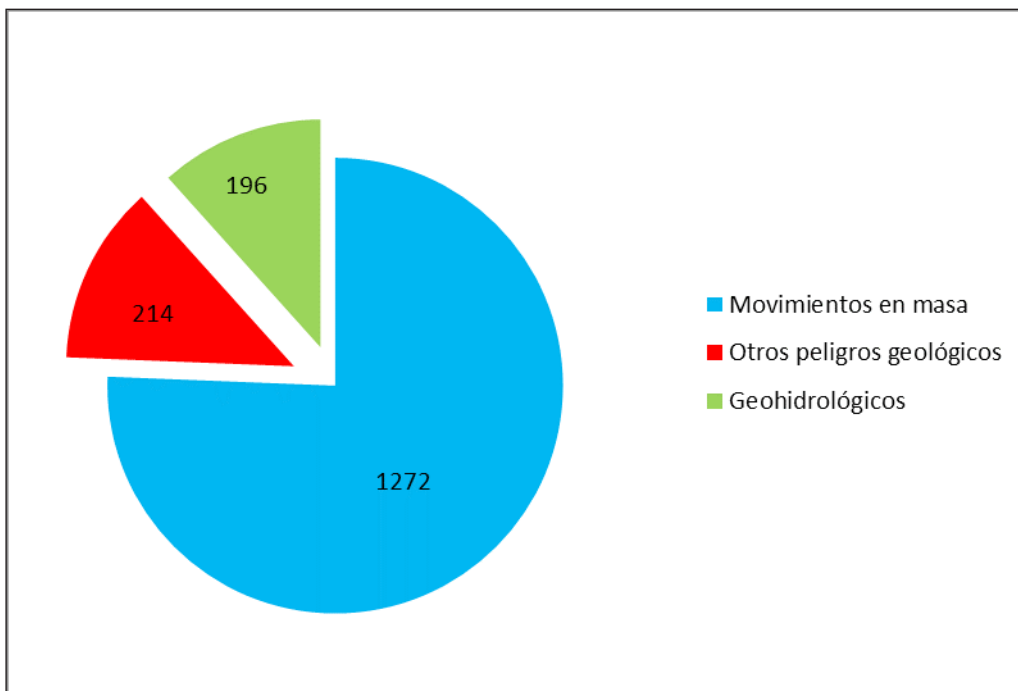


Figura 6.12 Ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, geohidrológicos y otros peligros geológicos.

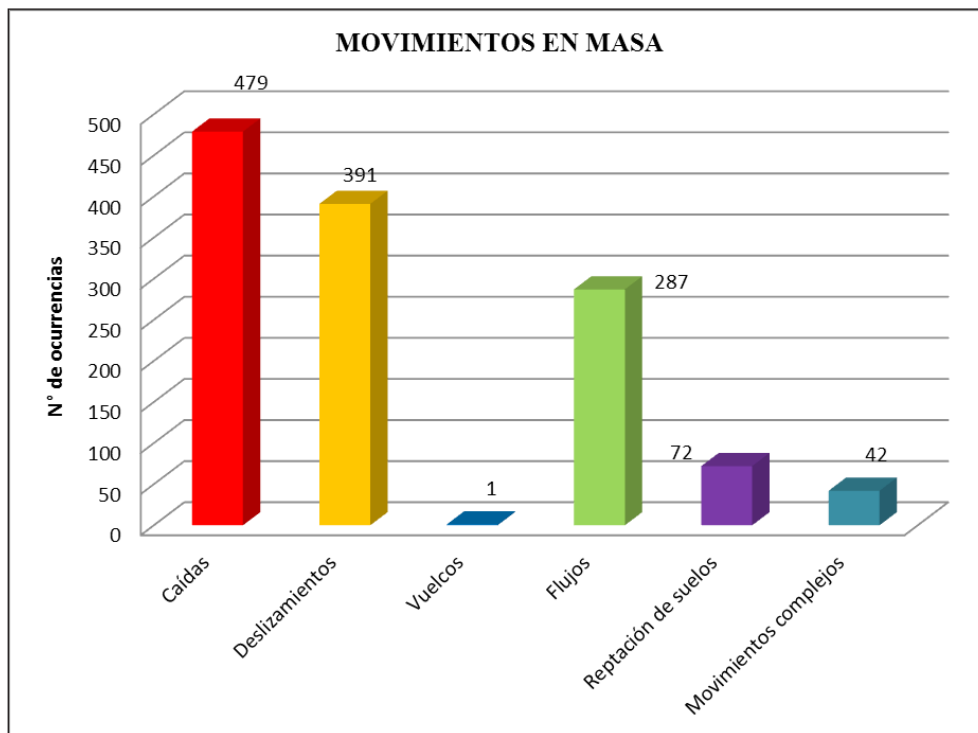


Figura 6.13 Ocurrencia de movimientos en masa en la región Cusco.

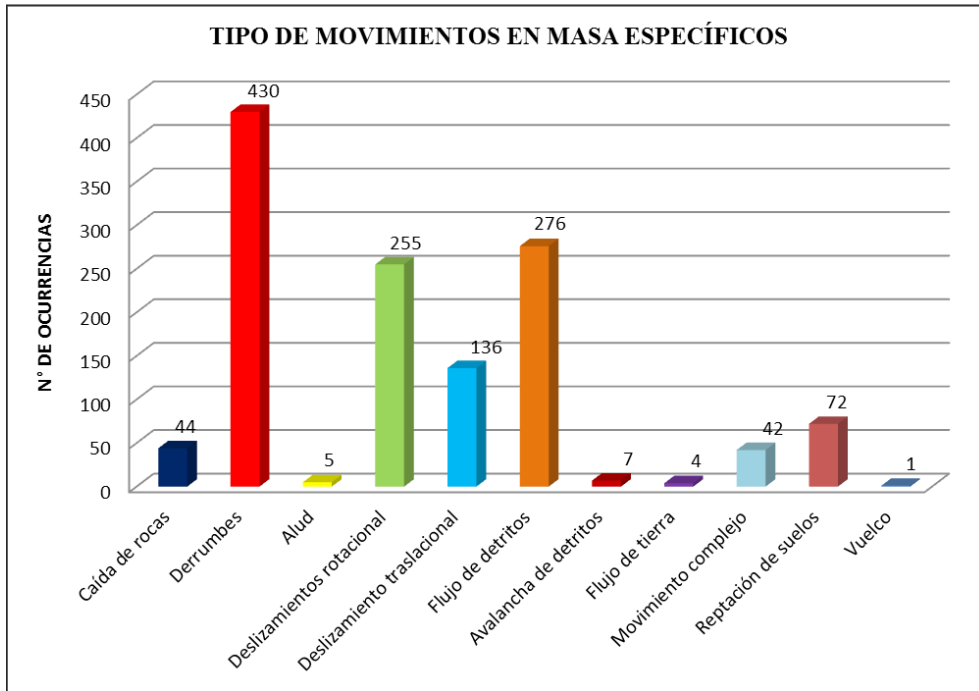


Figura 6.14 Ocurrencia de movimientos en masa por tipo específico de la región Cusco.

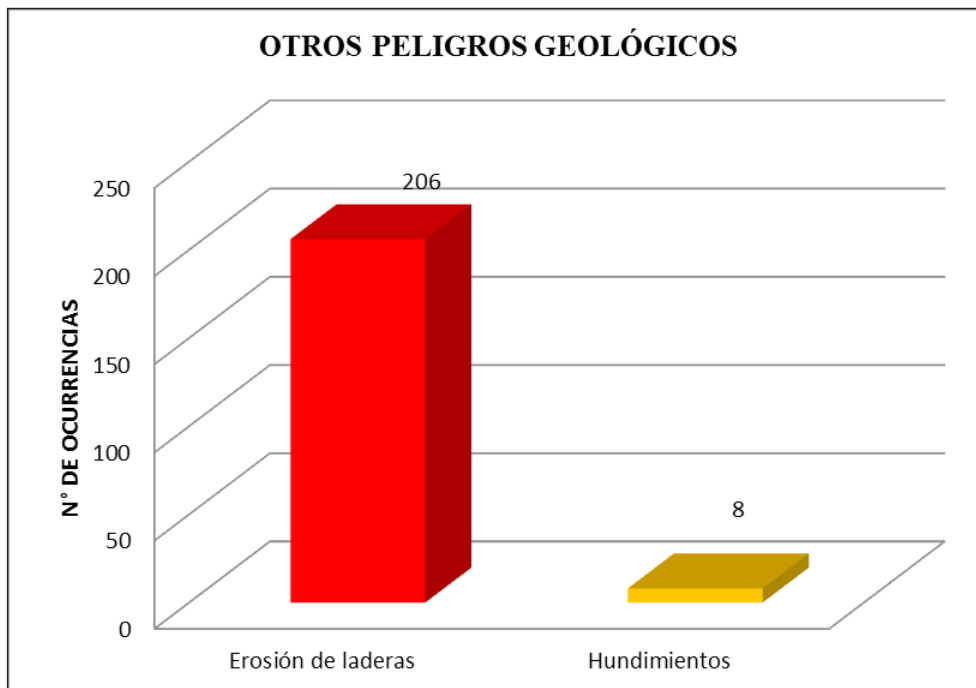


Figura 6.15 Ocurrencia de otros peligros geológicos identificados en la región Cusco.

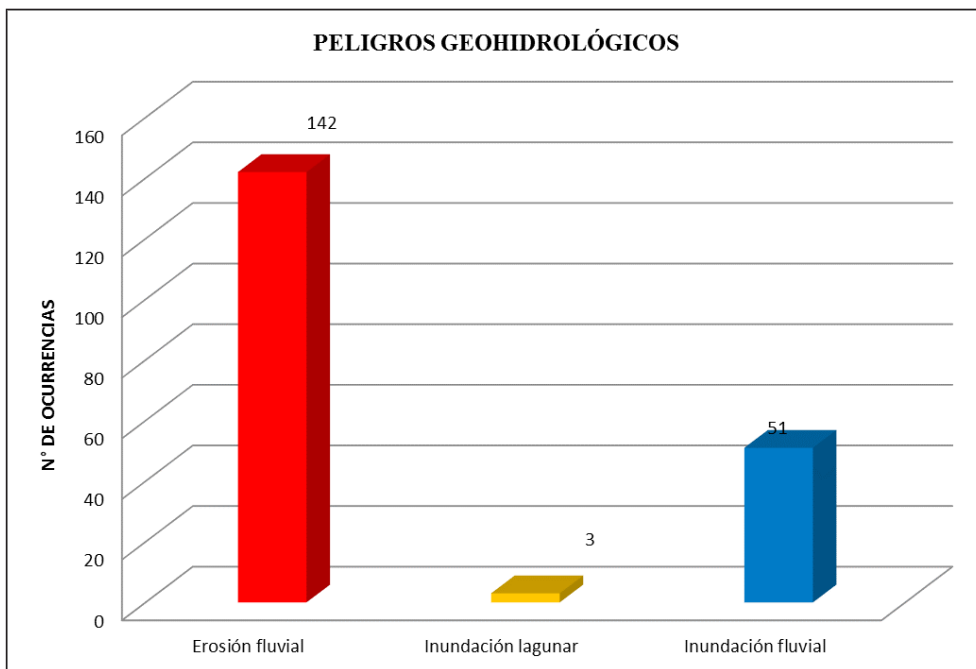


Figura 6.16 Ocurrencia de peligros geohidrológicos en la región Cusco.

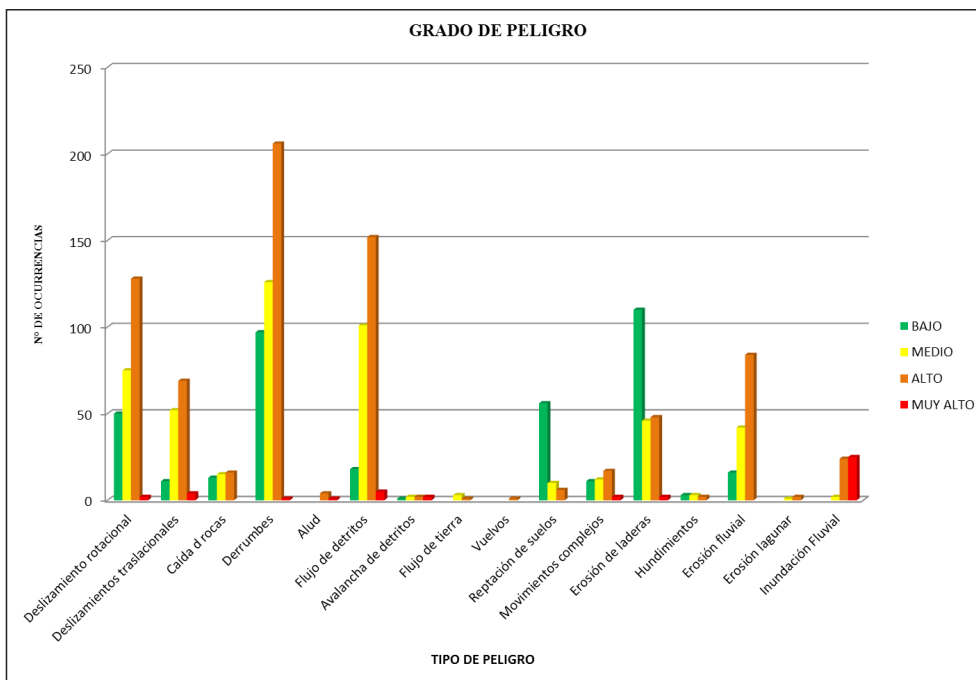


Figura 6.17 Grado de peligro asignado a las ocurrencias de peligros naturales inventariadas en la región Cusco.

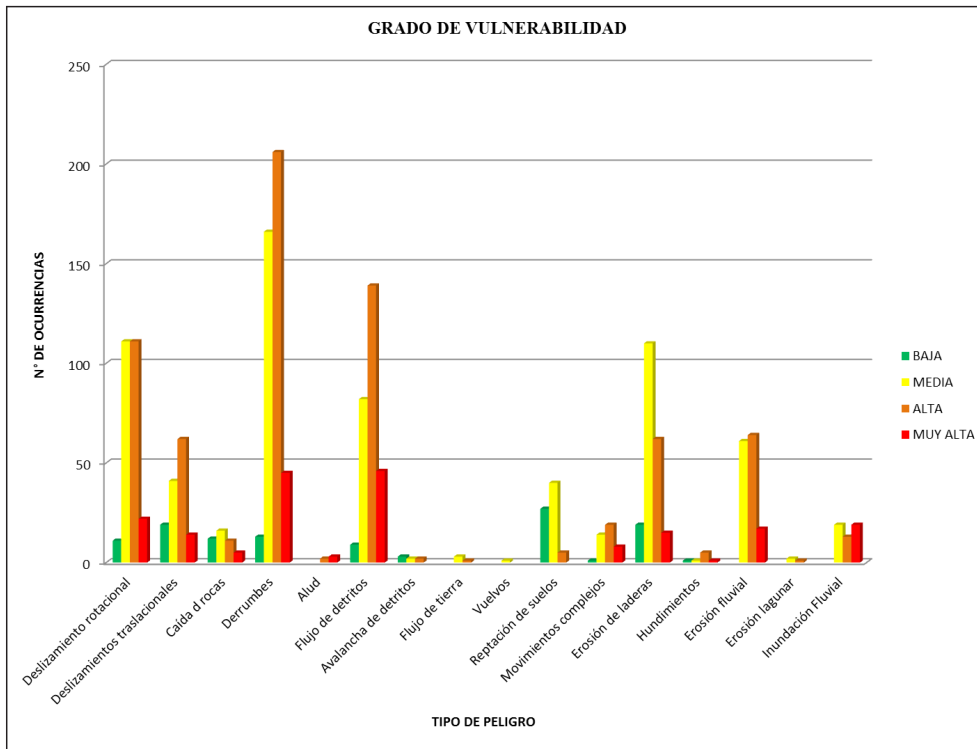


Figura 6.18 Grado de vulnerabilidad asignado a las ocurrencias de peligros naturales inventariadas en la región Cusco.

que se producen en la primera fuente (Cahill & Isacks, 1992; Tavera & Buforn, 2001).

En estas condiciones, en el Perú, los sismos se constituyen como 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 2 factores permitirá reducir los daños causados por este tipo de peligro. Para el monitoreo de la actividad sísmica que ocurre en el territorio peruano, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) opera una red sísmica nacional compuesta por 31 estaciones, de las cuales 20 son de periodo corto y 11 de banda ancha.

6.10.2 Sísmicidad histórica (región Cusco)

La historia que se conoce con relación a los acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, según datos históricos disponibles, indican una intensa actividad sísmica en la región Cusco 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 violentos. Es importante mencionar que la

región Cusco, en los últimos 72 años, ha soportado la violencia de terremotos en 1941, 1950, 1986 y 2014. Mayor detalle se presenta en el Cuadro 6.2 (Silgado, 1978).

Para la mayoría de los sismos descritos en el Cuadro 6.2, Silgado (1978) elaboró sus respectivos mapas de intensidades (isosistas). 2 de ellos afectaron con alta intensidad a la región de Cusco y corresponden a los sismos del 21 de mayo de 1950 (Figura 6.19) y del 5 de abril de 1986 (Figura 6.20).

Según el mapa de líneas isosistas de los terremotos de 1950 y de 1986 (Figuras 6.19 y 6.20), para el área de la región Cusco, se registraron intensidades de IV a VIII grados en la escala de Mercalli.

6.10.3 Distribución de máximas intensidades sísmicas

El mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas observadas para el Perú (Figura 6.21) fue elaborado por Alva et al. (1984) como parte del proyecto SISRA a cargo del Centro Regional de Sismología para América del Perú y el Caribe (CERESIS). Se basó en treinta mapas de isosistas de terremotos recientes e intensidades puntuales de terremotos históricos. El

mapa representa el nivel de daño independientemente de la causa: vibración de suelo, licuación, deslizamientos provocados por terremotos u otros. Este mapa nos indica una alta actividad sísmica en la costa peruana debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana. Una actividad sísmica moderada puede notarse en la zona subandina localizada en la selva nororiental, al este de la cordillera de los Andes. Intensidades hasta X fueron observadas en la costa del Perú en grandes áreas, mientras que en la zona subandina la atenuación es mayor con intensidades altas en sitios específicos. En la región de Cusco se observa que prevalecen intensidades máximas del orden de IX (MM), localizadas entre los sectores de Calca, Tiqui y Urcos. Circundando esta zona se tienen valores de intensidades máximas del orden de VII (MM) a VIII (MM). Aquí se encuentran las comunidades de Marangani, Cusco, Colquepata, Challabamba, Tinta, Yanaoca, Sangarara, Acos y Cusipata. Los sectores con valores de intensidades máximas del orden de VI (MM) se encuentran entre los poblados de Ccapi, Santo Tomás, Espinar, Ocoruro, Condorama, Velille, Chamaca, Livitaca, Marcapata Ccollamayo, Santa Isidora, Mollepata, Zurite, Anta, Calca, Santa Teresa y Aguas Calientes. Finalmente, se tiene una zona con intensidades máximas del orden de V (MM), que se localiza en el extremo norte de la región Cusco (provincia de La Convención).

6.10.4 Distribución espacial de los sismos

Para el análisis de la distribución espacial de los sismos ocurridos en el Perú se ha utilizado la base de datos históricos e instrumental del Instituto Geofísico del Perú que considera los sismos ocurridos entre los años 1500 a 2015. Según el mapa de la Figura 6.15, los sismos han sido clasificados en superficiales ($h < 60$ km), intermedios ($61 < h < 350$ km) y profundos ($h > 351$ km), y su distribución espacial muestra que los sismos superficiales ocurren frente a la línea de costa y representan un 90 % del total de la actividad sísmica que ocurre en el Perú, aun considerando todos los niveles de profundidad. Esta sismicidad puede estar 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 del Perú. También se presentan sismos que ocurren en el interior del continente y que se distribuyen de norte a sur, paralelos a la Cordillera de los Andes. Estos sismos podrían tener su origen en las importantes deformaciones superficiales puestas en evidencia con la presencia de un gran número de fallas (zonas de fallas del Cusco y del Vilcanota).

En la sección A-A' trazada en la figura 6.22, se observa que los sismos se distribuyen en profundidad con características diferentes a las otras regiones. La profundidad de los focos sísmicos aumenta linealmente de oeste a este de manera continua con una pendiente de 30° hasta los 200 km de

profundidad aproximadamente. Esta sismicidad alcanza una distancia en superficie de 250 km desde el punto A, mientras que a distancias mayores solo se observa la presencia de sismos con focos superficiales ($h \leq 60$ km) y sismos intermedios puntuales.

6.10.5 Estudio sísmico probabilístico

Con el propósito de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo que en el futuro pudiera ocurrir en la región Cusco, se ha procedido a evaluar el peligro sísmico de dicha región utilizando la base de datos sísmicos del catálogo sísmico del Instituto Geofísico del Perú y 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 ha hecho uso del programa RISK III (McGuire, 1999).

Se muestran los mapas de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 20, 50 y 100 años con un 10 % de excedencia dentro de la región. Para 20 años oscilan entre 172 a 336 gal (Figura 6.23); para el periodo de 50 años de vida útil, varía de 220 a 400 gal (Figura 6.24); y para 100 años, varía de 263 a 451 gal (Figura 6.25). Estos resultados muestran que las áreas más propensas a soportar aceleraciones importantes se encuentran en el sector sur y parte norte de la región Cusco, lo que es coherente con el importante número de sismos que ocurren en dichas áreas.

6.10.6 Zonificación y aceleraciones máximas

Los diversos estudios de sismicidad existentes en la bibliografía han sido base para que autores como Alva et al. (1984) elaboren el Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú, el cual es utilizado como base en el nuevo reglamento peruano de construcción con la norma técnica de edificación E-30 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, actualizado al 2016 (Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

En este mapa, el territorio nacional se considera dividido en 4 zonas, como se muestra en la figura 6.26. 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 le asigna un factor Z, que se interpreta como el valor de la aceleración máxima horizontal en un suelo rígido, con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años (Cuadro 6.3). El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica, la región Cusco se ubica entre las zonas 2 y 3, correspondiente a una zona de sismicidad intermedia a alta. Según la Norma Técnica E 30: Diseño Sismorresistente, se indican valores de "Z" que varían de 0.25 a 0.35 g.

En la Figura 6.27 se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la ciudad de Cusco. Aquí se muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud. De esta se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 396 gal con una probabilidad del 0.002 %, y es el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 184 gal se producirían con una probabilidad de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio (Tavera, 2017).

En la Figura 6.28 se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la localidad de Sicuni. Aquí 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 421 gal con una probabilidad del 0.002%. Es el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 194 gal se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Asimismo, en la Figura 6.29 se presenta la curva de peligro sísmico anual calculado para la localidad de Yanaoca. Aquí se muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud para dicha localidad. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 424 gal con una probabilidad del 0.002%. Es el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 195 gal se producirían con un porcentaje de 0.05% con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Por otro lado, se han determinado las categorías de “alto” y “muy alto” peligro sísmico en forma general de acuerdo a los valores de aceleraciones máximas esperadas para la región de Cusco, según la guía metodológica de evaluación, de riesgo por fenómenos de remoción en masa (Ingeominas, 2001) (Cuadro 6.4), con una ventana de tiempo para 50 años de vida útil, correspondientes a 475 años de periodos de retorno respectivamente, para un 10 % de excedencia.

6.10.7 Movimientos en masa detonados por sismos

En referencias bibliográficas se encuentra un mapa de áreas de deslizamientos detonados por sismos en el Perú elaborado por Chang, L. & Alva, J. (1991). En la revisión de la literatura 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/o recientes donde la descripción del fenómeno no es muy detallada.

Así se indica que el fenómeno de deslizamientos por sismos se ha producido en la costa, sierra y selva alta del Perú. La mayor incidencia del fenómeno está en la sierra y selva alta por las condiciones, geológicas, topográficas y climáticas de estas regiones. Para el caso de la región Cusco, estos eventos fueron causados por los sismos que se describen en el Cuadro 6.5.

6.10.8 Licuación de suelos y deformaciones superficiales

La licuación de suelos ocurre en materiales no consolidados (arenas) saturados de agua que pierden su capacidad de soporte temporalmente mientras ocurre el sismo. La licuación es una de las amenazas geológicas más destructivas.

Una revisión de la información histórica de licuación de suelos en el Perú fue presentada por Alva (1983). La evidencia de licuación, por ejemplo, el desarrollo de estructuras cónicas de deyección de arena, tiene forma similar a un “volcan de arena y lodo”. Se han tomado en consideración la expulsión violenta de agua del terreno, la presencia de agrietamiento intenso y el asentamiento diferencial debido a los eventos sísmicos para elaborar un mapa del Perú que muestra diferencias entre las áreas de licuación reales y probables recopiladas en las referencias bibliográficas.

Fueron determinados veintisiete casos de licuación de suelos en el Perú. Los fenómenos ocurrieron en las regiones montañosas y la selva norte. En la costa, la licuación de suelos es generalizada debido a la más alta sismicidad y la existencia de suelos arenosos en esta parte del Perú. Existe una correspondencia entre intensidades más altas y la ocurrencia de licuación de suelo en el Perú. Para la región Cusco se ha registrado este tipo de procesos (Cuadro 6.6) según el mapa de licuación de suelos, con los siguientes eventos sísmicos.

6.10.9 Actividad neotectónica

El entorno sismotectónico del Perú se caracteriza por la colisión y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamérica. El proceso conocido como subducción 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 del Perú (Sebrier et al, 1982) y la elaboración de los Mapas Neotectónicos (Laureyro et al., 1991) y Sismotectónicos del Perú (Tavera et al., 2001) han permitido identificar la presencia sobre nuestro territorio de un importante número de fallas activas. Muchas de ellas producen sismos continuamente. Según el estudio de Sebrier et al. (1982), la región Cusco se encuentra afectada por las siguientes fallas:

Cuadro 6.2
Datos macrosísmicos de la región Cusco y alrededores

Fecha	Intensidad	Localidades afectadas
1586-07-09	X	Cusco
1604-11-24	VII	Cusco
1650-03-31	VI	Cusco
1707-09-17	VI	Paruro, Cusco
1744-11-19	VI	Cusco
1746-02-11	VI	Urcos, Cusco
1746-10-28	VII	Cusco
1804-04-22	VIII	Cusco
1/23/1905	VI	Cusco
4/9/1928	VII	Cusco
5/17/1928	VII	Cusco
6/18/1931	VII	Tinta, Cusco
3/5/1938	IX	Acomayo, Cusco
5/24/1940	IV	Cusco
9/18/1941	V	Cusco
8/24/1942	IV	Cusco
1/30/1943	VI	Canas, Cusco
5/11/1948	VII	Cusco
5/21/1950	VII	Cusco
2/26/1952	VII	Cusco
1/15/1958	VII	Cusco
7/19/1959	V	Cusco
11/8/1961	IV	Acomayo, Cusco
5/8/1965	V	Urcos, Cusco
4/5/1986	IV	Cusco
9/27/2014	VII	Misca, Cusco
11/24/2015	IV	Frontera Cusco, Ucayali

Fuente: Silgado (1978), IGP (2014).

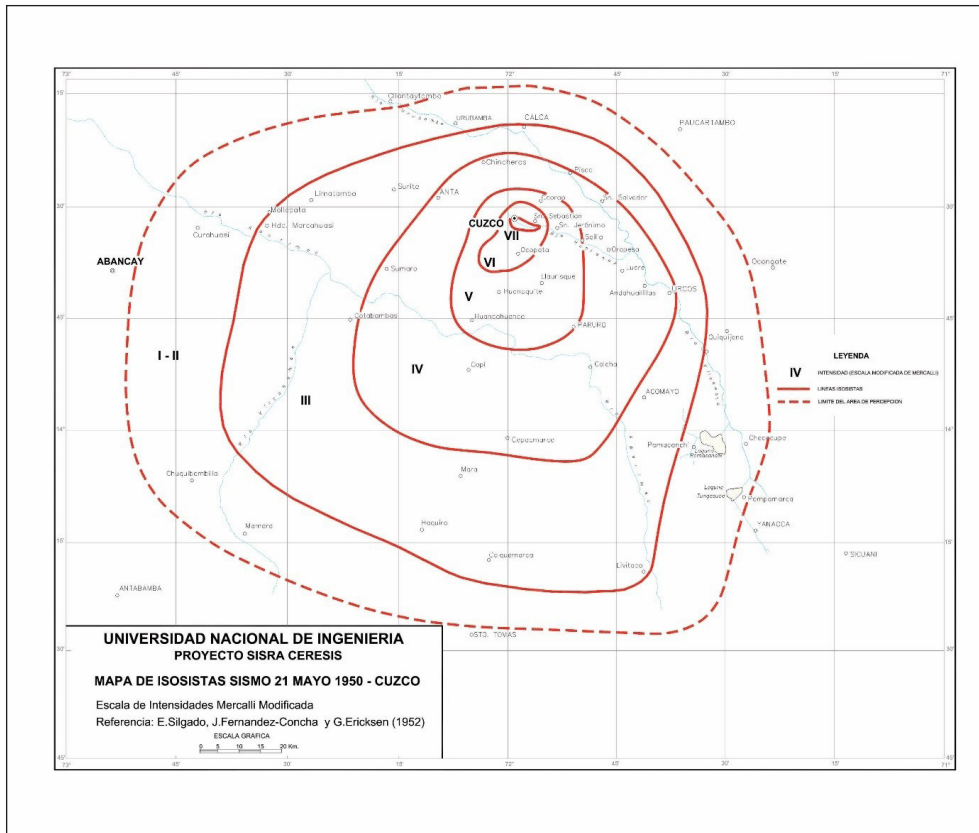


Figura 6.19 Mapa de isosistas del sismo del 21 de mayo de 1950 (Cuzco).

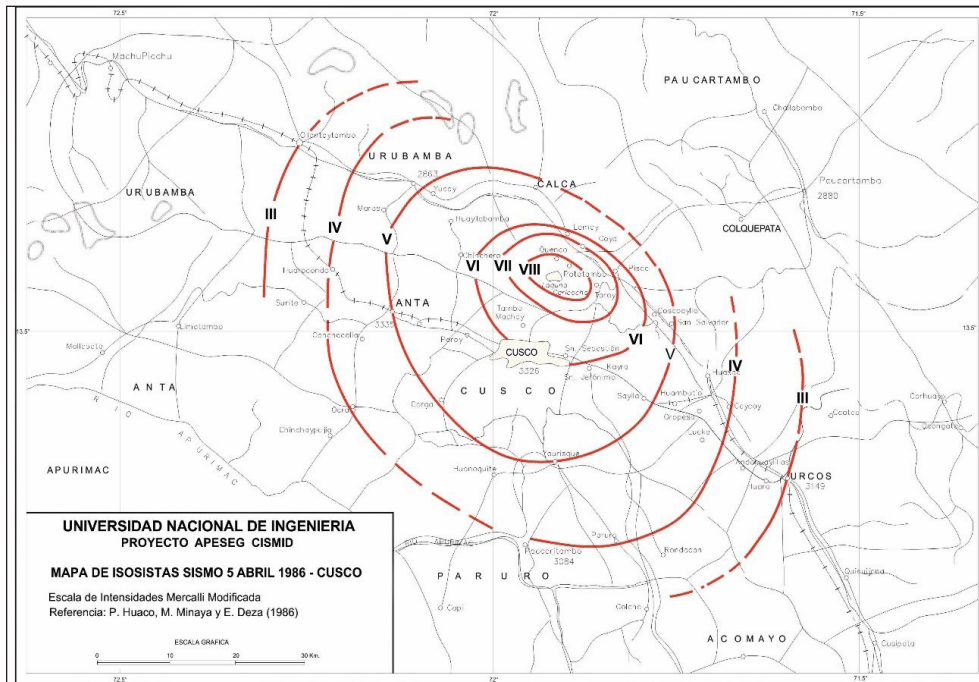


Figura 6.20 Mapa de isosistas del sismo del 5 de abril de 1986 (Cuzco).

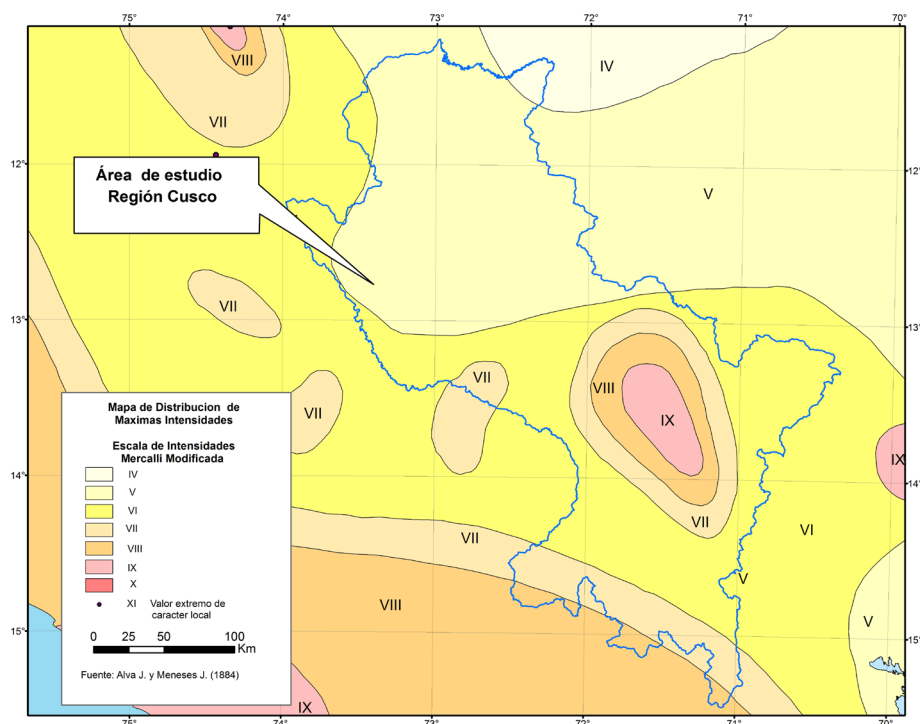


Figura 6.21 Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas para la región Cusco (Alva et al., 1984),

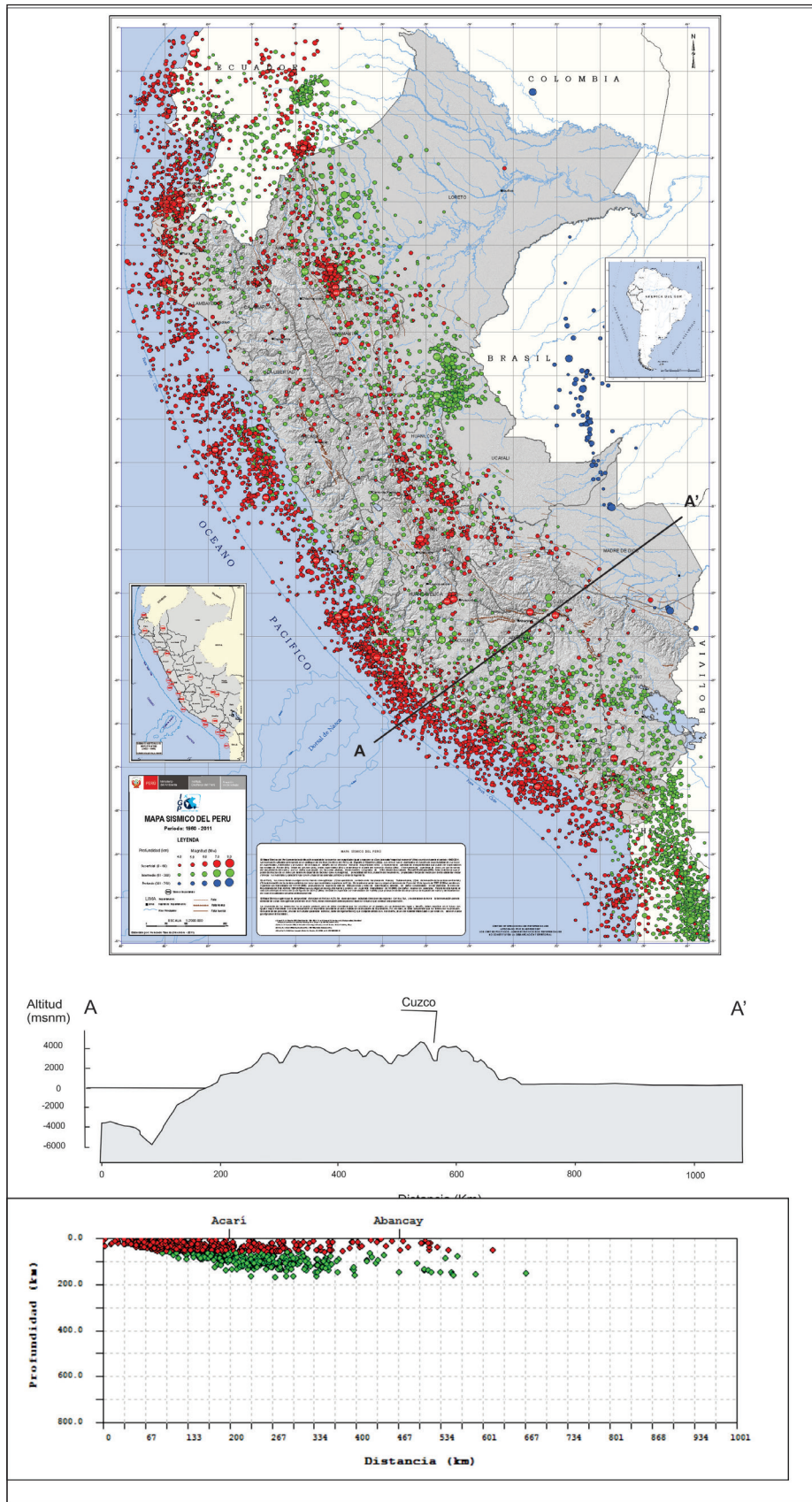


Figura 6.22 Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la región Cusco (Fuente: Tavera, 2017).

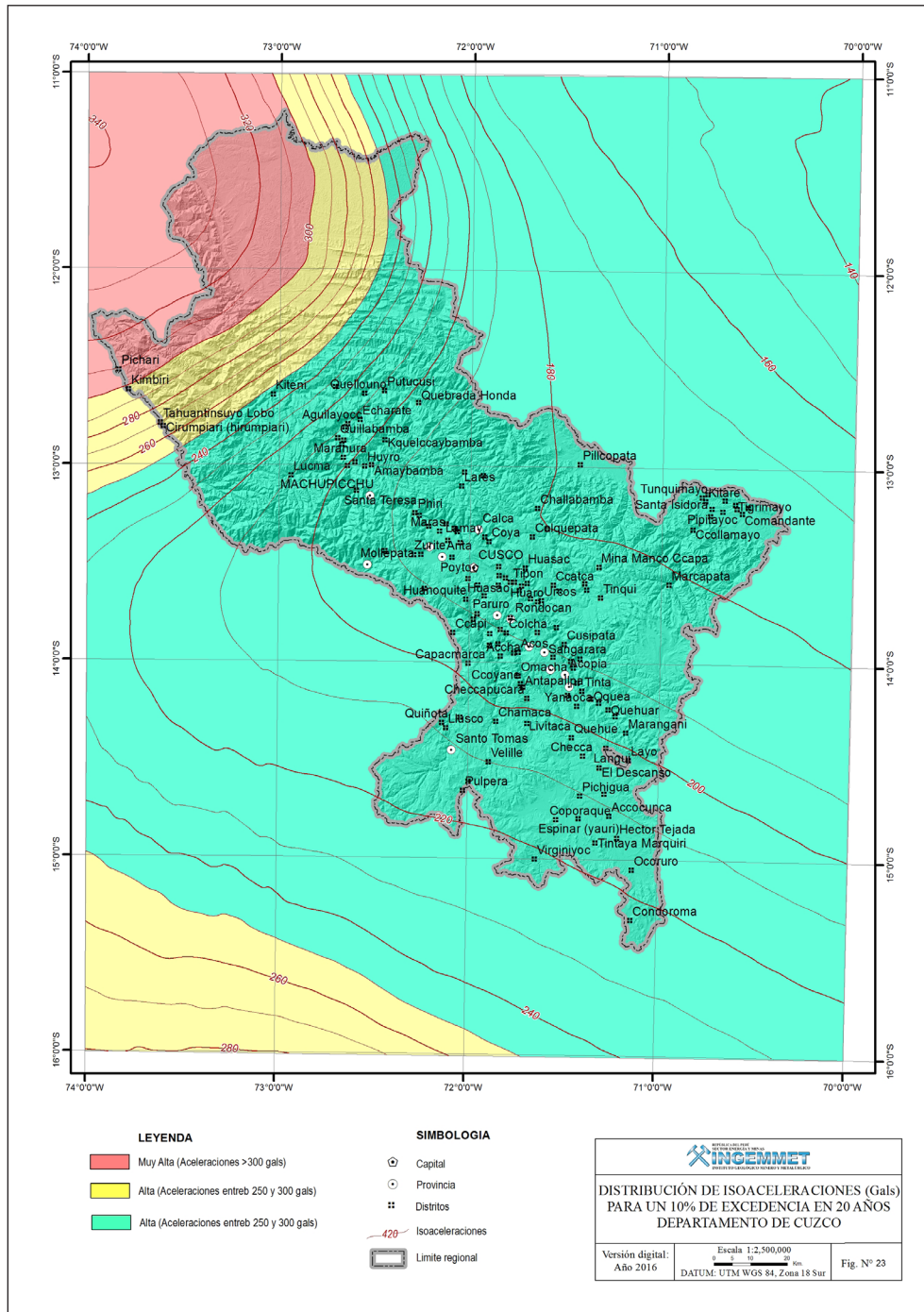


Figura 6.23 Distribución de isoaceleraciones (gal) para un 10 % de excedencia en 20 años en el departamento de Cusco.

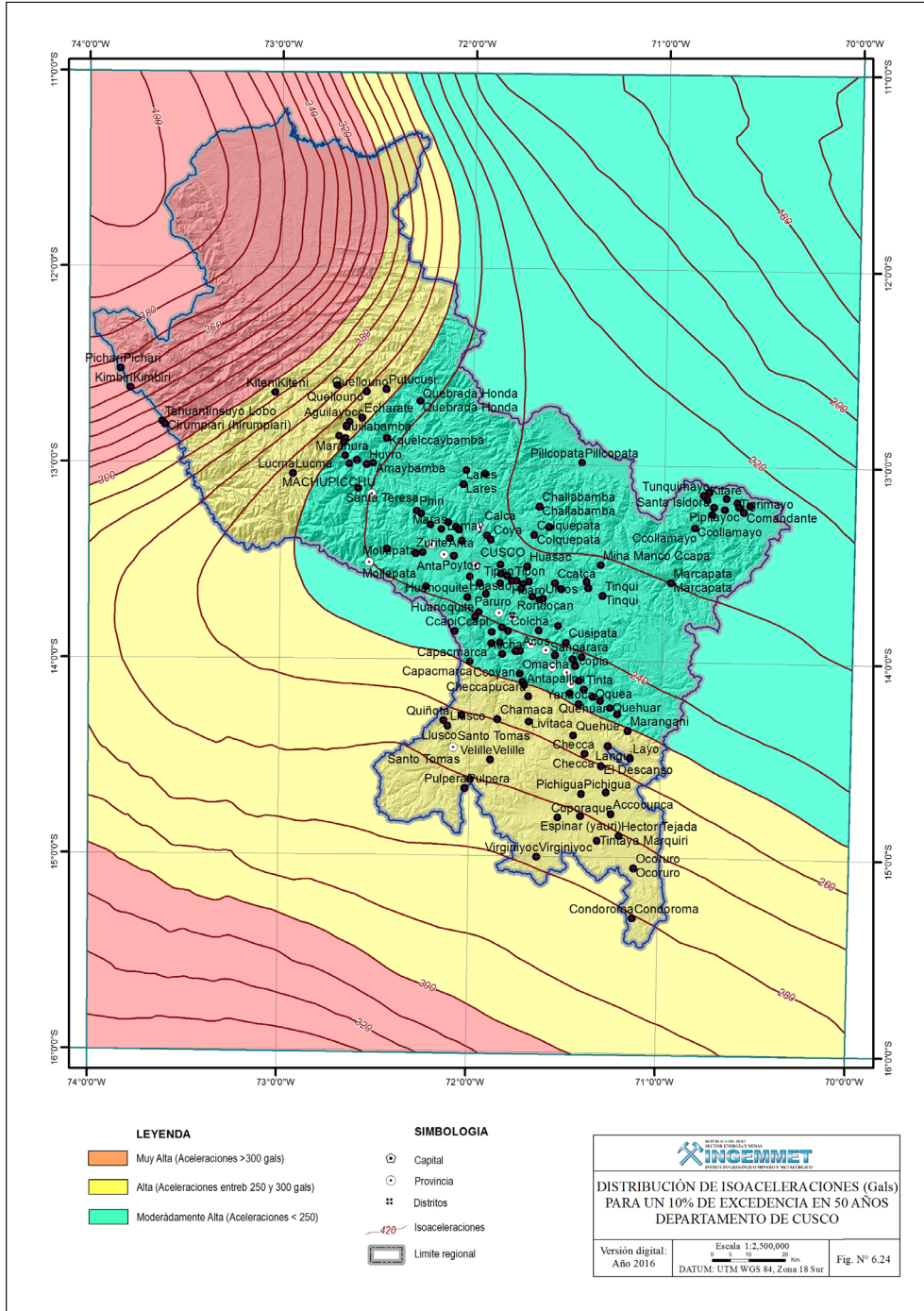


Figura 6.24 Distribución de isoaceleraciones (gal) para un 10 % de excedencia en 50 años departamento de Cusco.

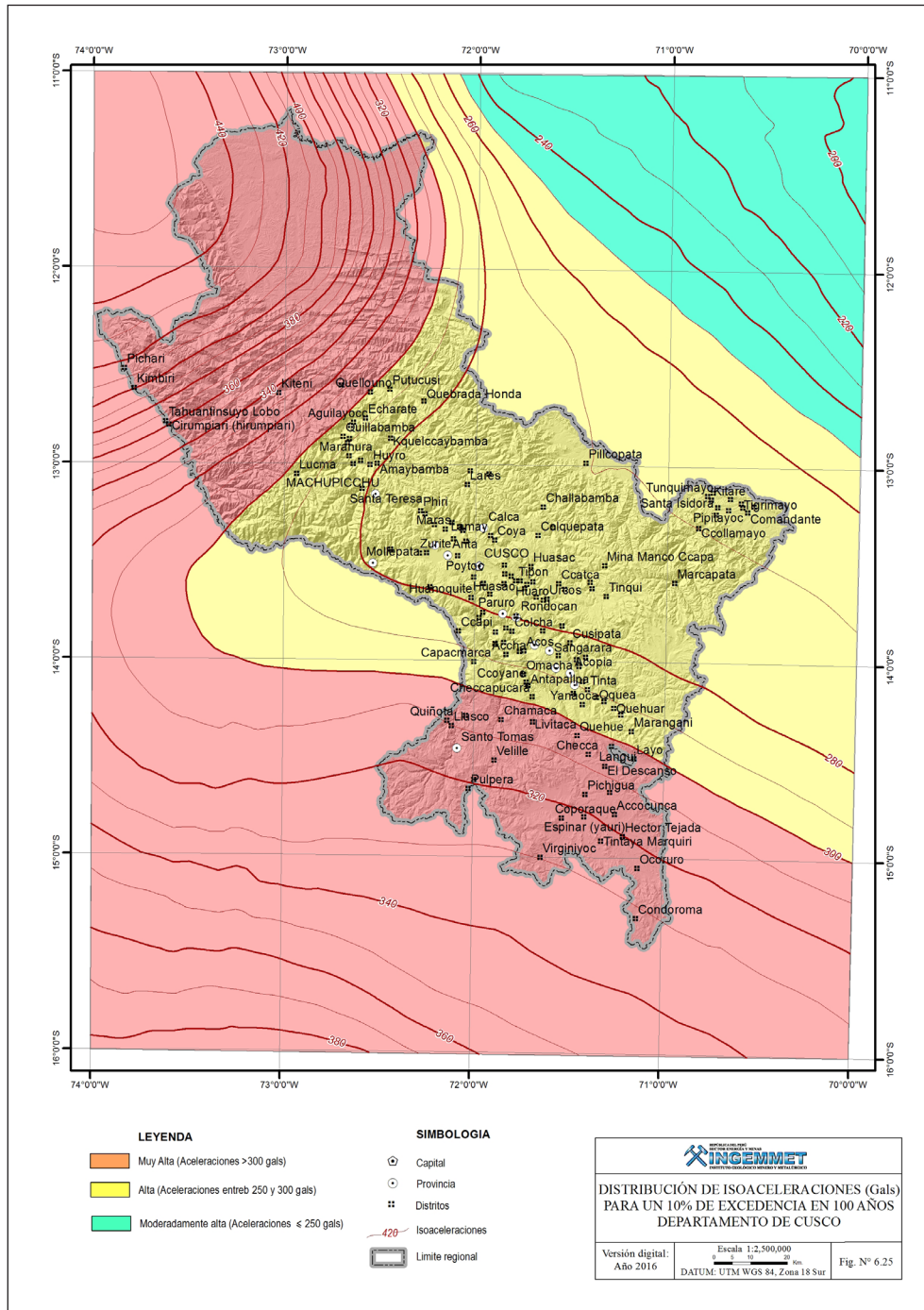


Figura 6.25 Distribución de isoaceleraciones (gal) para un 10 % de excedencia en 100 años departamento de Cusco.

Cuadro 6.3
Valores del factor Z en las zonas sísmicas de la región Cuzco

Zona	Z (gal)
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

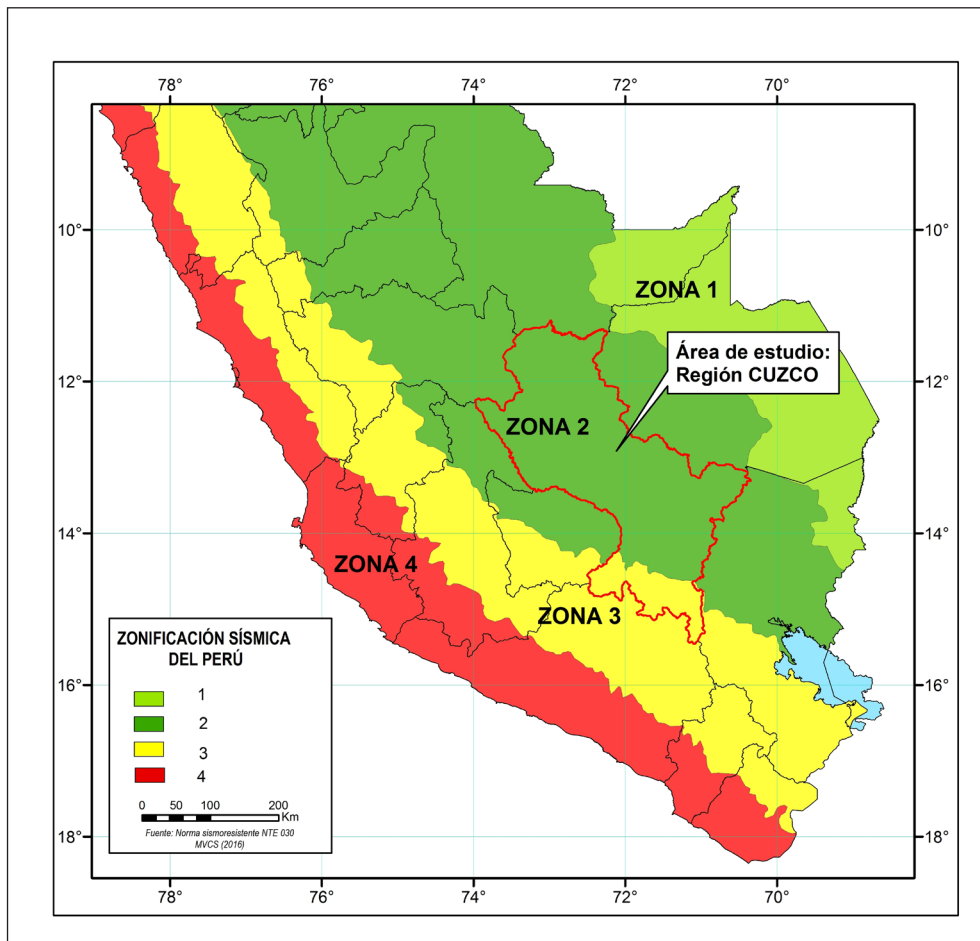


Figura 6.26 Zonificación sísmica del Perú. El Cuzco se encuentra en la zona 2 que corresponde a una zona de sismicidad intermedia a alta.

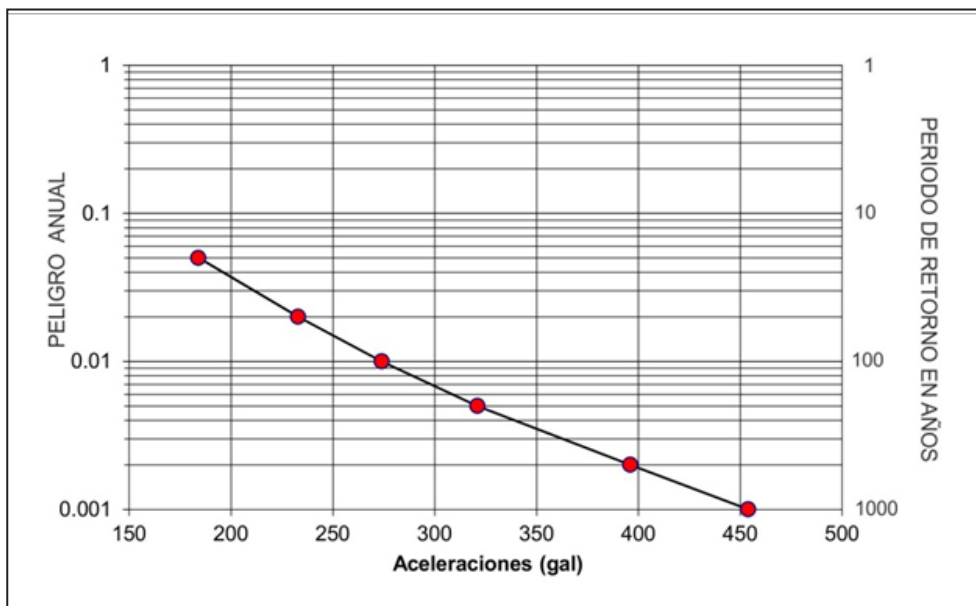


Figura 6.27 Curva de peligro anual para la ciudad del Cusco (Fuente: Tavera, 2017).

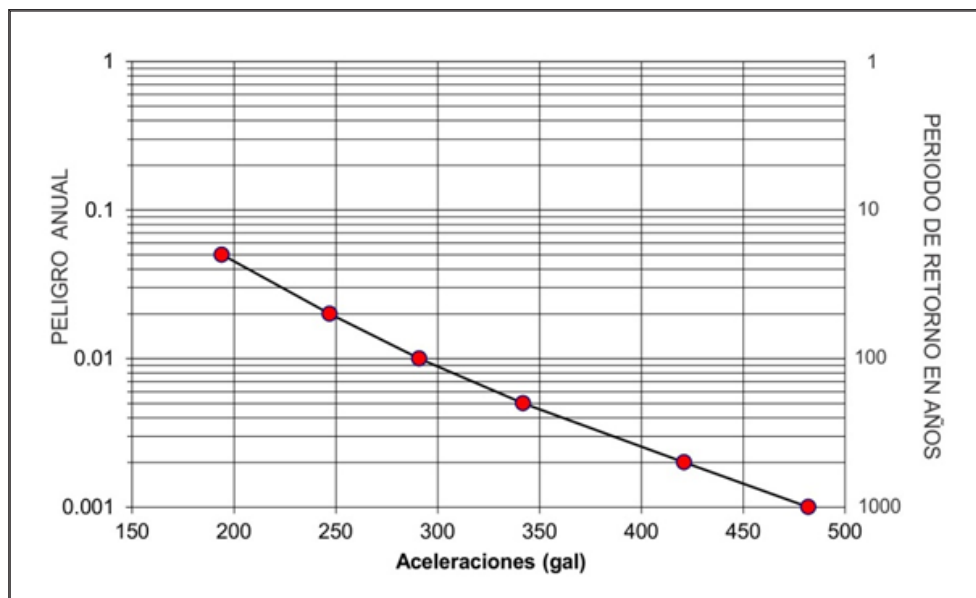


Figura 6.28 Curva de peligro anual para la ciudad del Sicuani (Fuente: Tavera, 2017).

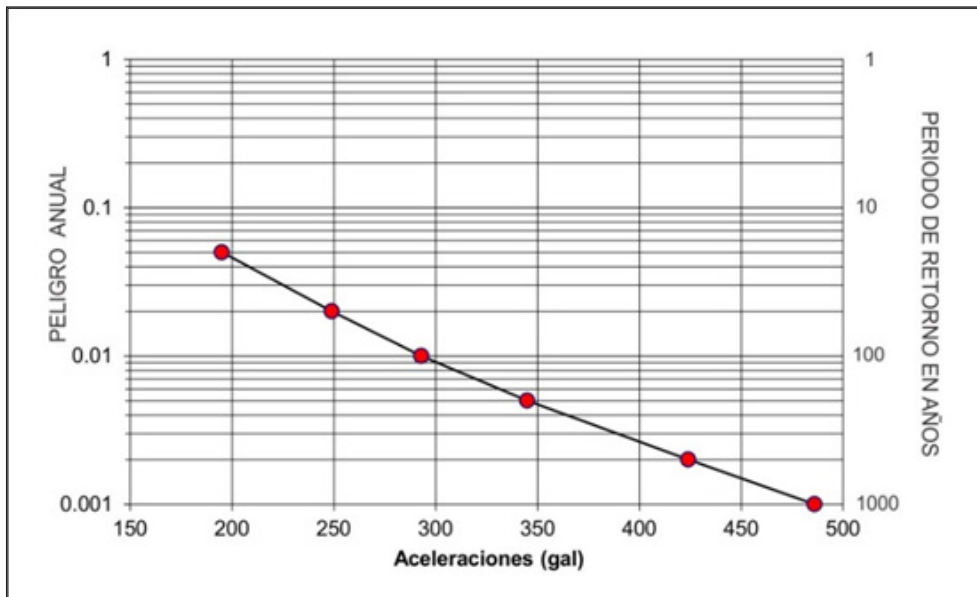


Figura 6.29 Curva de peligro anual para la ciudad del Yanaoca (Fuente: Tavera, 2017).

Cuadro 6.4

Clasificación del factor detonante (sismicidad)

Categoría	Descripción	Valor asignado
Muy alta	Se espera un AMH mayores a 300 gal	4
Alta	Se espera un AMH entre 250 gals a 300 gal	3
Moderadamente alta	Se espera un AMH entre 210 gals a 250 gal	2

Cuadro 6.5

Movimientos en masa detonados por sismos

Fecha del sismo	Descripción
1513 a 1515	Silgado (1978), sobre la base de la obra de Esquivel y Navia, reporta que en esos años ocurrieron grandes sismos acompañados de formidables deslizamientos de tierras en el Cusco.
31 de marzo de 1650	Terremoto en el Cusco. Silgado (1978) se refiere a la obra de Esquivel y Navia para indicar que se produjeron grandes deslizamientos en las partes altas de Písac y Paucartambo. Uno de ellos represó el curso del río Apurímac. La tierra se agrietó en varios lugares.
21 de mayo de 1950	Terremoto en el Cusco. Silgado <i>et. al.</i> (1952) indican que en el lado sur del valle, al sur-este del pueblo de San Sebastián, se observó en una longitud de 5 km una zona de extensa fisuración. Las grietas eran de forma irregular, de abertura variable y de 10 a 50 m de longitud. Los deslizamientos fueron de magnitud reducida y ocurrieron principalmente en algunas laderas escarpadas y en los taludes de gravas aluviales.

Cuadro 6.6
Zonas afectadas por licuación de suelos en el Cusco

Sismo del 31 de marzo de 1650
Terremoto en el Cusco que derribó todas las iglesias coloniales y la mayor parte de las edificaciones. Según Silgado (1978), la tierra se agrietó en varios lugares y se observaron disturbios en el nivel freático de las aguas de escorrentía cerca del pueblo de Oropesa. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.
Sismo del 21 de mayo de 1950
Terremoto en la ciudad del Cusco. Silgado, Fernández-Concha y Ericksen (1952) notaron en el lado sur del valle, al sureste del pueblo de San Sebastián, una zona de extensa fisuración. También observaron 2 pequeñas fracturas en una zona pantanosa situada a 300 m al sur de San Sebastián. De ellas surgieron agua y arena durante el terremoto. Los hoyos producidos por la eyección tenían cerca de 2 m de diámetro y la arena alrededor de la fractura un espesor de 1 a 2 cm. Durante el movimiento sísmico, estas fracturas y otras producidas a lo largo del cerro vertieron chorros de agua que alcanzaron 1 a 2 m de altura. El nivel de la napa freática se levantó en el lado sur del valle. Áreas que habían estado casi secas antes del terremoto aparecieron cubiertas con 10 a 40 cm de agua, semana y media después del sismo. El agua en un pozo de la hacienda San Antonio subió a 1.80 m por encima de su nivel normal después del terremoto. La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM y su magnitud fue de Ms = 6.0.

Sistema de fallas del Cusco

Los alrededores del Cusco muestran varios sistemas de fallas cuaternarias localizadas en el límite entre las altas mesetas y la Cordillera Oriental (Cabrera, 1988). Las fallas se encuentran distribuidas en forma discontinua. Se distinguen 6 sectores de oeste a este. Cabrera (1988) y Sébrier et al. (1982, 1988) las describieron de la siguiente forma:

- Falla Zurite. Se extiende a lo largo de 24 km al noroeste del Cusco y está compuesta por pequeños segmentos en echelón con azimuts de entre 100°, 115° y rumbo de N 45° E, para el extremo este. Los buzamientos están comprendidos entre 60 y 70° hacia sureste. Esta falla normal separa el Cuaternario de la cuenca Anta de la Cordillera de Vilcabamba y afecta depósitos aluviales y morrénicos de edad cuaternaria.
- Falla Tamboray. Esta falla de rumbo norte-sur y buzamiento al oeste consta de un segmento de 3.5 km de longitud. Los escarpes presentan una altura de 2 m y en el nivel local llegan hasta los 4 m (Fotografía 6.1). Estas fallas cortan rocas del grupo de Capas Rojas y, muy rara vez, abanicos aluviales del Cuaternario superior. Así desplazan arroyos con un movimiento normal.
- Falla Qoricocha. Con este nombre se designa a un conjunto de fallas ubicadas en los alrededores de la laguna Qoricocha. Tomando como referencia a dicha laguna, se encuentra la Falla Chincheros, al noroeste; la Falla Qoricocha, al norte; y la Falla Huanacauri, al este. Estas fallas se encuentran, aproximadamente, a 7 km al norte de la Falla Tambomachay.

La Falla Chincheros, con rumbo este-oeste, con buzamiento hacia el sur y longitud de 3.5 km aproximadamente, consta de

pequeños segmentos discontinuos, los cuales cortan morrenas recientes en su flanco oeste. Bordeando la laguna se encuentra la falla Qoricocha de azimut 120°, con buzamiento hacia el suroeste y con una longitud de 1.5 km, la cual corta en el extremo norte a los flujos volcánicos del Plio-cuaternario. Asimismo, los rechazos normales en las fracturas en echelón presentan una ligera componente dextral.

Durante el sismo del 5 de abril de 1986, las fallas Qoricocha y Chincheros se reactivaron originando escarpes comprendidos entre 10 y 40 cm (Fotografía 6.2). Ese sismo tuvo una magnitud de 6.5 Mw y 5.3 de intensidad, y afectó a la ciudad del Cusco (Carlotto, 1987; Huamán, 1987).

- Falla Tambomachay. Se encuentra en el borde de la ciudad del Cusco, emplazada en una longitud de 17.5 km. Tiene una tendencia este-oeste que cambia a una dirección noroeste-sureste, su buzamiento está comprendido entre 60° y 70° al sur. Tiene un movimiento normal con un salto vertical máximo de 4 m (Figura 6.30).
- Falla Pachatusan. Esta falla se emplaza a lo largo de 10 km de longitud, lo que afecta depósitos del Cuaternario superior, con un azimut de 135° y un buzamiento comprendido entre 50 y 70° al suroeste (Figura 6.31). Los escarpes cruzan valles glaciales mostrando un movimiento normal.
- Falla Urcos. Se ubica al este de la Falla Tambomachay, con rumbo noroeste-sureste y buzamiento al suroeste. En su extremo sur tiene una tendencia este-oeste a la altura del lago Urcos. Esta falla de tipo normal tiene una longitud aproximada de 15 km y corta depósitos volcánicos cuaternarios del Rumicolca. Las dataciones por el método del K/Ar para los flujos

recientes de este volcán dan una edad de 0.7 millones de años, antes del presente (Cabrera, 1988). Al este del lago Urcos, se localiza una formación de sagpond (laguna de desplome), dicho sector estaría vinculado a un sismo que afectó la región el 8 de mayo de 1965. De los análisis estructurales de estas fallas se determina que la región del Cusco está afectada por una tectónica de extensión norte-sur.

Sistema de fallas de Ocongate

El sistema de fallas se encuentra en la Cordillera Oriental, región Cusco, y se extiende a lo largo de 15 km entre la cuenca Pliocuaternaria de Ocongate y el borde norte de la Cordillera de Ausangate (Audebaud, 1973). La cuenca está rellena, principalmente, por depósitos fluvio-glaciares y morrenas cuaternarias, y se encuentra afectada por el sistema de fallas Ocongate de dirección este-oeste (Cabrera, 1988).

El sistema de fallas de Ocongate se encuentra constituido por 2 sectores de fallas: el sector de fallas Ausangate, que define una franja de 9 km de largo por 3 km de ancho, y el sector de la Falla de Uchuyacruz, con más de 5 km de largo. Las fallas se caracterizan por presentar claras escarpas que se extienden entre 4000 y 4400 m de altitud. Los planos de falla presentan buzamientos tanto hacia el norte como hacia el sur con ángulos que varían entre 50° y 79°. Dichas fallas afectan un conjunto de morrenas (14 000 años antes del presente) y depósitos

fluvio-glaciares pleistocenos y holocenos, los cuales se extienden ampliamente a lo largo de la cuenca de Ocongate.

Cabrera (1988), a partir de observaciones realizadas en las trincheras, calcula un periodo de retorno de 5000 años para un sismo de magnitud 6.5 Mw.

Zona de fallas del Vilcanota

Localizada al sureste del Cusco, las fallas se emplazan sobre 70 km de longitud, con un azimut promedio de 150°, excepto en el sur, donde a partir del poblado de Langui cambia a un azimut de 120°. Sus buzamientos están alrededor de 60° hacia el suroeste.

Esta zona de fallas se encuentra constituida por 3 segmentos de Falla: Pomacanchi, Yanaoca y Langui-Layo. Estas fallas afectan depósitos gruesos de abanicos aluviales asociados a la penúltima glaciación. Sus escarpes llegan a tener hasta 50 m de altura, las 2 últimas terrazas aluviales no muestran evidencias de ser afectadas por dichas fallas (Sébrier et al., 1982, 1985; Cabrera, 1988).

Estas fallas tienen movimientos normales sinestrales que son compatibles con una extensión norte-sur. La falla se expone mejor al norte de la laguna Pomacanchi y parece haber tenido una última reactivación al final del Cuaternario medio. Sin embargo, ocurrieron sismos sumamente superficiales y destructores entre Yanaoca y la laguna de Langui-Layo.



Fotografía 6.1 Escarpe de la falla de Tamboray (Benavente, 2013).



Fotografía 6.2 Ruptura de la superficie producto de la reactivación de la Falla Qoricocha en 1986 (Benavente, 2013).

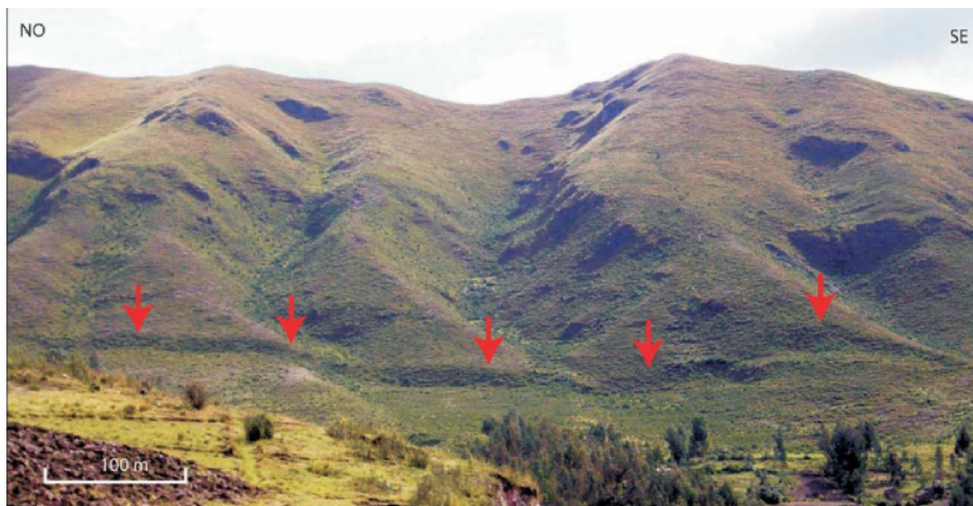


Figura 6.30 Falla Tambomachay.



Figura 6.31 Foto aérea muestra la falla de Pachatusan (Servicio Aerofotográfico Nacional del Perú).

CAPÍTULO VII

SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL

7.1 SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

La susceptibilidad a los movimientos en masa está definida como la propensión que tiene determinada zona a ser afectada por un 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). Así, los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

También se puede definir la susceptibilidad como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por un movimiento en masa por desestabilización o alcance, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes, cualitativo o cuantitativo, con las áreas movidas o alcanzadas. El 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).

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

Existen diferentes técnicas para evaluar la susceptibilidad de un territorio a los movimientos en masa con la finalidad de generar mapas que reflejen la distribución espacial de los movimientos existentes y de las áreas con peligro potencial. Estas metodologías van desde los mapas con base geomorfológica (inventario de deslizamientos y mapas geomorfológicos), los basados en la susceptibilidad relativa (combinación de factores que estiman la susceptibilidad relativa según una ponderación o peso definido por la experiencia del autor, para cada factor considerado), mediante técnicas de tratamiento de datos (métodos estadísticos y probabilísticos) hasta 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 Cusco, se ha utilizado el método basado en la categorización y ponderación de factores (Método heurístico, indirecto y cualitativo). Su objetivo principal es indicar y priorizar zonas donde las condiciones existentes hacen 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.

Los estudios relacionados a la evaluación de los peligros geológicos por movimientos en masas están encaminados, principalmente, a la planificación del desarrollo regional del territorio. Por consiguiente, las zonificaciones geotécnicas y de peligros geológicos se constituyen en herramientas valiosas y necesarias para la planificación territorial, la prevención y mitigación de los peligros que pueden generar desastres.

El objetivo final de una zonificación por movimientos en masa es poder presentar las zonas donde ocurren o pueden ocurrir estos eventos con consecuencias desastrosas que produzcan pérdidas de vidas, materiales y económicas que entorpezcan las actividades socioeconómicas de las áreas involucradas.

7.2 FACTORES CONDICIONANTES DE LA INESTABILIDAD Y DETERMINACIÓN DE SU PESO EN LA OCURRENCIA DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

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

De acuerdo 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. Esto se basa, principalmente, en la experiencia del geólogo encargado de hacer el estudio de susceptibilidad. Es así que este valor o peso representa en cuánto influye dicho factor en la generación de movimientos en masa.

En el Cuadro 7.1 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 Cusco.

Asu vez, cada factor (mapa temático) se analiza independientemente para valorar cada una de las unidades cartográficas diferenciadas de terreno en cada uno de los mapas de factores (tipos de litología diferenciadas en el mapa litológico, rango de pendiente, etc.). A continuación, se presenta el análisis realizado a cada variable.

7.2.1 Pendiente de los terrenos (P)

La pendiente de los terrenos se constituye en uno de los principales factores dinámicos, particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez et al., 2002).

La pendiente como factor condicionante es un parámetro importante en la evaluación de todo tipo de procesos de movimientos en masa; por ello, diversos autores consideran a esta variable como fundamental en el análisis de la susceptibilidad (Aguilar & Mendoza, 2002; Restrepo & Velazquez, 1997; Mora y Vahrson, 1994; Van Westen y Terlien, 1996). La erosión aumenta con la pendiente, porque en relación directa con ellas aumenta el papel de la gravedad y, consecuentemente, el número de movimientos en masa (Lecarpentier et al., 1978).

Respecto a la relación pendiente frente a movimientos en masa, existen algunas divergencias en su análisis. En general, no es apropiado generalizar dicha relación para todos los ambientes climáticos. Diversos autores coinciden en que pendientes bajas y altas o muy altas son menos susceptibles a los movimientos en masa. Ocurre que cuanto mayor sea la pendiente, mayor debería ser la susceptibilidad a la rotura de la formación superficial. Sin embargo, se observa que a partir de los 45° ocurre lo contrario y la pendiente de la ladera es demasiado empinada para retener la formación superficial. Por esta razón, a pendientes elevadas solo aflora el substrato rocoso y la posibilidad de aparición de roturas se reduce drásticamente (Ayala-Carcedo, 2002).

Densmore y Hovius (2000) revelan una alta frecuencia de pendientes naturales superiores a 40° sin movimientos en masa en áreas en las cuales ocurrieron estos eventos disparados por lluvias y sismos. Esto significa que son menos frecuentes los movimientos en masa sobre estas pendientes. Thomas (1994) reseña diversos estudios en Estados Unidos y Japón. Estas investigaciones aportan la relación entre movimientos en masa y pendientes; además reportan que en taludes menores o iguales a 20° son aparentemente estables, pero no pueden ser considerados 100 % seguros durante eventos extremos. Los taludes entre 26 y 28° se caracterizan por su gran inestabilidad; entre 38 y 50° son propicios (en Puerto Rico) para eventos de reflujos de escombros. En Japón son comunes en el rango de 35 a 50°.

El mapa de pendientes (Mapa 4) se elaboró a partir de la información topográfica a escala 1: 100 000 del IGN. Esta fue procesada en el software ArcGis, versión 10.1, con la herramienta Spatial Análisis, módulo slope, a partir de un modelo de elevación de terreno (MED) con una malla de 50 m.

El mapa de pendientes muestra que en las zonas de pendiente media a alta se registra la mayoría de problemas de movimientos en masa. En terrenos con pendientes llanas o muy abruptas se ha registrado menor número de ocurrencias. En el Cuadro 7.2 se muestran los pesos asignados de acuerdo al grado de pendiente.

7.2.2 Litología (L)

La litología es uno de los parámetros más importantes al analizar la susceptibilidad a los movimientos en masa, pero también es uno de los más complejos de evaluar por las diferentes asociaciones de rocas que se presentan y que condicionan su competencia geomecánica (fracturamiento) y resistencia (meteorización). Se evalúa el carácter litológico y estructural.

De esta manera, se ha realizado un análisis de las propiedades de las formaciones geológicas y depósitos superficiales, propiedades como el tipo y composición de la roca, origen y tipo de material superficial, fracturamiento, grado de meteorización y presencia de agua. Este análisis busca describir características geotécnicas que pueden ser indicadores de su resistencia y susceptibilidad a los procesos erosivos y movimientos en masa.

La parte estructural considera los sistemas de discontinuidades presentes en la roca, como planos de debilidad (estratificación, pliegues, fallas y diaclasas), estructuras tectónicas presentes en el material, en las cuales se ha presentado desplazamiento relativo de masas. Su influencia en la susceptibilidad está gobernada por su rumbo, buzamiento (en relación al talud o inclinación de laderas), espaciamiento y continuidad, grado de actividad (fallas activas, etc.), entre otros (Suarez, 1998). En el Cuadro 7.3 se presentan los pesos asignados a las diferentes unidades del mapa litológico (Mapa 2).

7.2.3 Geomorfología (G)

El rasgo geomorfológico es, generalmente, tomado en cuenta como un aspecto de la pendiente. Sin embargo, las formas del terreno tienen incidencia directa en la estabilidad de las laderas. Se han clasificado las formas del terreno de acuerdo a su origen, tipo de roca asociado y las estructuras para predecir la estabilidad y los comportamientos frente a procesos erosivos (Van Zuidam, 1985).

Como factores condicionantes de la susceptibilidad, las unidades geomorfológicas diferenciadas en el presente estudio han sido consideradas muy importantes para los objetivos perseguidos.

Las unidades diferenciadas en el mapa geomorfológico (Mapa 5) se valorizaron de acuerdo a la ocurrencia de movimientos en masa registrados en el inventario. Según esto, las geofomas de montañas en rocas metamórficas, montañas en rocas sedimentarias, montañas en rocas volcánico-sedimentarias, montañas en rocas volcánicas y montañas en rocas intrusivas son las más susceptibles. También lo son los piedemontes con depósitos de deslizamientos, aluvio-torrenciales, glaciares y coluviales. En el cuadro 7.4 se presentan los pesos asignados a cada una de las unidades diferenciadas en el mapa geomorfológico.

7.2.4 Hidrogeología (H)

El agua es el factor que más se asocia con los movimientos en masa y, en general, a la falla de los taludes o laderas en zonas tropicales, debido a que la mayoría de estos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos prolongados. Estas lluvias favorecen la infiltración de agua en el suelo, y es, entonces, el agua subterránea uno de los principales factores que condiciona la ocurrencia de movimientos en las laderas.

Las precipitaciones pluviales, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, pueden producir acumulación de agua subterránea, debido que el talud o ladera no ha drenado el agua infiltrada. Al ocurrir la siguiente lluvia se produce un ascenso del nivel freático, situación que no es favorable a la estabilidad de los terrenos. El régimen de aguas subterráneas, en respuesta a las lluvias, será diferente según la pendiente de la ladera, su litología y vegetación.

El tiempo que se requiere para que una lluvia produzca un deslizamiento es mayor en una arcilla que en un material arenoso, a consecuencia de las diferencias de infiltración que existe entre estos dos tipos de materiales (por ser las arcillas menos permeables). Este tiempo es inversamente proporcional a la permeabilidad para valores constantes de los demás parámetros.

La cantidad de agua que se infiltra en la tierra queda determinada, además de la cantidad, intensidad y tipo de precipitación, estructura geológica (fracturamiento), la pendiente del terreno, cantidad y tipo de vegetación, por la permeabilidad de los suelos y rocas, relacionados a la estratigrafía o secuencia de estratos permeables e impermeables. Una infiltración alta puede producir problemas de presión del agua interna que genere un deslizamiento. En el caso de que el talud llegue a saturarse, la facilidad o dificultad con que el talud se autodrene dependerá de las formaciones geológicas circundantes; por tanto, la presencia de mantos permeables de evacuación de agua favorecerá grandemente su estabilidad. Los materiales

impermeables que impiden el paso de las corrientes de agua subterránea facilitan la ocurrencia de deslizamientos.

En el terreno se dan dos tipos de flujo de agua subterránea: intergranular (a través de los poros en formaciones aluviales, coluviales, etc.) y a través de fisuras (rocas). Respecto al flujo de agua en rocas y suelos residuales se pueden señalar las siguientes premisas:

- En rocas volcánicas, a veces, su porosidad es muy grande, pero sus poros no necesariamente están intercomunicados. El agua corre a través de grietas formadas al enfriarse y entre los derrames lávicos sucesivos.
- Las rocas ígneas y metamórficas pueden ser las menos saturadas y la poca agua presente procede de sus fracturas.
- Las areniscas y rocas sedimentarias permeables son formaciones acuíferas importantes y presentan grandes flujos de agua especialmente, en la dirección de la estratificación.
- En calizas, su porosidad depende mucho de su disolución interna, pero cuando esta es importante da lugar a abundantes manantiales, ríos subterráneos, etc.
- En suelos residuales existe una relación del régimen de aguas subterráneas con la presencia de discontinuidades de tipo geológico. Los suelos de origen ígneo y metamórfico almacenan poca agua y en ellos las corrientes de agua están relacionadas, comúnmente, con fallas de origen tectónico. Es un caso común en formaciones residuales, que un talud posea capas alternadas de materiales permeables y casi impermeables que generan concentraciones de flujo sobre ciertos planos que pueden ser o llegar a ser planos críticos de falla.

De acuerdo a las concepciones teóricas expuestas, la diferenciación de unidades litológicas en el mapa hidrogeológico, en función de su permeabilidad, y de las observaciones efectuadas en campo para las diferentes unidades de roca y suelo, se han considerado cinco grados de susceptibilidad (muy alta, alta, media, baja y muy baja).

En el análisis de esta variable, se ha tomado en cuenta la capacidad de almacenamiento de agua de cada unidad hidrogeológica. Las unidades con mayor contenido de agua (Mapa 3) y con poca capacidad de transmisión de esa agua son más susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa, excepto los depósitos no consolidados, como los aluviales, eólicos y fluviales ubicados en zonas de valle en la región. En el Cuadro 7.5, se muestran los pesos asignados a las unidades hidrogeológicas.

Cuadro 7.1
Factores o variables y pesos en porcentajes de su influencia en la susceptibilidad

Variable o factor	Descripción	Obtención	Peso (%)
Cobertura vegetal y uso del 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.	A partir del mapa de cobertura vegetal del Perú (Minam, 2012) (Mapa 1)	10
Litología (L)	Se estima la inestabilidad de los terrenos en función a las características litológicas de las unidades diferenciadas (substrato rocoso y depósitos inconsolidados).	En base a los mapas geológicos a escala 1:100 000 y 1:50 000 de la carta geológica nacional e interpretación de imágenes satelitales (Mapa 2).	27
Hidrogeología (H)	Diferenciación de unidades litológicas en función de su permeabilidad (acuíferos porosos, acuíferos fisurados, acuitardos, acuífugos y acuícludos).	En base a los mapas geológicos a escala 1: 100 000 de la carta geológica nacional (Mapa 3).	15
Pendiente (P)	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 4).	20
Geomorfología (G)	Unidades geomorfológicas de acuerdo a su amplitud de relieve, litología, altura relativa, pendiente y asociación morfogenética.	Interpretación de imágenes satelitales, cartas topográficas y chequeo de campo a escala 1:100 000 (Mapa 5).	28

Cuadro 7.2
Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a los rangos de pendientes

Rango de pendiente	Clase	Comentarios	Peso	Grado
< 1°	Muy llanos	Es muy difícil que se generen movimientos en masa, pero son afectadas por el alcance de eventos originados en las porciones adyacentes o superiores de mayor pendiente. Sin embargo, se debe considerar que, debido a precipitaciones pluviales intensas, estos terrenos planos elevados (mesetas y terrenos plano ondulados) pueden presentarse cortados por surcos, cárcavas y pequeñas torrenteras por donde discurren flujos excepcionalmente. Son afectados por inundaciones, por ser terrenos con escaso drenaje.	1	Muy baja
1-5°	Suave	Áreas poco susceptibles a movimientos en masa de inclinación suave afectadas o cortadas por eventos que se generan en zonas más altas o de pendiente más inclinada, generalmente flujos de detritos que depositan los materiales que acarrear en estas zonas planas, formando abanicos.	2	Baja
5-15°	Moderada	Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa.	3	Media
15-25°	Fuerte	Conforman relieves inclinados, se les considera altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.	4	Alta
25-45°	Muy Fuerte	Caracterizado por presentar muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.	5	Muy alta
> 45°	Muy escarpado	Son zonas abruptas. La ocurrencia de peligros dependerá de las condiciones intrínsecas de la roca (grado de fracturamiento y orientación, estratificación, etc.), la presencia de suelo y de los detonantes (lluvia, sismos). Se les ha considerado con alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.	4	Alta

Pesos y grados asignados: 1= Muy baja, 2= Baja, 3 = Media, 4 = Alta, 5= Muy alta

Cuadro 7.3

Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades litológicas

Grupo	Unidad	Subunidad	Denominación genética	Peso	Grado
Sedimentos modernos	Depósitos inconsolidados (I)	I-3	Depósito aluvial	3	Medio
		I-4	Depósito proluvial	5	Muy alto
		I-5	Depósito deluvial	4	Alto
		I-6	Depósito coluvial	5	Muy alto
		I-7	Depósito lacustrino	3	Medio
		I-8	Depósito glaciar y fluvio-glaciar	5	Muy alto
		I-11	Depósito químico	2	Bajo
Unidades del substrato	Rocas intrusivas (II)	II-1	Granitos y monzogranitos	2	Bajo
		II-2	Granodioritas	3	Medio
		II-3	Dioritas, tonalitas, melodioritas, gabrodiorita, gabro	3	Medio
		II-4	Pófidos, hipabisales	2	Bajo
	Rocas volcánicas (III)	III-1	Rocas piroclásticas	4	Alto
		III-2	Rocas piroclásticas y lavas	3	Medio
		III-3	Secuencia lavica andesítica/dacítica	2	Bajo
		III-4	Andesita basáltica	2	Bajo
	Rocas volcano-sedimentarias (IV)	IV-1	Rocas piroclásticas y lavas dacíticas y andesitas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomeradas	3	Medio
		IV-2	Rocas piroclásticas y lahares, lavas, tobas andesíticas y lahares intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados	4	Alto
	Rocas sedimentarias (V)	V-1	Calizas, lutitas carbonosas, limorcillitas y margas	3	Medio
		V-2	Areniscas y lutitas	4	Alto
		V-3	Lodolitas, limolitas, limoarcillitas	5	Muy alto
		V-5	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	5	Muy alto
		V-6	Areniscas cuarzosas	2	Bajo
		V-8	Calizas macizas	2	Bajo
		V-9	Domos de sal y yeso	4	Alto
		V-10	Areniscas, limoarcillitas y calizas	3	Medio
	Rocas metamórficas (VI)	VI-1	Esquistos y pizarras	4	Alto
		VI-2	Gneis	1	Muy baja
VI-4		Cuarcitas, esquistos, filitas y pizarras	3	Medio	

Pesos y grados asignados: 1= Muy baja, 2= Baja, 3 = Media, 4 = Alta, 5= Muy alta

Cuadro 7.4
Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades geomorfológicas

Geformas	Unidad	Subunidad	Peso	Grado
De carácter técnico-degradacional y erosional	Montañas	Montañas en rocas intrusivas	4	Alto
		Montañas en rocas metamórficas	4	Alto
		Montañas en rocas sedimentarias	4	Alto
		Montañas en rocas volcánicas	4	Alto
		Montañas en rocas volcano-sedimentarias	3	Medio
		Montaña estructural en rocas sedimentarias	4	Alto
		Montaña estructural en rocas volcánico-sedimentarias	4	Alto
		Montaña estructural en roca metamórfica	4	Alto
		Montaña con cobertura glacial	5	Muy alto
	Colinas y lomadas	Colina en roca intrusiva	2	Bajo
		Colina en roca metamórfica	3	Medio
		Colina en roca sedimentaria	3	Medio
		Colina en roca volcánica	2	Bajo
		Colinas en roca volcánico-sedimentaria	2	Bajo
		Colina estructural en roca sedimentaria	3	Medio
		Colina estructural en roca volcánico-sedimentaria	3	Medio
		Colinas y lomadas en rocas intrusivas	2	Bajo
		Colinas y lomadas en roca sedimentaria	2	Bajo
		Colina y lomada disectada en roca sedimentaria	3	Medio
		Colina y lomada en roca volcano-sedimentario	2	Bajo
		Lomada en roca intrusiva	2	Bajo
		Lomadas en roca sedimentarias	2	Bajo
		Lomada en roca volcánica	2	Bajo
	Volcánicas	Coladas o campos de lava basalto-andesítica	2	Bajo
		Cono de escorias monogenético	3	Medio
		Domo volcánico	3	Medio
		Complejo volcánico	3	Medio
		Colina y lomada ignimbrítica	3	Medio
	Planicies	Meseta o planicie volcanoclástica	1	Muy bajo
		Meseta volcánica lávica	1	Muy bajo
		Superficie con flujo piroclástico	1	Muy bajo
		Superficie con flujo piroclástico disectado	3	Medio
		Altiplanicie sedimentaria	1	Muy bajo
Altiplanicie sedimentaria disectada		3	Medio	
Altiplanicie estructural sedimentaria		1	Muy bajo	

Geoformas	Unidad	Subunidad	Peso	Grado
De carácter depositacional y agradacional	Piedemontes	Vertiente coluvial de detritos	4	Alto
		Vertiente con depósito de deslizamiento	5	Muy alto
		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	4	Alto
		Vertiente o piedemonte aluvial	3	Medio
		Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	5	Muy alto
		Vertiente glaciar o de gelifracción	4	Alto
		Vertiente glacio-fluvial	4	Alto
		Vertiente de detritos poligénica	4	Alto
		Morrenas	3	Medio
	Valle	Valle encañonado o valle cañón	4	Alto
		Valle glaciar	3	Medio
		Valle glaciar con lagunas	4	Alto
	Planicies, depresiones y otros	Terrazas aluviales	1	Muy bajo
		Terraza media aluvial	1	Muy bajo
		Terraza alta aluvial	1	Muy bajo
		Terraza indiferenciada	1	Muy bajo
		Altiplanicie aluvial	1	Muy bajo
		Llanura o planicie inundable	1	Muy bajo
		Planicie de travertinos	2	Bajo
		Bofedales	1	Muy bajo
	Cuerpos de agua	Cauce de río, laguna y cuerpos de agua	1	Muy bajo
	Actividad minera	Actividad Minera	3	Medio

Pesos y grados asignados: 1= Muy baja, 2= Baja, 3 = Media, 4 = Alta, 5= Muy alta

Cuadro 7.5

Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades hidrogeológicas

Unidad	Clasificación	Símbolo	Peso	Grado
Acuíferos	Acuífero poroso no consolidado	APNC	1	Muy baja
	Acuífero sedimentario	AS	3	Media
	Acuífero fisurado sedimentario	AFS	3	Media
	Acuífero fisurado kárstico	AFK	3	Media
	Acuífero fisurado volcánico	AFV	3	Media
	Acuífero fisurado volcánico-sedimentario	AFVS	3	Media
Acuitardos	Acuitardo	AT	4	Alta
	Acuitardo sedimentario	ATS	5	Muy alta
	Acuitardo volcánico	ATV	3	Media
	Acuitardo volcánico-sedimentario	ATVS	3	Media
	Acuitardo intrusivo	ATI	4	Alta
	Acuitardo metamórfico	ATM	4	Alta
Acuicludo	Acuicludo metamórfico	ACM	5	Muy alta

Pesos y grados asignados: 1= Muy baja, 2= Baja, 3 = Media, 4 = Alta, 5= Muy alta

7.2.5 Cobertura vegetal y uso del suelo (CV)

Se considera que la presencia de cobertura vegetal ayuda en parte en la disminución de los procesos o evolución de los movimientos en masa y contribuye en el control de la erosión de laderas con excepción de terrenos con pendientes superiores a 45°. El tipo, la densidad, la capacidad de interceptación y el área de protección de cobertura vegetal constituyen factores de resistencia o favorecimiento de los procesos morfodinámicos como la erosión y los movimientos en masa. En área de alta pendiente y de coberturas vegetales de ciclos biológicos muy lentos y frágiles, toda intervención de estas hace que aumente la susceptibilidad (Sánchez, et al., 2002).

La cobertura vegetal es un factor de protección contra la erosión porque protege el suelo de la erosión pluvial, y aumenta la evapotranspiración y la infiltración, pero disminuye la escorrentía. Debajo de cualquier tipo de vegetación, una parte del agua de lluvia (que depende esencialmente de su intensidad) no llega al suelo por ser interceptada por el follaje y es evaporada directamente. Parte importante del agua que cae llega hasta el suelo se infiltra (acción positiva de la cobertura muerta y de la estructura del suelo bajo vegetación), de tal manera que la cantidad de aguas de lluvia que se escurre es menor en terrenos de cobertura vegetal que en terrenos desprotegidos (Lecarpentier et al., 1977).

Se puede decir, entonces, que la vegetación cumple una función de estabilizador de suelo. Las plantas con raíces profundas proveen un sostenimiento de suelos al introducirse en ellos y servir de anclaje contra el substrato rocoso.

Pero todos los tipos de vegetación no ofrecen la misma protección. Esta disminuye en relación con la densidad de cubrimiento vegetal. En climas muy húmedos, la vegetación, aunque densa, no puede contrarrestar la erosión, especialmente los movimientos en masa. Al contrario, parece que hasta favorece este fenómeno porque aumenta la infiltración, que origina derrumbes y deslizamientos que actúan al mismo tiempo que la erosión por escurrimiento difuso. Los ríos que salen de cuencas bajo bosque primario frecuentemente acarrean gran cantidad de sedimentos finos que enturbian las aguas por las causas descritas en el texto superior (Lecarpentier et al., 1977).

Trabajos publicados por varios autores tratan el tema del papel que desempeña la cobertura vegetal en la estabilización de laderas. Yin et al., (1988) concluyeron, sobre la base de trabajos realizados en Hong Kong, que las raíces de los árboles proporcionaron una resistencia efectiva contra fallas superficiales. Sin embargo, en otros casos, las raíces de las plantas jugaron un papel adverso en la estabilidad de laderas; ya que ellas se desarrollan a través de planos de foliación de rocas o fracturas y rompen la roca. Esto facilita el ingreso de

agua en las grietas. Por otro lado, si el árbol muere, las raíces se pudren y dejan huecos. Por ahí se facilita la infiltración de agua. En la figura 7.1 y el cuadro 7.6 se resumen las conclusiones de Yin et al. (1988) sobre la influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes.

Sancio (1996) dice que las raíces no tienen acción estabilizante en un deslizamiento activo, ya que, al estar por encima del plano de falla, estas no tienen efecto alguno. Si cruzan el plano de falla, son cortadas. En consecuencia, muere el árbol y todos sus efectos beneficiosos.

La información evaluada se obtuvo a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo, el cual se elaboró teniendo como base el mapa de cobertura vegetal del Perú (Perú. Ministerio del Ambiente, 2015). La valoración de este parámetro se ha realizado de acuerdo a la influencia beneficiosa de cada subunidad del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo (mapa 1) a la ocurrencia de movimientos en masa. En el cuadro 7.7 se presos asignados.

7.3 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Este mapa fue el resultado de la integración de las variables o factores analizados mediante el uso del software ArcGis 10.1. Se empleó la siguiente fórmula:

$$SMM = \underline{SL(0.27) + SP(0.20) + SGM(0.28) + SH(0.15) + SCV(0.10)}$$

5

En donde:

- SMM : Susceptibilidad a los movimientos en masa
- SL : Susceptibilidad del parámetro litología
- SP : Susceptibilidad del parámetro pendiente
- SG : Susceptibilidad del parámetro geomorfología
- SH : Susceptibilidad del parámetro hidrogeología
- SCV : Susceptibilidad del parámetro cobertura vegetal y uso del suelo

Como resultado de este análisis, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa (Mapa 7), con 5 grados de susceptibilidad.

7.4 GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

7.4.1 Muy baja susceptibilidad

Estas áreas presentan, en general, una topografía plana algo ondulada con pendientes bajas a muy bajas (1°-5°). Se tienen depósitos superficiales de materiales inconsolidados de tipo fluvial, aluvial. Hay además substrato rocoso constituido

por rocas intrusivas (granitos), rocas sedimentarias de las formaciones Ipururo y secuencias volcánicas de lavas andesíticas y basálticas, poco fracturadas, dura y resistentes a la meteorización y erosión. Constituyen terrenos con laderas de inclinación llana, con morfologías de mesetas ignimbríticas, mesetas volcanoclásticas y lávicas, fondos de valles, llanuras inundables, terrazas y terrazas indiferenciadas, cimas de promontorios montañosos redondeados, así como los cuerpos de agua. Se tiene una vegetación de bosques húmedos de montañas, colinas y lomadas; zonas de bofedal y pajonal con pendiente baja; y valles donde se desarrollan labores agrícolas. 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 hacen difícil su ocurrencia, aunque no significa que no se puedan producir. Estos terrenos se pueden considerar relativamente estables.

Esta zona de muy baja susceptibilidad puede ser alcanzada por las porciones finales o frentes de flujos de detritos 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, a escalas más detalladas, incluyendo el modelamiento para inundaciones) en las áreas de escorrentía, generación de flujos de detritos u otros movimientos en masa en sus zonas marginales.

Esta área ocupa el 4.5% de la superficie total de la región y, en el Mapa de Susceptibilidad a los Movimientos en Masa, es representada con un color verde claro. En estas áreas se encuentran las terrazas de la margen derecha del río Apurímac. Aquí se asienta el poblado de Kimbiri; terrazas y llanuras inundables correspondientes a los valles de los ríos Urubamba, Camisea, Picha, Timpia, Mantalo, Yavero, Vilcanota, Paucartambo, Marcapata, Salado, Tambo, Santo Tomás, entre otros. Dentro de esta zona se encuentran asentados los poblados de Pillcopata, Jaruma, parte del poblado de Challabamba, Chinchero, Ccarhuayo, Ocongate, Checcacupe, Pitamarca, Combapata, Tinta, Sicuani, Sonto Tomás, El Descanso, entre otros.

7.4.2 Baja susceptibilidad

Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa. Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada con pendientes muy bajas a medias (hasta 15°) en algunos sectores. Se tienen depósitos de materiales superficiales aluviales, deluviales, coluviales y glacio-fluvial. El substrato está constituido por rocas sedimentarias (calizas macizas, areniscas y lutitas, y areniscas cuarzosas), rocas intrusivas (granito, monzogranito; dioritas,

tonalitas y gabrodiorita), rocas volcánicas (secuencia de rocas piroclásticas, lavas andesíticas y basálticas), secuencias volcano-sedimentarias y gneis. La cobertura vegetal está representada por matorrales, bosques húmedos de montañas, colinas, lomadas y terrazas pajonales, y zonas agrícolas.

Se incluyen a las unidades geomorfológicas de colinas y lomadas, coladas y campos de lava, piedemontes glacio-fluviales, mesetas y altiplanicies, terrazas aluviales, valles de ríos y hombros de montañas sedimentarias.

Algunas zonas pueden considerarse relativamente inestables. Aquí se localizan obras de infraestructura vial muy importantes (carretera de penetración hacia el Manu, tramos de la carretera Central entre Cusco y La Raya). Dichas vías resultan dañadas por inundaciones, también por flujos de lodo y detritos originados en zonas de mayor altitud durante periodos de lluvia extraordinaria. Se debe tener en cuenta que muchos de estos flujos se forman en zonas de susceptibilidad media a alta y las áreas más afectadas resultan ser las zonas bajas de pendiente suave (1°-5°), que es donde llegan a depositarse estos flujos. Asociados a estas lluvias extraordinarias están los 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 usada.

Esta área ocupa el 13.77% de la superficie total de la región y en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa es representada con un color verde oscuro. Estas áreas se localizan en los abanicos aluviales de los ríos Marcapata, Quero y San Juan en el lado este de la región. Los abanicos aluviales confluyen a la laguna de Langui-Layo y al río Vilcanota entre los poblados de Sicuani y Checcacupe, y en los abanicos aluviales de la altiplanicie del extremo suroeste de la región.

Dentro de esta zona se han desarrollado las comunidades de Ocoruro, Coporaque, Cusipata, Quiquijana, Accha, Acopia, Mosollacta, Yanaoca, San Pablo, San Pedro, Checcacupe, Quiquijana, Cusipata, Sangarará, Luche, Andahuaylilla, Langui, Huaró, Urcos, Quincemil, Paucartambo, Písac, Ccatca, Calca, Velille.

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.

7.4.3 Media susceptibilidad

Aquí algunas condiciones pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. Estas áreas presentan pendientes

bajas a medias (5°–15°). Así se tienen depósitos de material superficial coluvio-deluvial, glaciar, poligénico, aluvial y proluvial. El substrato es de rocas sedimentarias (calizas intercaladas con lutitas carbonosas; areniscas y lutitas; conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas; areniscas, limoarcillitas y calizas), rocas intrusivas (granitos, granodioritas y pórfidos), secuencias volcano-sedimentarias (ignimbritas, lavas intercaladas con areniscas, lutitas y conglomerados), rocas volcánicas (flujos de lava y piroclastos) y rocas metamórficas (esquistos, filitas y pizarras). Estas rocas se encuentran fracturadas por los procesos tectónicos que los levantaron y plegaron, así como por las fallas que las cortan. También se hallan alteradas (meteorizadas) por efectos del clima. Las unidades hidrogeológicas que favorecen esta susceptibilidad son los acuíferos (sedimentarios, fisurados sedimentarios y volcánicos), acuitados (intrusivas, sedimentarios, metamórficos y volcánicos) y acuíclados (metamórficos).

Se incluyen dentro de esta zona a las unidades geomorfológicas de montañas, montañas estructurales, montañas con cobertura glaciar, colinas y lomadas, colinas estructurales, complejos volcánicos, coladas de lava, mesetas o planicies disectadas, piedemontes, superficies piroclásticas, morrenas y valle glaciares. Estas últimas se encuentran cubiertas por vegetación de tipo bosque húmedo, pajonal, matorral arbustivo, zonas periglaciares y con cobertura glaciar, y zonas destinadas a labores agrícolas. Es aquí en donde la deforestación se convierte en el punto de partida de los procesos de erosión de laderas y flujos. 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. Las zonas planas son consideradas con susceptibilidad media y obedecen al hecho de que estas son cruzadas por cursos de quebradas activas. Aquí un evento de tipo flujo de detritos o de lodo de gran magnitud, que supere la capacidad de carga y transporte de su canal, produciría desbordes del material que transporta, lo que afecta todo lo que se encuentra en estas zonas.

Estas áreas catalogadas con susceptibilidad media pueden ser afectadas por movimientos en masa (generalmente por alteración o desequilibrio de laderas y taludes generados por actividad antrópica), pero casi siempre permanecen estables por largos periodos de tiempo mientras no se presente un detonante (lluvias generalmente) que los active. Estas áreas también se encuentran circundando áreas de susceptibilidad baja. Se observa que hacia los bordes de planicies disectadas se producen derrumbes, deslizamientos y procesos de erosión de ladera, que pueden afectar toda infraestructura que se encuentre cerca a estos bordes.

Esta área ocupa el 26.6% de la superficie total de la región. Se encuentra distribuida en mayor proporción en la altiplanicie del suroeste de la región y en la faja subandina. Está representada en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con color amarillo. Dentro de esta zona se localizan las localidades de Virginiyoc, Accocunca, Espinar, Héctor Tejada, Maranganí, Livitaca, Colquemarca, Llusco, Quiñota, Pitumarca, Pomacanchi, Acomayo, Acos, Accha, Ccapi, Colcha, Ancahuasi, Anta, Taray, Cusco, San Jerónimo, Challabamba y Paucartambo.

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 y también conocer las condiciones geodinámicas de las áreas circundantes para tomar decisiones respecto a la viabilidad del desarrollo de infraestructura urbana, industrial, etc.

7.4.4 Alta susceptibilidad

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

Estas áreas comprenden topografías con pendientes medias a muy fuerte (15-30°), se tienen depósitos de material superficial inconsolidado de tipo deluvial, proluvial, glaciar y glaciofluvial; el substrato rocoso está conformado por rocas sedimentarias (intercalaciones calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas y margas; areniscas intercaladas con lutitas; conglomerados intercalados con areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas; y areniscas, limoarcillitas y calizas); rocas intrusivas (granodiorita, granito, dioritas, tonalitas y gabros); rocas volcánicas (piroclásticas); rocas volcano-sedimentarias (secuencias de ignimbritas y lavas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados); y también rocas metamórficas (esquistos, filitas y pizarras). Estas rocas se encuentran muy fracturadas por el tectonismo y las fallas que afectaron estas secuencias, se presentan alteradas por efectos de la meteorización.

Se incluyen dentro de esta zona a las unidades geomorfológicas de montañas modeladas en rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias, volcánicas, intrusivas y metamórficas; montañas estructurales; vertientes o piedemontes coluvio-deluviales (se incluyen los depósitos de antiguos deslizamientos), vertientes glaciares, abanicos y piedemontes proluviales (huaicos), finalmente se tienen laderas de montañas muy inclinadas (valles de los ríos Vilcanota, Mapacho, Velille y San Juan); las coberturas vegetales de tipo pajonal, matorral y zonas de

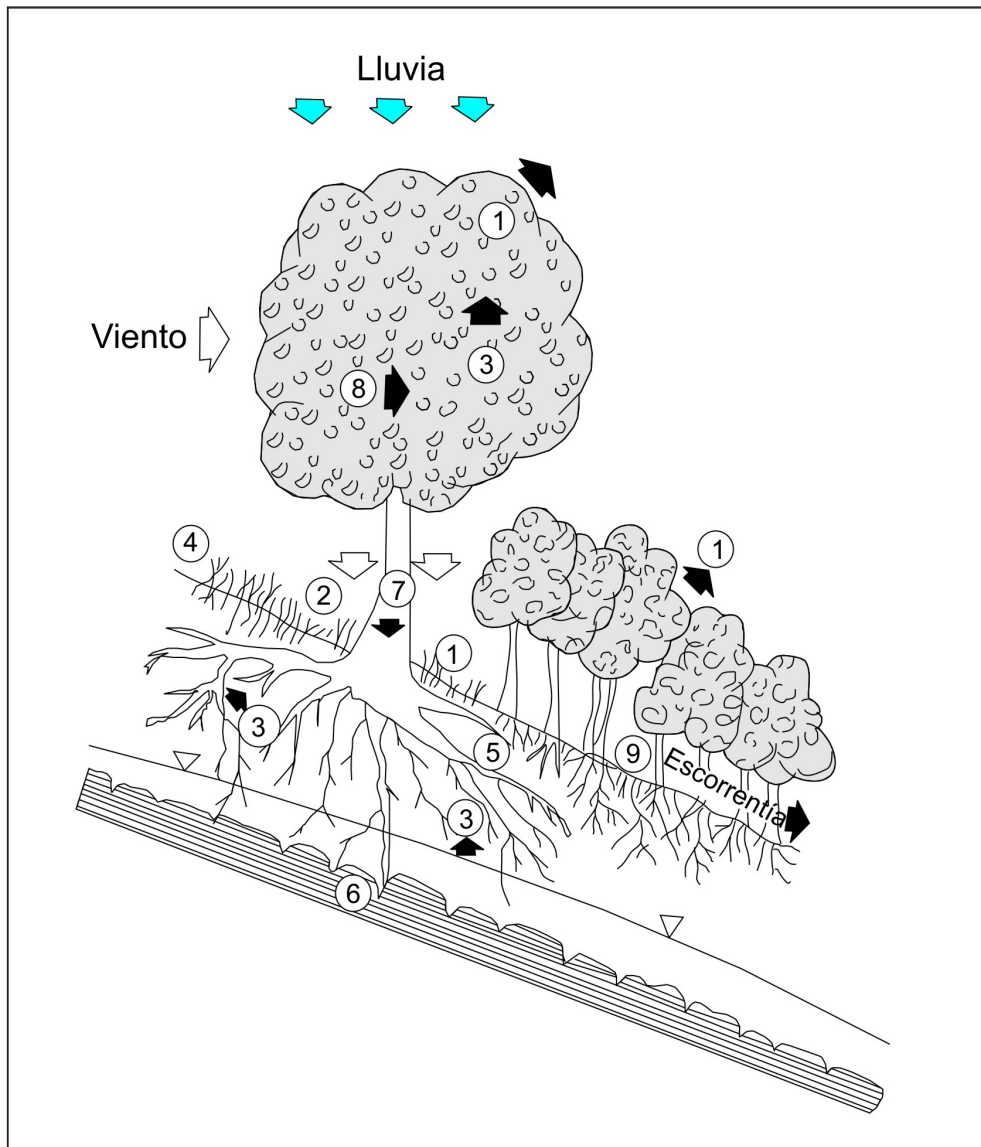


Figura 7.1 Interacción ladera-vegetación e influencia en la estabilidad (Yin et al., 1988).

Cuadro 7.6
Influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes (Yin *et al.*, 1988)

Mecanismos hidrológicos	Influencia
1) El follaje intercepta la lluvia y causa pérdidas por absorción y evaporación. Esto reduce la infiltración de las aguas.	Beneficiosa
2) Las raíces y troncos aumentan la rugosidad de la superficie y la permeabilidad del suelo. Esto aumenta la capacidad de infiltración.	Adversa
3) Las raíces extraen la humedad del suelo; por ello, esta se pierde en la atmosfera por transpiración y conduce a menores presiones de poro.	Beneficiosa
4) La disminución de la humedad del suelo puede acentuar su desecación y agrietamiento. Esto resulta en una mayor capacidad de infiltración.	Adversa
Efectos mecánicos	Influencia
5) Las raíces refuerzan el suelo. Esto aumenta su resistencia al corte.	Beneficiosa
6) Las raíces pueden anclar el suelo dentro de un estrato firme, lo que suministra el soporte al manto del suelo a través de un efecto de berma y de arco.	Beneficiosa
7) El peso de los árboles sobrecarga el talud, lo que aumenta las componentes normales y la fuerza en sentido de la ladera.	Adversa/Beneficiosa
8) La vegetación expuesta al viento transmite fuerza dinámica a la ladera.	Adversa
9) Las raíces unen las partículas de suelo a la superficie del terreno. Esto reduce su susceptibilidad a la erosión.	Beneficiosa

Cuadro 7.7

Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades de cobertura vegetal

Unidad	Subunidad	Símbolo	Peso	Grado
Bosques	Bosque húmedo de terraza baja y media	BHTbm	1	Muy baja
	Bosque húmedo de terraza baja y media deforestada	BHTbmD	3	Media
	Bosque húmedo de terraza alta	BHTa	1	Muy baja
	Bosque húmedo de terraza alta deforestado	BHTaD	3	Media
	Bosque húmedo de colina baja y lomada	BHCbl	1	Muy baja
	Bosque húmedo de colina alta	BHCa	1	Muy baja
	Bosque húmedo de superficie plana inclinada	BHSpi	2	Baja
	Bosque húmedo de montaña	BHM	1	Muy baja
	Bosque húmedo de montaña deforestado	BHMD	5	Muy alta
	Bosque relicto mesoandino	BRM	1	Muy baja
	Bosque relicto altoandino	BRAL	1	Muy baja
	Bosque seco de valle interandino	BSvi	2	Baja
Matorrales	Matorral arbustivo	Ma	3	Media
Hervazal	Pajonal altoandino	Pj	4	Alta
	Bofedal	Bo	4	Alta
Coberturas antrópicas	Plantación forestal	PF	2	Baja
	Agricultura costera y andina	Agri	3	Media
	Ciudad	Ciu	1	Muy baja
	Minería	Mi	3	Media
Otras áreas	Periglaciario	Ap	3	Media
	Glaciario	Gl	5	Muy alta
	Lago y laguna	Lag	1	Muy baja
	Río	R	1	Muy baja

Pesos y grados asignados: 1= Muy baja, 2= Baja, 3 = Media, 4 = Alta, 5= Muy alta

bosques húmedos que han sufrido deforestación. Las unidades hidrogeológicas comprometidas son los acuicludos, acuitardos (intrusivos, volcánicos, sedimentarios y metamórficos).

Esta área ocupa el 36.35% de la superficie total de la región, distribuido en la zona de cordilleras afectadas por la deflexión andina; está representado en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa en color anaranjado. Dentro de esta zona se localizan los poblados de Pichigua, Layo, Tungasuca, Pilpinto, Capacmarca, Rondocán, Marcapata, Caicay, Oropesa, Saylla; Huanoquite, Yaurisque, Ccorcca, Chinchaypujio, Mollepata, Limatambo, Zurite, Huarcocondo, Poroy, Cusco, San Sebastián, Huancarani, Colquepata, Urubamba, Ollantaytambo, Lucma, Santa Tereza, Machupicchu, Aguas Calientes, Huyro, Ocobamba, Echarate, Maranura, Quellouno, Quebrada Honda, etc.

Dentro de esta zona también se encuentran tramos de carreteras importantes del Cusco, como son el tramo de la carretera

Interoceánica entre Urcos-Ccatca-Ocongate Marcapata; vía Cusco-Taray-Písac-Colquepata; y la vía Calca-Lares.

Estas áreas son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa (deslizamientos, 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 pérdida de la cobertura vegetal cuando se realiza la tala de bosques para aprovechamiento del suelo, como terrenos de cultivo, además se encuentra una gran cantidad de derrumbes a lo largo de taludes de corte de carretera que desestabilizan las laderas.

Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones o esta debe de ser muy bien planificada y contar con sus respectivos estudios de zonificación por peligros geológicos a escala local. En el caso de infraestructura vial,

líneas de energía, actividad minera, etc., se deben de realizar estudios geotécnicos de detalle.

7.4.5 Muy alta susceptibilidad

Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Se concentran donde ocurrieron grandes deslizamientos en el pasado actualmente inactivos (deslizamiento de Acos), también se tienen ocurrencias recientes (como por ejemplo los deslizamientos de Colcha, Ranraccasa-Yaurisque, Huamancharpa, Cuyo Chico, etc.).

Estas áreas presentan pendientes fuertes a muy fuertes (15-45°), compromete suelos coluviales derivados de antiguos movimientos en masa, proluviales y glaciares; el sustrato está conformado por rocas sedimentarias (calizas, lutitas carbonosas, limoarcillitas, margas, limolitas y lodolitas), volcano-sedimentarias (ignimbritas y lavas intercaladas con areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados), rocas metamórficas (filitas, pizarras y esquistos); rocas intrusivas (dioritas, tonalitas y gabros). Estas rocas se encuentran muy fracturadas por el intenso plegamiento sufrido en la zona de deflexión andina, también meteorizadas a suelos de tipo arcillo-limoso y areno-limoso. Las unidades hidrogeológicas comprometidas son acuicludos (metamórfico) y acuitardos (metamórficos, sedimentarios, volcánicos, volcánico-sedimentarios).

Se incluyen dentro de esta zona a las unidades geomorfológicas de montañas modeladas en rocas metamórficas, sedimentarias, intrusivas, volcánicas y volcano-sedimentarias, montañas con cobertura glaciar; piedemontes coluvio-deluviales, vertientes con depósitos de deslizamiento, vertientes aluvio-torrenciales y glacio-fluviales; acantilados escarpados de valles encañonados; y laderas de valles con fuerte pendiente (ríos Yavina, Santo Tomás, Salado, Apurímac, Vilcanota, Mapacho, Paucartambo, Yavero, y Yanatile); las coberturas vegetales dominantes son de tipo pajonal, matorral y principalmente zonas de bosques húmedos de montañas que han sufrido deforestación intensa, además considera las zonas denominadas periglaciares.

Aquí se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (mega eventos de tipo deslizamientos, caídas, flujos y movimientos complejos), además de procesos de erosión de laderas. 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 18.78% de la superficie total de la región, están representados en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa con un color rojo. Dentro de esta zona se ubican las localidades de Checca, Quehue, Omacha, Paccaritambo, Paruro, entre otras. También se encuentran

carreteras importantes como son la vía Huancarani-Caicay; carretera Colquepata-Paucartambo-Challabamba; carretera Lares-Quebrada Honda-Quellouno-Echarate-Quillabamba; carretera Huyro-Santa María-Maranura; carretera Santa Teresa-Puente Chaullay.

Se recomienda 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.

7.5 SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL

Otro tipo de peligro que afecta al territorio de la región Cusco, son las inundaciones, asociados a procesos de erosión fluvial; estas se producen por desbordes de ríos de orden mayor (Vilcanota, Mapacho, Yavero, Paucartambo, Yanatile, Apurímac) y sus afluentes tributarios principales.

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

El término susceptibilidad aplicado a la inundación fluvial se entiende como el grado de propensión que tiene un terreno o espacio a sufrir procesos de encharcamiento o inundación producto del desborde de ríos y el encharcamiento por lluvias locales. Las inundaciones de origen fluvial afectan de forma diferencial la llanura de inundación de los ríos, siendo las zonas más bajas y mal drenadas las más propensas a sufrir los procesos de inundación (Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, 2001).

7.6 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES FLUVIALES

La susceptibilidad analizada representa un enfoque basado en un análisis heurístico-cualitativo (Mapa 8), donde prima el conocimiento experto e histórico del lugar que se evalúa; basado en una visión retrospectiva de los eventos acontecidos en la región. El análisis de la susceptibilidad a las inundaciones se basa principalmente en la caracterización geomorfológica, apoyada en la interpretación de imágenes y trabajo de campo;

y en general, en la utilización de mapas geomorfológicos y de pendientes. En forma simultánea ocurren procesos de erosión fluvial como eventos asociados a las inundaciones, generalmente circunscritos al cauce principal del río o quebrada, limitado por terrazas bajas o altas, donde su fuerza erosiva o socavamiento fluvial es originado muchas veces por la carga de sedimentos (flujos de detritos).

Las variables usadas, la forma de obtención de cada mapa, así como los pesos ponderados asignados a cada factor se presentan en el Cuadro 7.8. Los pesos y grados de susceptibilidad asignados a los rangos de pendientes y a las unidades geomorfológicas, en relación a las inundaciones se presentan en los Cuadros 7.9 y 7.10.

7.7 GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES FLUVIALES

Los rangos o grados de susceptibilidad fueron calculados estadísticamente de la misma forma en que fue utilizada para el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa, utilizando el software ArcGis 10.1, en donde se empleó la siguiente fórmula:

$$SI = \frac{SGI (0.60) + SPI (0.40)}{2}$$

En donde:

SI : Susceptibilidad a las inundaciones

SGI : Susceptibilidad del parámetro geomorfología a las inundaciones

SPI : Susceptibilidad del parámetro pendiente a las inundaciones

La caracterización de los diferentes rangos de susceptibilidad a las inundaciones (Mapa 9) y su distribución en la región se describe y detalla en el Cuadro 7.11.

Las áreas sujetas a inundaciones y erosión fluvial con mayor intensidad en la región Cusco, están localizados en los valles interandinos de las cordilleras Occidental y Oriental, por donde discurren grandes caudales de forma excepcional, relacionadas a lluvias estacionales extraordinarias, se inundan terrenos bajos (llanuras inundables y terrazas bajas a medias) y se erosionan terrazas aluviales; también se producen desbordes a lo largo de cursos de ríos que forman grandes abanicos aluviales, como por ejemplo los abanicos ubicados en la zona de altiplanicie del extremo suroeste de la región y los que se depositan al pie de la Faja Subandina.

Asimismo, también se pueden producir inundaciones en centros urbanos ubicados en terrenos planos, cuando las precipitaciones pluviales son extremadamente intensas y se forman anegamientos o encharcamientos, por acumulación de agua que el terreno o substrato no puede infiltrar o porque no se cuenta con adecuados sistemas de drenaje.

Cuadro 7.8

Ponderación de variables en el análisis de la susceptibilidad a las inundaciones.

Variables	Descripción	Obtención	Peso (%)
Pendiente	Rangos de pendientes de los terrenos, expresado en grados (0°-90°).	Modelo digital de elevaciones, obtenido con el SIG a partir de mapas topográficos a escala 1: 100 000 con equidistancia de curva cada 50 m. (Mapa 4)	40
Geomorfología	Unidades geomorfológicas de acuerdo a su amplitud de relieve, altura relativa, pendiente y asociación morfogenética.	Interpretación de imágenes satelitales, cartas topográficas y control de campo a escala 1:100 000. (Mapa 5)	60

Cuadro 7.9
Pesos y grado de susceptibilidad a las inundaciones asignados a las unidades geomorfológicas

Geoformas	Unidad	Subunidad	Peso	Grado
De carácter técnico-degradacional y erosional	Montañas	Montañas en rocas intrusivas	1	Muy Bajo
		Montañas en rocas metamórficas	1	Muy Bajo
		Montañas en rocas sedimentarias	1	Muy Bajo
		Montañas en rocas volcánicas	1	Muy Bajo
		Montañas en rocas volcano-sedimentarias	1	Muy Bajo
		Montaña estructural en rocas sedimentarias	1	Muy Bajo
		Montaña estructural en rocas volcánico-sedimentarias	1	Muy Bajo
		Montaña estructural en roca metamórfica	1	Muy Bajo
		Montaña con cobertura glaciar	1	Muy Bajo
	Colinas y lomadas	Colina en roca intrusiva	1	Muy Bajo
		Colina en roca metamórfica	1	Muy Bajo
		Colina en roca sedimentaria	1	Muy Bajo
		Colina en roca volcánica	1	Muy Bajo
		Colinas en roca volcánico-sedimentaria	1	Muy Bajo
		Colina estructural en roca sedimentaria	1	Muy Bajo
		Colina estructural en roca volcánico-sedimentaria	1	Muy Bajo
		Colinas y lomadas en rocas intrusivas	1	Muy Bajo
		Colinas y lomadas en roca sedimentaria	1	Muy Bajo
		Colina y lomada disectada en roca sedimentaria	1	Muy Bajo
		Colina y lomada en roca volcano-sedimentario	1	Muy Bajo
		Lomada en roca intrusiva	1	Muy Bajo
		Lomadas en roca sedimentarias	1	Muy Bajo
	Lomada en roca volcánica	1	Muy Bajo	
	Volcánicas	Coladas o campos de lava basalto-andesítica	1	Muy Bajo
		Cono de escorias monogenético	1	Muy Bajo
		Domo volcánico	1	Muy Bajo
		Complejo volcánico	1	Muy Bajo
		Colina y lomada ignimbrítica	1	Muy Bajo
	Planicies	Meseta o planicie volcanoclástica	2	Bajo
		Meseta volcánica lávica	2	Bajo
		Superficie con flujo piroclástico	2	Bajo
		Superficie con flujo piroclástico disectado	1	Muy Bajo
		Altiplanicie sedimentaria	3	Medio
Altiplanicie sedimentaria disectada		1	Muy Bajo	
Altiplanicie estructural sedimentaria		2	Bajo	

Geoformas	Unidad	Subunidad	Peso	Grado
De carácter depositacional y agradacional	Piedemontes	Vertiente coluvial de detritos	1	Muy Bajo
		Vertiente con depósito de deslizamiento	1	Muy Bajo
		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	2	Bajo
		Vertiente o piedemonte aluvial	2	Bajo
		Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	2	Bajo
		Vertiente glaciar o de gelifracción	1	Muy Bajo
		Vertiente glacio-fluvial	2	Bajo
		Vertiente de detritos poligénica	1	Muy Bajo
		Morrenas	1	Muy Bajo
	Valle	Valle encañonado o valle cañón	1	Muy Bajo
		Valle glaciar	3	Medio
		Valle glaciar con lagunas	4	Alto
	Planicies, depresiones y otros	Terrazas aluviales	4	Alto
		Terraza media aluvial	3	Medio
		Terraza alta aluvial	2	Bajo
		Terraza indiferenciada	4	Alto
		Altiplanicie aluvial	3	Medio
		Llanura o planicie inundable	5	Muy alto
		Planicie de travertinos	2	Bajo
	Bofedales	4	Alto	
Cuerpos de agua	Cauce de río, laguna y cuerpos de agua	4	Alto	
Actividad minera	Actividad Minera	1	Muy alto	

Pesos y grados asignados: 1= Muy baja; 2= Baja; 3 = Media; 4 = Alta; 5= Muy Alta.

Cuadro 7.10

Pesos y grado de susceptibilidad a las inundaciones asignados a los rangos de pendiente

Rango de pendiente	Clase	Comentarios	Valor	Grado
0-1°	Terrenos llanos	Áreas muy susceptibles a inundaciones	5	Muy alta
1-5°	Pendiente suave	Áreas medianamente susceptibles a inundaciones	4	Alta
5-15°	Pendiente moderada	Áreas donde no se presentan inundaciones	1	Muy baja
15-25°	Pendiente fuerte		1	Muy baja
25-45°	Pendiente escarpada		1	Muy baja
> 45°	Terrenos muy escarpados		1	Muy baja

Pesos y grados asignados: 1= Muy baja; 2= Baja; 3 = Media; 4 = Alta; 5= Muy Alta.

Cuadro 7.11
Susceptibilidad a las inundaciones

Categoría de susceptibilidad	Descripción
Alta	<p>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 de El Niño.</p> <p>En ese sentido, en cuanto a la precipitación pluvial acumulada en el Cusco para el periodo lluvioso normal (setiembre-mayo) en el centro y sur de la región (provincias de Urubamba, Paucartambo, Acomayo, Acos, Calca, Canas, Canchis, Chumbivilcas, Cusco, Paruro, Paucartambo y Quispicanchis), fluctúa entre los 500 y 700 mm; mientras que en el extremo norte (provincia de La Convención) y centro-este (provincia de Paucartambo), los valores de precipitación pluvial acumulada superan los 1000 mm, pudiendo llegar incluso hasta los 2000 mm.</p> <p>El régimen de precipitaciones en la región cambio con la presencia del fenómeno de 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-oeste y centro-oeste (provincias de Anta, Urubamba, Cusco, Paruro, Canas, Acomayo, Canchis, Espinar, Chumbivilcas y extremo oeste de Quispicanchis), fue de 400 a 600 mm. En el extremo centro-este (provincias de Quispicanchis, Paucartambo y Calca), la precipitación pluvial acumulada fue de 400 a 1000 mm, con los valores más altos hacia la faja subandina; mientras que, en el extremo norte de la región, los valores de lluvia acumulada alcanzan los 1600 mm (provincia de La Convención).</p> <p>Algunos de los valles de la región que presentan alta susceptibilidad a las inundaciones son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Río Ocoruro y sus tributarios los ríos Chaquimayo y Chacamayoc: Inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial con precipitaciones estacionales, que afectan valles con terrazas indiferenciadas y terrazas aluviales. – Río Salado: Inundaciones fluviales afectan terrazas aluviales, hasta su confluencia con el río Apurímac. – Río Quero: Inundaciones fluviales relacionadas al valle fluvial y sus terrazas indiferenciadas. – Río Apurímac: Inundaciones fluviales se producen a lo largo del valle fluvial y sus terrazas en el extremo sur de la región, y en la llanura de inundación en el lado oeste de la región en el límite con la región Ayacucho. – Ríos Cayarani y Velille: Las inundaciones fluviales se producen principalmente a lo largo de terrazas aluviales; como ocurre en las proximidades del poblado de Velille, en donde se han tenido que realizar trabajos de encauzamiento del río con diques de gaviones para controlar la erosión en ambas márgenes, en este sector las construcciones se encuentran muy cerca del cauce del río Velille. – Río Vilcanota: Se tiene zonas muy propensas a inundación a lo largo de todo su valle, que afecta las llanuras inundables, terrazas bajas y medias; así como también a lo largo de bofedales cercanos al río, por el levantamiento del nivel freático. – Río Huatanay: Se tienen zonas inundables desde la ciudad de Cusco, pasando por las localidades de San Sebastián, San Jerónimo, Saylla, Oropesa y Huambutío; las zonas afectadas corresponden al cauce del río, las llanuras inundables y sus terrazas aluviales. – En el valle han sucedido varias inundaciones que causaron grandes daños a carreteras, terrenos de cultivo y a las comunidades que se asientan a lo largo de sus márgenes. También se producen inundaciones en las proximidades de las lagunas de Lucre y Moina. – Río Cachimayo: Inundaciones a lo largo del valle del río y sus terrazas indiferenciadas, entre las localidades de Poroy, Cachimayo, Pucyura, Anta y Huarcocondo. – Ríos Mapacho y Paucartambo: Inundaciones fluviales afectan el valle, las llanuras de inundación y terrazas en varios niveles. Se han producido eventos de inundaciones que afectaron la ciudad de Paucartambo, como consecuencia del cierre del cauce de un tributario del río Paucartambo, por un flujo de detritos que generó un represamiento y la consecuente inundación por formación de lagunas detrás del dique; o inundación por la ruptura del dique y desborde de la laguna formada. – A lo largo del valle del río Paucartambo la infraestructura de los poblados ha sido construida muy cerca y hasta en el mismo cauce del río Paucartambo; estas son afectadas por inundaciones y procesos de erosión fluvial. – Río Pillcopata y Queros: Inundaciones fluviales afectan el valle fluvial, sus llanuras de inundación; terrazas bajas y medias. – Ríos Araza y Camanti: Las inundaciones fluviales cubren llanuras inundables, terrazas bajas y medias localizadas hacia ambas márgenes de los ríos, también en vertientes aluviales de gran extensión y escasa pendiente. – 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. <p>Se incluyen zonas urbanas y asentamientos urbanos ubicados dentro de las áreas de inundación normal a excepcional, terrenos de cultivo y vías de comunicación.</p> <p>Estas zonas representan una extensión 3.7 % con respecto a la superficie total de la región.</p>

Categoría de susceptibilidad	Descripción
Media	<p>Inundaciones con precipitaciones ocasionales y extraordinarias a lo largo de terrenos bajos adyacentes a la llanura de inundación, conformado por terrazas bajas, torrenteras y abanicos aluviales de baja pendiente, son zonas mal drenadas o con poca capacidad de infiltración. También se pueden producir inundaciones en terrenos con morfología plana ondulada, conformado por piedemontes de baja pendiente y colinas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Río Salado: Inundaciones fluviales afectan la altiplanicie aluvial localizada en la margen derecha. - Río Ocoruro: Inundaciones fluviales afectan las terrazas medias. - Río Apurímac: Inundaciones fluviales afectan principalmente las terrazas indiferenciadas para este estudio en el tramo encañonado del río. - Río Vellille: Inundaciones fluviales afectan terrazas bajas y medias principalmente. - Río Cayarani: Inundaciones fluviales afectan abanicos aluvio-torrenciales de baja pendiente, formados en la desembocadura de sus principales afluentes. - Río Santo Tomás: Inundaciones fluviales que afectan terrazas aluviales. - Río Vilcanota: Inundaciones afectan terraza media y alta localizadas hacia ambos márgenes del río, también resultan susceptibles a estos procesos los abanicos aluviales y vertientes coluvio-deluviales, que presentan canales de drenaje en su depósito. - Río Huatanay: Las inundaciones pueden afectar terrenos de baja pendiente formados por vertientes coluvio-deluviales de las zonas de San Sebastián y San Jerónimo; y abanicos aluvio-torrenciales en la zona de Oropesa. - Río Berbejo: Inundaciones fluviales comprometen terrazas de baja altura, que afectaron el tramo de la carretera Puente Cunyac-Limatambo. - Procesos de inundación pluvial en un inicio en terrenos plano-ondulados que bordean a lagunas, en mesetas, altiplanicies (provincia de Espinar) y fondo de valles glaciares. - Terrenos planos inundables de baja pendiente, formados por abanicos aluviales y aluvio-torrenciales, localizados en los alrededores de las lagunas de Langui Layo, Pomacanchi, Acopia, Asnacocha, Pampamarca, Sibinacocha, Singrenacocha, Lucre, Piuray, Huaypo, etc. - 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 por ejemplo en la altiplanicie de Anta; 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. <p>Estas zonas representan el 20.55 % de la superficie total de la región.</p>
Baja	<p>Terrenos bajos adyacentes a la llanura de inundación, terrazas, valles fluviales y ríos secundarios, vertientes de suave inclinación donde la topografía configura terrenos cóncavos que pueden acumular agua. Terrenos levemente inclinados, mal drenados que son inundados en periodos de lluvia excepcional.</p> <p>También en 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.</p> <p>Esta zona representa el 5.5 % de la superficie total de la región.</p>
Nula	<p>Esta zona corresponde principalmente a las vertientes de laderas de pendientes muy inclinadas y convexas de montañas y colinas; también en zonas de montaña con cobertura glaciar.</p> <p>Abarca la mayor superficie de la región, con un 70.2 % del área total de la región.</p>

CAPÍTULO VIII

ZONAS CRÍTICAS

8.1 GENERALIDADES

La identificación y descripción de zonas críticas se llevó a cabo mediante la determinación de peligros potenciales individuales y/o el análisis de densidad de ocurrencias de peligros potenciales en un área o sector, donde se exponen infraestructuras o poblaciones, que pueden resultar vulnerables a uno o más peligros (geológicos por movimientos en masa, geohidrológicos y otros peligros geológicos (Mapa 9).

En estas zonas crítica se resaltan las áreas o lugares, que luego del análisis de él o los peligros identificados, la vulnerabilidad a lo que están expuestos (infraestructuras y centros poblados) por estos peligros, se consideran con peligro potencial de generar desastres y que necesitan que se realicen obras de prevención y/o mitigación. 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 dejar de prestar 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 podría aumentar y acelerar su actividad, reactivarse, hasta llegar a constituirse en nuevas zonas críticas.

8.2 DETERMINACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS

Dentro de la región Cusco se han determinado 75 zonas críticas, las cuales se describen de forma resumida en los Cuadros 8.1 al 8.12, estas han sido agrupadas por provincias. Se presenta una descripción del tipo de peligro al que está expuesto o que afecta a cada zona, las zonas vulnerables (los daños causados o los potenciales daños que podría sufrir), así como las recomendaciones que deben tomarse en cuenta para prevenir y mitigar daños.

Haciendo un análisis estadístico del tipo de peligro o peligros que concurren en las 75 zonas críticas identificadas en la región Cusco (Figura 8.1), se puede observar que los peligros concurrentes y que predominan son los flujos de detritos, erosión e inundación fluvial; le siguen las zonas críticas conformadas por deslizamientos; continúan las zonas críticas conformadas por el concurso procesos de erosión e inundación fluvial; y flujo de detritos; el resto de zonas críticas resultan del concurso de 2 o más peligros.

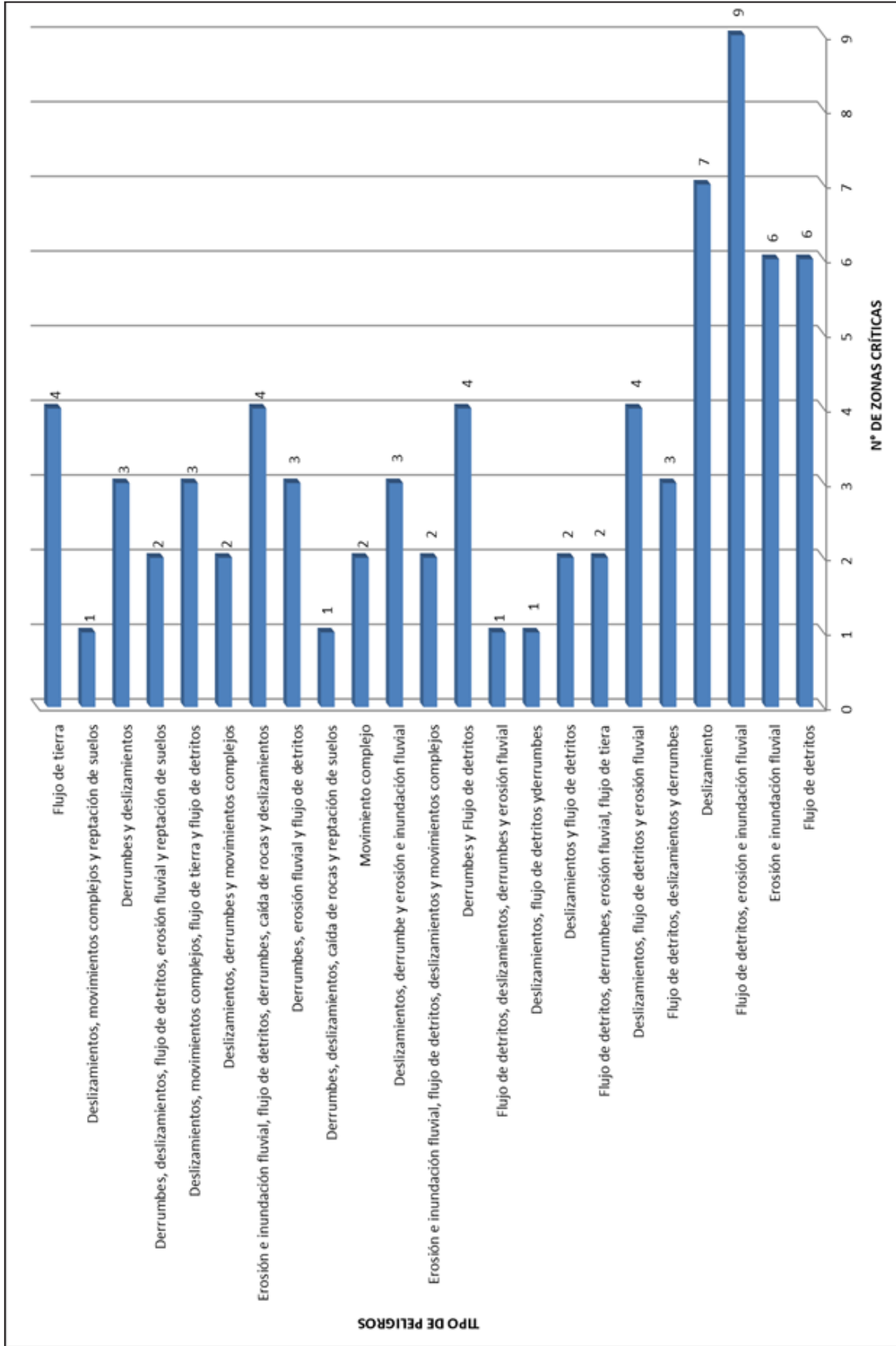


Figura 8.1 Tipos de peligros que concurren en la generación de zonas críticas.

Cuadro 8.1
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Chumbivilcas

N°	Sector (distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
1	Charamuray (Colquemarca) Chumbivilcas	Flujo de detritos	8427064	815752	Huaco que bajó por el cauce del río Chullamayo, acarreo gran cantidad de material proluvial hasta el río Santo Tomás. El flujo tuvo su origen en unos deslizamientos ocurridos en su margen izquierda que alcanzaron 450 m de ancho de escarpa. (Figura 8.2)	En la desembocadura del río Chullamayo se asienta el poblado de Charamuray que puede ser afectado por nuevos huaticos.	Colocar defensas ribereñas por medio de gaviones dispuestos como muros de encausamiento y espigones.
2	Condorcocha-Veilile (río Veilile) (Veilile) Chumbivilcas	Erosión Fluvial, inundaciones	8393493	188701	Erosión a lo largo de unos 2.2 km del río Veilile, en ambas márgenes, puede afectar el poblado de Veilile. Por la quebrada Fauce también se pueden producir procesos de erosión e inundación fluvial y flujos de detritos que pueden afectar el poblado de Veilile. (Fotografía 8.1)	Pueden ser afectadas las viviendas que se encuentran asentadas muy cerca del cauce del río Veilile y la quebrada Fauce.	Limpieza del cauce. Realizar trabajos de encausamiento por medio de gaviones o muros de concreto.
3	Carretera Santo Tomás-Veilile, tramo Chillaclo, La Esquina, Pillune (Santo Tomás y Veilile) Chumbivilcas	Flujo de detritos Erosión fluvial Inundación fluvial	8382709	179106	Tramo de 23.4 km de carretera cortado por flujos de detritos que cortan varios desarrollos de carretera. Entre los cursos que cortan la carretera se tiene al río Chullamayo, las quebradas Huancashiya, Ccauco Ccala, Yanacaca, entre otras sin denominación. En este tramo carretero también se produce erosión fluvial e inundación de terrenos en las márgenes del río Veilile y Chullamayo. (Fotografía 8.2)	Los flujos cortan la carretera hacia Veilile en varios tramos. Las inundaciones y erosión fluvial, pueden afectar tramos carreteros y terrenos de cultivo. Viviendas de los sectores de La Esquina, pueden ser afectadas por el río Chullamayo.	Limpieza y encausamiento de quebradas. Limpieza de alcantarillas y badenes.

N°	Sector (distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
4	Tofora (Livitaca) Chumbivilcas	Deslizamiento rotacional	8432079	221291	Deslizamiento en el cerro Cabito, flanco norte de un cono volcánico extinto, el cual se encuentra limitado por el río Apurímac, que forma un cañón de aproximadamente 800 m. Deslizamiento es de tipo rotacional en roca, tiene un ancho de escarpa de 3.7 km y un desnivel del pie a la corona de 580 m. El deslizamiento compromete secuencia de tobas del volcánico Quechua Grande y se encuentra confinado por rocas del Grupo Puno en la base, quedando colgado a poco más de 200 m del fondo del río Apurímac. Salto principal y secundarios que dan una morfología escalonada en la zona de la escarpa, el cuerpo presenta una forma colmosa y se observa manantiales de agua subterránea en varios puntos del cuerpo.	En el cuerpo del deslizamiento se asienta el poblado de Tofora, el cual puede resultar afectado por reactivaciones sufridas en el cuerpo del deslizamiento. (Figura 8.2)	El deslizamiento debe ser constantemente monitoreado, para conocer su actividad o las reactivaciones que podría sufrir. Se recomienda instalar una red de inclinómetros para monitorear el deslizamiento.



Figura 8.2 Poblado de Churamuray asentado en la confluencia del río Chullamayo en el río Santo Tomás. Por el río Chullamayo discurren huaicos.



Fotografía 8.1 Río Velille produce erosión en ambas márgenes, también inundaciones con subidas del Caudal.



Fotografía 8.2 Quebrada Ccanco Ccala corta la carretera a Velille. En la foto se puede observar la socavación que se produce actualmente en el badén.

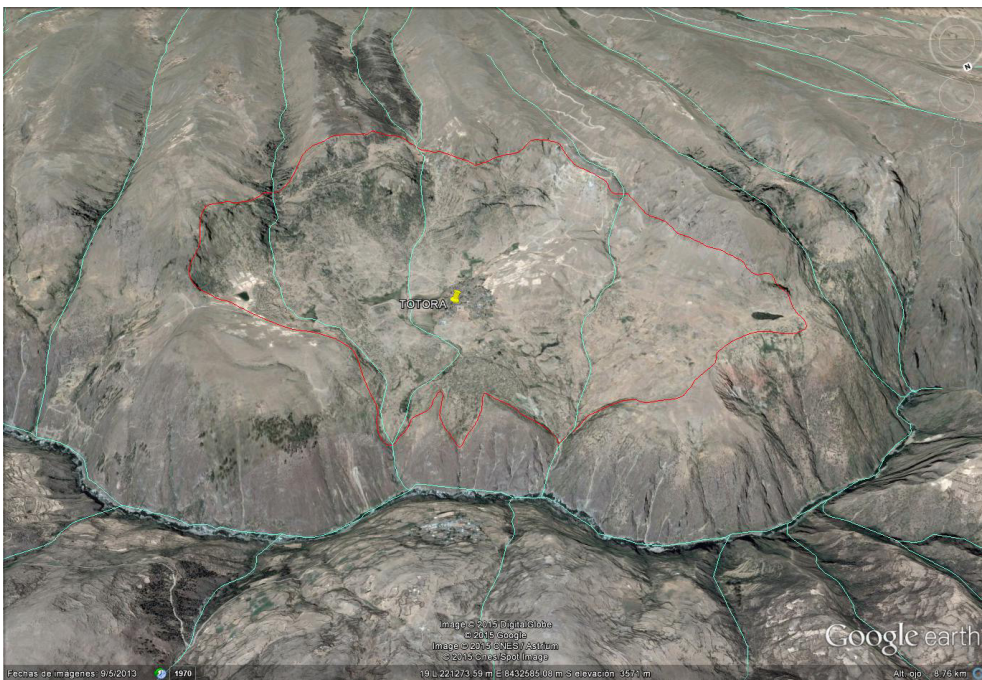


Figura 8.3 Imagen de Google Earth con vista al suroeste donde se señala con líneas rojas los límites del deslizamiento en la localidad de Totorá.

Cuadro 8.2
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Cusco

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
5	Saylla, San Jerónimo (San Jerónimo, Saylla) Cusco	Inundación, erosión fluvial, flujo de detritos	8498302	193782	Tramo de unos 7 km del cauce del río Huatanay comprendido entre los poblados de San Gerónimo y Saylla, con un ancho máximo de la llanura de inundación de hasta 500 m, produce desbordos y erosión en ambas márgenes. Discurren flujos de detritos por las quebradas Huacolomayo, Llampahuayjo, Joclapuquio, Pampahuachay, Caillacancha, entre otras sin denominación y de corto recorrido.	Pueden ser afectadas las terrazas bajas y llanuras de inundación donde se encuentra la carretera y terrenos de cultivo. Poblados de Pata Pata, Collana, Quinta Carmen, Condorpata, Angostura, Condebamba, Chico, Chingo Grande, Saylla, Ccanopata y demás sectores que han sido urbanizados y se localizan cerca al cauce de las quebradas que pueden ser afectadas por huaticos. (Figura 8.4)	Encauzamiento del río Huatanay con muros de gaviones. Limpieza y encausamiento de torrenteras y quebradas por donde discurren huaticos. Reubicar viviendas que se encuentran asentadas en el cauce de quebradas o muy cerca de estas.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
6	Cerro Huamancharpa (Santiago) Cusco	Deslizamiento traslacional	8498267	175482	<p>Localizado a 2 km al sur de la ciudad de Cusco, y unos 7 km de la carretera Cusco-Paruro. Reactivación de un evento antiguo que se produjo el 22 de enero de 1982 a las 6:00 a. m. Localizado en la margen izquierda del río Cachona (Huancaro); geodinámicamente muy activa. Tiene una escarpa semi circular, con un ancho de 400 m, un desnivel de la corona a la punta de 290 m, una pendiente promedio de 45 %, compromete secuencias de areniscas y lutitas que se inclinan a favor de la ladera. El evento del 22 de febrero de 1982 represó el río Huancaro, el cual se embalsó y naturalmente se rompió el dique sin generar un flujo de detritos violento que afectara a la población cusqueña. En la corona se encuentran agrietamientos en las lutitas por lo que el evento se considera activo. Las rocas de la zona se encuentran muy alteradas y fracturadas. El detonante del evento fueron las precipitaciones pluviales que saturaron los terrenos. El río Huancaro produce erosión y socavamiento en el pie del deslizamiento, aquí se producen derrumbes y deslizamientos pequeños que desestabilizan al cuerpo principal del deslizamiento. Estos deslizamientos represaron nuevamente el valle en el año 2003. En la actualidad se considera que el deslizamiento de Huamancharpa continúa activo (Fotografía 8.3).</p>	<p>Produjo el represamiento del río Huamancharpa.</p> <p>Afecta terrenos de cultivo y el bosque reforestado localizado en el cuerpo del deslizamiento.</p> <p>Los materiales sueltos que caen de los derrumbes producidos en el pie del deslizamiento pueden originar un flujo de detritos que puede afectar las viviendas y población localizado aguas abajo.</p> <p>Un nuevo embalse y posterior desembalse violento puede afectar seriamente a las viviendas localizadas aguas abajo del río, en la ciudad de Cusco.</p>	<p>Monitorear el deslizamiento constantemente.</p> <p>Encauzamiento del cauce del río Mantaro, con muros de concreto y gaviones.</p> <p>Realizar trabajos de mantenimiento de obras de encauzamiento.</p> <p>Limpieza constante del cauce del río, de esta manera se podrá prevenir la formación de embalses que puedan generar desbordes.</p> <p>Realizar el estudio costo-beneficio de la construcción de una galería de desagüe, para evacuar agua y evitar la formación de embalses, de producirse un represamiento por el material desplazado del deslizamiento de Huamancharpa, esta galería debe ser construida en la ladera del frente del deslizamiento (margen derecha), cuya entrada debe localizarse aguas arriba del deslizamiento y la salida aguas abajo, a buena distancia del deslizamiento.</p> <p>Implementar sistemas de alerta temprana, que le permita a la población estar informada de la actividad del deslizamiento.</p> <p>Implementar planes de emergencia y rutas de evacuación hacia zonas seguras.</p> <p>La población debe involucrarse con las tareas de prevención de desastres.</p>



Figura 8.4 Cauce del río Huatanay entre los poblados de San Gerónimo y Saylla, donde se producen erosión fluvial e inundación. Se señalan con flechas color lila las quebradas por donde discurren flujos de detritos.



Fotografía 8.3 Vista panorámica del deslizamiento de Huamancharpa en la margen izquierda del río Cachona-Huancaro, distrito de Santiago-Cusco.

Cuadro 8.3
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Canchis

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
7	Hercca y Sicuani (Sicuani) Canchis	Erosión fluvial, inundación fluvial	8418924	260533	Los valles de los ríos Hercca y Vilcanota presentan valles amplios con terrazas bajas y llanuras de inundación ocupadas por terrenos de cultivo, viviendas, y carretera.	Pueden ser afectados tramos de la carretera Sicuani-Hercca. Viviendas de Sicuani localizadas cerca del valle del río Vilcanota pueden resultar afectadas por inundaciones. (Figura 8.5)	Limpieza de cauces de los ríos Hercca y Vilcanota. Realizar trabajos de mantenimiento de obras de encauzamiento. Realizar obras de encauzamiento por medio de gaviones en sectores que carecen de protección.
8	Valle del río Vilcanota entre Combapata, Checacupe y Ocobamba (Combapata Checacupe)	Erosión fluvial	8451348	233913	Tramo de unos 17 km del río Vilcanota entre los poblados de Ocobamba y Combapata. El valle del río se encuentra relleno por abanicos proluviales depositados por sus tributarios, el curso del río presenta muchos cambios de dirección dentro del valle por efectos del empuje de estos abanicos (Fotografías 8.4 y 8.5).	La erosión fluvial produce la pérdida de terrenos de cultivo, puede afectar viviendas en los sectores de Lucllora, Pauchi Pampa, Tactabamba y Chilcane. Puede afectar carretera y vía férrea. Destruyó el puente carrozable que permite el acceso a Acomayo.	Encauzamiento y protección de márgenes con entrocados y gaviones.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
9	Pitumarca (Pitumarca) Canchis	Flujo de detritos	8453106	239121	Quebrada que cruza por la mitad del poblado de Pitumarca, presenta un ancho de cauce de aproximadamente 30 m, el cual se ve reducido a pocos metros al ingresar al poblado. Se observa gran cantidad de material proluvial suelto en el cauce de la quebrada. El material suelto que es arrastrado por el flujo proviene de la intensa erosión de laderas de tipo cárcavas que se presenta en la cuenca superior de la quebrada, conformada por los cerros Pocotoni, Moroni y Tamponi. El substrato rocoso está conformado por lutitas, limolitas intercaladas con areniscas y pizarras de la Formación Ananéa; y la intercalación de areniscas y lutitas del Grupo Cabanillas.	El proceso de erosión de laderas produce la pérdida de terrenos de cultivo. Un flujo de detritos de gran magnitud puede afectar al poblado de Pitumarca (Figura 8.6).	<p>Construcción de diques transversales al curso de la quebrada que reduzcan la velocidad de los flujos y favorezcan la acumulación de su carga sólida.</p> <p>Implementar un sistema de alerta temprana para flujos de detritos.</p> <p>La población debe mantenerse alerta ante la actividad de la quebrada de presentarse lluvias excepcionales.</p>
10	Laripucho-Laguna de Coñocota (Marangani) Canchis	Deslizamiento Rotacional	8414966	261395	Deslizamiento rotacional activo, cuyo material se desplaza hacia el vaso de la laguna Coñocota. El evento tiene una escarpa de forma circular de 180 m de ancho, una longitud de la corona a la punta de 500 m y una diferencia de altura de 150 m aproximadamente. El evento produjo el asentamiento de secuencias de areniscas Cabanillas (intercalaciones de areniscas y lutitas) hacia la laguna. (Figura 8.7)	El colapso violento del cuerpo del deslizamiento puede generar una ola de agua que se encausaría por la quebrada que le sirve de desagüe hacia el río Vilcanota, generando un flujo de detritos que afectaría todo lo que se encuentra aguas abajo (viviendas, terrenos de cultivo y la carretera a Puno).	<p>Realizar el monitoreo constante del proceso. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.</p> <p>Reubicar viviendas localizadas aguas abajo de la laguna de Coñocota y las que se encuentran cerca del cauce de la quebrada de desagüe.</p>



Figura 8.5 Valles amplios de los ríos Hercca y Vilcanota donde se produce inundaciones y procesos de erosión fluvial.



Fotografía 8.4 Sector de Chuquichuana, puente sobre el río Vilcanota, que permite el paso de vehículos hacia Acomayo, destruido por efectos de la erosión fluvial.



Fotografía 8.5 Paso provisional de vehículos y personas que van hacia Acomayo.



Figura 8.6 Imagen de Google Earth, donde se observa al poblado de Pitumarca y la quebrada que cruza por la zona media de la comunidad.



Figura 8.7 Con línea amarilla se marcan los límites del deslizamiento en la laguna de Coñocota, sector de Laripucho.

Cuadro 8.4
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de La Convención.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
11	C.H. Machu Picchu (Machupicchu) La Convención	Aluvión, flujos de detritos, erosión fluvial	8542412	764214	12/07/1996: Derrumbe de hielo y nieve del nevado Salcantay cae sobre una laguna y originó un huaico que embalsó el río Aobamba; el posterior desembalse formó un aluvión que llegó hasta el río Urubamba. 27/02/1998: Rotura de morrena en la quebrada Pacchacgrande, el flujo fue amplificado por adición de materiales provenientes de los derrumbes y deslizamientos que provocó a su paso, el evento duró 3 días, donde se produjeron alrededor de 200 huaicos. El material desplazado llegó hasta el río Vilcanota y lo represó. Se produjeron otros flujos en marzo y noviembre de 1998.	Dañó las instalaciones de la C.H. de Machupicchu Un saldo total de 8 muertos en los 2 eventos, viviendas destruidas en las comunidades de Luycho, Collpani, Manqui y Manahuañucca. Nuevos eventos pueden afectar la carretera de acceso a C.H. de Machupicchu (Figura 8.8).	Diseñar y construir un túnel que sirva de desfogue del agua, de producirse un nuevo embalse del río Vilcanota. Colocar defensas ribereñas por medio de gaviones para proteger la carretera de acceso a la central hidroeléctrica.
12	Poblado de Santa Teresa (Santa Teresa) La Convención	Flujo de detritos, erosión fluvial	8547037	761098	13 de enero de 1998, a las 22:40 horas, se produce un aluvión que bajó por el río Sacsara, que arrasó el poblado de Santa Teresa (Figura 8.9).	Fueron destruidos puentes carrozables y peatonales, 1850 m de la vía férrea. Puesto de salud destruido.	Realizar trabajos de limpieza y encausamiento de quebradas. No construir viviendas en las terrazas y llanura de inundación.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
13	Carretera abra Málaga- Incatambo- Umasbamba (Huayopata) La Convención	Flujos de detritos, deslizamientos, derrumbes	8547878	789908	Deslizamiento rotacional activo discontinuo que compromete material de relleno de la plataforma de la carretera, asentamientos y agrietamientos en el asfalto. Flujo de detritos que baja por la quebrada Canchayoc, material gravo-arenoso en el cauce. Tramo de unos 63 km (Km. 570-507) de carretera, donde se presentan derrumbes en el talud superior de la carretera, también puede ser cortado por el curso del río Huamanmarca, las quebradas Sirinayoc, Incatambo, Chaquimayo, Alpamayo, Jollotachayoc, Inispata por las cuales discurren huacos. En enero de 1998, se produjo un deslizamiento en el cerro Incatambo que afectó al poblado de Huyro (Fotografía 8.6).	Los flujos de detritos cortan la carretera a Quillabamba en varios tramos. Asentamientos en la plataforma de carretera. Deslizamiento del cerro Incatambo produjo la muerte de 3 personas y afectó 1 km de carretera.	Limpieza y encausamiento de cauces de quebradas. Banqueteado o perfilado de taludes superiores de la carretera.
14	Centro poblado de Kiteni (Echarate) La Convención	Flujo de detritos	8600817	711870	Flujo de detritos que bajó por el río Kiteni el 7 de febrero de 1998, afectó al caserío de Kiteni (Figura 8.10).	7 viviendas destruidas. 35 damnificados.	Protección de la margen derecha del río Kiteni por medio de gaviones. No construir viviendas cerca del cauce del río.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
15	Centro poblado de Quellouno (Quellouno) La Convención	Deslizamiento, flujo de detritos, erosión fluvial	8601965	765517	<p>Los deslizamientos se iniciaron en la década del 40 por efectos de la deforestación; es así que en 1974 se formó un deslizamiento en el sector de Jatumpampa, que posteriormente originó un huaco que se encausó por la quebrada Quelloumayoc y destruyó el poblado de Quellouno. Deslizamiento producido en la ladera media de la quebrada Quelloumayoc el 29 de noviembre de 1981, produjo el asentamiento de material, formó un huaco.</p> <p>Se tienen procesos de erosión fluvial en la margen derecha del río Yanatile que afecta las construcciones que se encuentran cerca del cauce. (Fotografías 8.7 y 8.8)</p>	<p>La ocurrencia de estos fenómenos puede comprometer la seguridad física del pueblo de Quellouno ubicado sobre el cono de deyección de la quebrada Quelloumayoc.</p>	<p>Construcción de obras de drenaje en el área del deslizamiento de Jatumpampa.</p> <p>Construcción de diques transversales en la quebrada que amortigüen los flujos de detritos.</p> <p>Encauzamiento de la quebrada.</p> <p>Limpieza y descolmatación del cauce.</p> <p>Prohibir la construcción de viviendas cerca del cauce de la quebrada Quelloumayoc y el río Yanatile.</p> <p>Contrucción de defensas ribereñas en la margen derecha del río Yanatile.</p>

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
16	Carretera Ollantaytambo-Quillabamba, tramo Amaybamba-Huayo-Santa María (Huayopata) La Convención	Flujos de detritos, erosión fluvial	8560930	765232	Tramo de unos 20 km (Km. 487-707), cortado por flujos de detritos que discurren por las quebradas Choquelohuanca, Yanayacu, Sicre, Calquiña, Aputinya, Quispicanchi y Chuyamayo. Por la quebrada Calquiña discurre un flujo de detritos (huaico) el 12 de febrero del 2013. El flujo se originó en el tramo superior de la quebrada, y sus mayores consecuencias se produjeron en el tramo medio e inferior, en donde se encuentran asentadas las viviendas del sector denominado antiguo Huayo. (Fotografías 8.9 y 8.10)	Huayo: 5 personas muertas, destruyó 33 viviendas en el barrio antiguo de Huayo, destruyó 4 puentes peatonales, uno carrozable y un vehículo, pérdida de terrenos de cultivo. Enterró puente carrozable. El represamiento y desviación del curso del río Lucuma hacia su margen izquierda provocó erosión en el talud inferior de la carretera y la destrucción de una vivienda.	Evitar la deforestación de laderas. Limpieza y descolmatación de quebradas. Encausamiento de quebradas con muros de gaviones o concreto. Prohibir la construcción de viviendas cerca del cauce de quebradas. Reubicar las viviendas de Huayo antiguo a una zona más segura.
17	Carretera Santa Teresa, Cocalmayo, Pacaymayo Puente Santa María (Santa Teresa) La Convención	Flujo de detritos, derrumbes, deslizamientos, erosión fluvial, flujo de tierra	8555391	757128	Tramo carretero entre Santa Teresa y Santa María trazado en la margen izquierda del río Urubamba, en laderas de pendiente moderada a fuerte. Se observan deslizamientos en los sectores de Pacaymayo, Cochapampa. Derrumbe de gran magnitud en el sector de Cocalmayo; también derrumbes en taludes de corte subverticales en varios tramos de la carretera. (Figura 8.11 y Fotografía 8.11)	Derrumbe en el sector de Cocalmayo, compromete la carretera de acceso a Santa Teresa, en este sector también se genera un flujo de detritos (huaico) que puede afectar los baños termales de Cocalmayo. Deslizamiento de Pacaymayo, produce asentamiento de terrenos de cultivo y plataforma de carretera. Flujo de tierra en el sector de Cochapampa produce agrietamientos en viviendas.	Reubicar en un corto plazo las viviendas que se encuentran asentadas dentro del cuerpo de deslizamiento y flujos de tierra activos. Corrección por modificación de la geometría del terreno: esto se puede realizar eliminando la masa inestable o potencialmente inestable; eliminando el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante; construcción de escolleras en el pie del talud; y el tratamiento de taludes con escalonamientos.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
18	Carretera a Vilcabamba, sector Mesacancha (Vilcabamba) La Convención	Deslizamientos, flujos de détriticos.	8559429	747463	Tramo de unos 15 km de carretera que da acceso hacia la localidad de Vilcabamba, es cortada por flujos de détriticos que discurren por las quebradas de Puente y Ayancate, estos flujos fueron originados por un deslizamiento de gran magnitud ocurrido en la cuenca superior de la quebrada. Por las quebradas Tajomar y Pucabamba también discurren huaticos. Deslizamientos activos producen asentamientos en la plataforma de carretera (Fotografía 8.12).	Los huaticos de las quebradas de Puente y Ayancate profundizaron sus cauces y cortaron el tránsito hacia Vilcabamba. Destrucción de puente en la quebrada Puente. Destrucción de viviendas en los poblados de Mesacancha y Paltaybamba. Asentamiento en plataforma de carretera. Repesaron el río Vilcabamba.	Proteger los cimientos del puente en la quebrada Puente, para evitar su socavamiento.
19	Carretera Puente Chaulay, Acospata-Sullucuyoc (Santa Teresa) La Convención	Deslizamiento rotacional	8560063	753423	Deslizamientos activos en los sectores de Naranjal, Acospata y Sullucuyoc; en los 2 primeros los deslizamientos tienen como condicionante la erosión fluvial sufrida en el pie de la ladera. (Figuras 12 y 13, Fotografías 8.13-8.14)	Destrucción de viviendas en los sectores de Acospata y Sullucuyoc. Asentamientos en la plataforma de la carretera. Puede afectar líneas de transmisión eléctrica.	Reubicar las viviendas que se encuentran asentadas dentro del cuerpo de deslizamientos activos. Drenar aguas subterráneas que afloran en las zonas inestables como manantiales. Colocar defensas ribereñas en el sector de Naranjal, margen izquierda del río Vilcanota.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
20	Yanamayo-Ocobamba (Ocobamba) La Convención	Deslizamientos, derrumbes, flujos de detritos.	8567135	785109	<p>Tramo de aproximadamente 32 km de la carretera que une Ollantaytambo con Ocobamba, entre el sector de Yanamayo y Ocobamba, trazado en rocas intrusivas y metamórficas que afloran en las laderas de la quebrada Yanamayo y del río Ocobamba.</p> <p>Se presentan derrumbes y deslizamientos en el talud superior de la vía en varios sectores.</p> <p>Flujos de detritos también cortan el paso por la carretera.</p> <p>El poblado de Ocobamba (Keicaybamba) fue afectado por un deslizamiento rotacional, como resultado de la reactivación de un deslizamiento antiguo; este afectó el borde de la terraza aluvio-proluvial donde se encuentra asentado el poblado. (Fotografía 8.15 y Figura 8.14)</p>	<p>Destrucción y obstrucción en temporada de lluvias de varios tramos de la carretera.</p> <p>El deslizamiento de Ocobamba produjo el asentamiento y destrucción de unas 30 viviendas, destruyó el sistema de agua potable y desagüe.</p>	<p>Releno y sellado de grietas abiertas, que aparecen sobre la corona y a los costados del deslizamiento, para evitar la infiltración de agua en la siguiente estación de lluvias.</p> <p>Realizar trabajos de drenaje de las aguas subterráneas, por medio de zanjas o trincheras drenantes</p> <p>Prohibir una nueva ocupación urbana en la zona afectada por el deslizamiento.</p> <p>Realizar trabajos de perfilado de talud en zonas donde se produzcan derrumbes.</p> <p>Colocar badenes en tramos de carretera que cruzan quebradas.</p>
21	Carretera Acobamba-Yanatile, tramo Antibamba, Chinganilla, Puente Trichuay (Ocobamba) La Convención	Flujos de detritos, deslizamientos, erosión fluvial.	8596808	783697	<p>Tramo de unos 26 km trazados a lo largo del valle del río Ocobamba, se presentan varios eventos.</p> <p>Flujo de detritos que discurre por la quebrada Pitucuyo, en sus márgenes se asienta el poblado de Antibamba.</p> <p>Flujos de detritos de las quebradas Piquimayo, Belepata y Huayracapata.</p> <p>Deslizamientos rotacionales activos en los poblados de San Lorenzo, también se observa erosión en la margen izquierda del río Ocobamba en este sector.</p> <p>Derrumbes en talud superior de la carretera. (Fotografías 8.16 y 817)</p>	<p>Flujos de detritos cortan el tránsito por la carretera y pueden afectar poblados asentados cerca de sus cauces.</p> <p>Deslizamiento produce asentamiento de la plataforma de la carretera y terrenos de cultivo, puede afectar viviendas del poblado de San Lorenzo.</p> <p>Derrumbes obstruyen el tránsito.</p> <p>Huato que bajó por la quebrada Huayracapata destruyó viviendas del poblado de Chinganilla; la zona afectada por el huato en la actualidad sigue siendo habitada.</p>	<p>Colocar badenes en los tramos de carretera que cruzan quebradas activas.</p> <p>Limpieza y encauzamiento de quebradas.</p> <p>Perfilado de taludes inestables de la carretera.</p> <p>Colocar defensas ribereñas en sectores afectados con procesos de erosión fluvial.</p>

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
22	Carretera Quellouno-Yanatile Tramo Remolino-Chancamayo (Quellouno) La Convención	Flujos de detritos, deslizamientos, derrumbes, erosión fluvial	8603480	774181	Tramo carretero de aproximadamente 21 km donde se tienen los siguientes eventos: Flujos de detritos que bajan por las quebradas Remolino, Lindero, Cosibideo, Campanayoc, Quesquento, entre otras torrenteras sin nombre. Deslizamientos activos que producen asentamientos en la plataforma de la carretera en el tramo que cruza el cerro Ipayoc, Chirumpa y Quesquento, que alcanzan hasta los 60 m de ancho de escarpa. Proceso de erosión fluvial en ambas márgenes del río Yanatile, afecta los poblados de Santiago y Campanayoc. El poblado de Santiago puede ser afectado por flujos de detritos que bajen por la quebrada Santa Rosa. (Fotografías 8.18 y 8.19)	Asentamientos en la plataforma de carretera. Flujos de detritos cortan el tránsito de vehículos.	Limpieza y encausamiento de quebradas. Construcción de badenes. Colocar muros transversales a los cauces de quebradas para reducir la velocidad de los flujos de detritos. Protección de márgenes del río Yanatile en el sector de Campanayoc y Santiago, con muros de gaviones.
23	Carretera Maranura-Santa Ana (Maranura, Santa Ana) La Convención	Derrumbes, flujos de detritos	8570122	752817	Tramo de unos 14 km de la carretera a Quillabamba afectado por derrumbes en el talud superior de la carretera. Flujos de detritos que cortan varios tramos de la carretera. (Fotografías 8.20 y 8.21)	Produce la pérdida de la plataforma de la carretera y obstrucción de la vía. Obstrucción de cunetas.	Perfilado de taludes y banqueteados. Desquinchado de bloques inestables.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
24	Platanal, Maranura, Mandor, Pawayoc (Maranura) La Convención	Erosión fluvial, flujo de detritos	8569629	753582	<p>13 km de cauce del río Vilcanota presenta problemas de erosión fluvial en ambas márgenes, afecta a los sectores de Platanal, Maranura, Beatriz, Collpani y Mandor.</p> <p>Fujos de detritos que discurren por las quebradas Chinche, Yuracmayo, Beatriz, Collpani y Mandor, puede afectar a los poblados que se asientan en sus conos de deyección.</p> <p>Último flujo de detritos bajo por la quebrada Yuracmayo, este se produjo el 14 de febrero del 2013, no afectó al poblado de Maranura, pero sí la carretera y terrenos de cultivo localizados en su cuenca media. (Fotografías 8.22 y 8.23)</p>	<p>Afectó terrenos de cultivo en los sectores de Platanal, Collpani, Mandor y Beatriz Bajo.</p> <p>Muro de encausamiento de Gaviones actualmente se encuentra dentro del cauce del río Vilcanota.</p> <p>Huaco de la quebrada Yuracmayo destruyó terrenos de cultivo y pozo séptico.</p>	<p>Mejorar defensas ribereñas, en las zonas afectadas por procesos erosivos.</p> <p>No construir viviendas en llanuras de inundación y terrazas bajas del río Vilcanota.</p> <p>Prohibir la construcción de viviendas y reubicar las que están asentadas cerca o en el cauce mismo de quebradas que acarrear flujos de detritos o que han formado conos de deyección antiguos.</p>
25	San Ana-Quillabamba Sectores de La Balsa y Sambarae (Santa Ana) La Convención	Erosión fluvial	8575493	750718	<p>Estrechamiento del valle del río Vilcanota por el abanico del río Chuyapi, produce la colmatación del río Vilcanota y favorece los procesos erosivos en el sector de La Balsa.</p> <p>Problemas por erosión fluvial en el sector de Sambarae, margen izquierda del río Vilcanota.</p> <p>Pueden generarse flujos de detritos por la quebrada Chaupimayo y el río Chuyapi. (Fotografías 8.24 y figura 8.15)</p>	<p>Perdida de terrenos de cultivo que ocupan una terraza aluvial en el sector de La Balsa.</p> <p>Pueden ser afectadas las instalaciones del balneario de Sambarae localizados sobre una terraza aluvial baja.</p>	<p>Mejorar diques de encausamiento y espigones para controlar la erosión en el sector de La Balsa.</p> <p>Colocar gaviones en la margen izquierda del río Vilcanota, sector de Sambarae.</p>
26	Santa Ana-La Victoria (Santa Ana) La Convención	Derrumbes, flujos de detritos	8581905	750552	<p>Tramo carretero de unos 10 km que une Santa Ana con Echarati, problemas de derrumbes en la ladera, derrumbes en el talud superior de la carretera.</p> <p>Varias torrenteras y quebradas por donde discurren flujos de detritos que pueden cortar la carretera.</p> <p>Cortes realizados en la ladera para ampliar la carretera desestabilizaron la zona. (Fotografía 8.25)</p>	<p>Pérdida total de la plataforma de la carretera, material caído del talud superior obstruye el tránsito.</p>	<p>Perfilado del talud superior de la carretera, realizar trabajos de banqueteados.</p>



Figura 8.8 Vista del río Urubamba donde se encuentra la C.H de Machupicchu; también se puede observar el cauce del río Aobamba, por donde discurrió un aluvión que represso el río Urubamba y provocó daños en la central hidroeléctrica.



Figura 8.9 Vista del río Sacsara y del poblado de Santa Teresa arrasado por un huaco en 1998.



Fotografía 8.6 Asentamiento en la plataforma de la carretera, cerca del abra Málaga.



Figura 8.10 Vista del poblado de Kiteni asentado en la margen derecha del río Kiteni, afectado por un huaico el año 1998.



Fotografía 8.7 Huaico de la quebrada Quellomayoc. Puede afectar el poblado de Quellouno, asentado en el abanico proluvial.



Fotografía 8.8 Erosión fluvial en la margen izquierda del río Yanatile. Puede afectar viviendas asentadas cerca de su cauce.



Fotografía 8.9 Destrucción de viviendas asentadas cerca del cauce de la quebrada Calquiña en Huyro.



Fotografía 8.10 Puente que cruza el río Lúcumá, cubierto por el flujo de detritos de la quebrada Calquiña en Huyro.

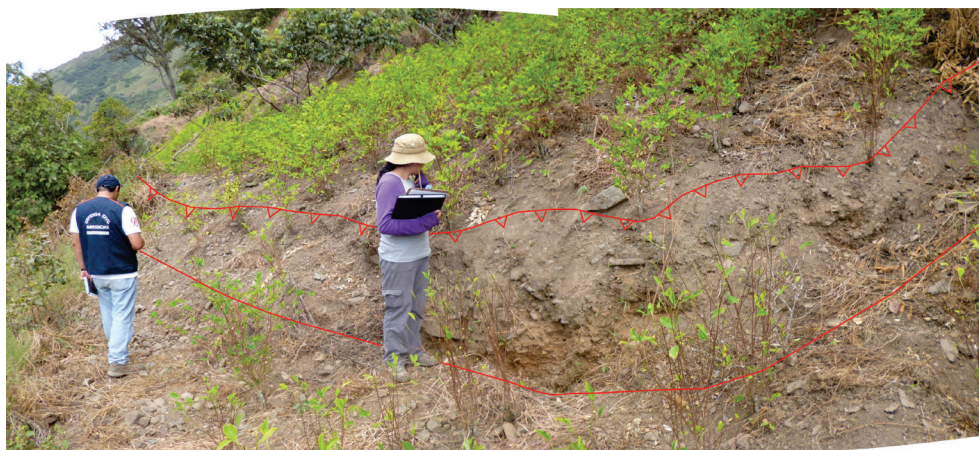


Figura 8.11 Vista de la escarpa de deslizamiento de Pacamayo (línea roja), con un salto de 1.0 m aproximadamente, afecta cultivos de coca.



Fotografía 8.11 Derrumbe activo de Cocalmayo produce la obstrucción de la carretera; también hay asentamientos en la plataforma de carretera.



Fotografía 8.12 Flujo de detritos en la quebrada de Puentemayo, sector de Mesacancha



Figura 8.12 Vista del deslizamiento de Acospata.



Figura 8.13 Erosión en el pie del deslizamiento de Acospata.



Fotografía 8.13 Vivienda agrietada en el sector de Sullucuyoc.



Fotografía 8.14 Deslizamiento en el sector de Naranjal, produce asentamientos en la plataforma de la carretera que conduce a Vilcabamba y al poblado de Socospata; el río Vilcabamba produce erosión en el pie del deslizamiento. Se construye muro de concreto para controlar la erosión.



Fotografía 8.15 Superficie de ruptura cóncava del deslizamiento de Ocobamba, que produjo la destrucción de 30 viviendas en el poblado de Ocobamba.



Figura 8.14 Vista del deslizamiento de Toccopuquio en la margen izquierda de la quebrada Yanamayo, actualmente viene siendo monitoreado.



Fotografía 8.16 Flujo de detritos que corta la carretera a Ocobamba, cerca de Chinganilla.



Fotografía 8.17 Deslizamientos y erosión fluvial en la base de la ladera en el sector de San Lorenzo, compromete el poblado y carretera.



Fotografía 8.18 Asentamiento de casi un metro en la plataforma de la carretera que lleva a Yanatile.



Fotografía 8.19 Erosión fluvial e inundación producida por el río Yanatile. Puede afectar los poblados de Santiago y Campanayoc.



Fotografía 8.20 Derrumbes en el talud superior de la carretera, Km. 136+900, material caído obstruye la cuneta.



Fotografía 8.21 Km. 130+900 de la carretera a Santa Ana-Quillabamba, tramo sin asfaltar, material caído del talud superior se acumula al pie y obstruye la carretera.



Fotografía 8.22 Sector de Mandor, afectado por erosión fluvial.



Fotografía 8.23 Quebrada Yuracmayo, vista tomada el 14 de febrero, se observa la magnitud del evento, socavó y erosionó su cauce.



Fotografía 8.24 Sector de La Balsa, espigones rehabilitados después del último evento del periodo lluvioso 2008.



Figura 8.15 Imagen de Google Earth del balneario de Sanbarae. Se ha indicado la zona de erosión, la quebrada Chaupimayo (Quebrada Sambarae) y la ubicación de los enrocados (líneas amarillas entrecortadas).



Fotografía 8.25 Derrumbe en talud superior de carretera, cortó el tránsito hacia Echarati. Se vienen realizando trabajos de banqueteo en el talud de corte.

Cuadro 8.5
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Calca

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
27	Carretera afirmada Lares-Yanatille (Lares, Yanatille) Calca	Erosión fluvial, inundación, flujos de detritos, deslizamientos y movimientos complejos	8572574	812789	Tramo carretero que comunica el poblado de Lares con Yanatille de aproximadamente 65 km, trazado en el valle de los ríos Lares y Yanatille. Se presentan problemas de derrumbes y deslizamientos en talud superior de la carretera. Flujos de detritos cortan la carretera en varios tramos (quebradas Pucará, Luyuy, Colca, Oscobamba, Santa Rosa, Cascarillayoc, San Pedro y Huayhuachayoc). El río Yanatille produce erosión fluvial en los sectores de Otalo y Mesada. (Fotografías 8.26 al 8.29)	Flujos de detritos cortan la carretera en varios tramos. Destrucción de badenes de concreto.	Reparación de badenes de concreto.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
28	Carretera Calca-Pail-qay-Quello-puytoc (Calca) Calca	Deslizamiento rotacional-traslacional derrumbe, erosión e inundación fluvial	8533168	184439	<p>Valle del río Ccochoc corta secuencias de areniscas y conglomerados intercaladas con brechas y aglomerados y coladas de basalto, riolitas ignimbritas (Grupo Mitu), pizarras, esquistos y cuarcitas (Formación Paucartambo), areniscas cuarzosas intercaladas con pizarras, microconglomerados (Formación Zapla); rocas consideradas de mala calidad, donde se trazó la carretera Calca-Yanatile.</p> <p>En el año 1950 se produjo aluvión que afectó al poblado de Calca.</p> <p>En esta cuenca se han producido huaticos, derrumbes y deslizamientos que afectaron viviendas, carretera, terrenos de cultivo y central hidroeléctrica; así también se produjeron representamientos del río Ccochoc.</p> <p>Taludes superiores de la carretera se presentan inestables por la ampliación de carretera.</p> <p>Río Vilcanota produce erosión en su margen izquierda afectando el abanico proluvial del río Ccochoc, donde se asienta el poblado de Calca. (Fotografías 8.30, 8.31 y 8.32)</p>	<p>Huaco de 1995 dejó 5 viviendas afectadas y 25 damnificados.</p> <p>Aluviones e inundaciones afectaron en varias oportunidades el poblado de Calca.</p> <p>Deslizamientos producen asentamientos en la plataforma de la carretera.</p> <p>Derrumbes obstruyen la carretera.</p>	<p>Encauzamiento del río Ccochoc, desde la quebrada Tobra hasta su desembocadura en el río Vilcanota, con gaviones, se deberá colocar rompe presiones disipadoras de energía.</p> <p>Reubicar viviendas afectadas por procesos de inundaciones y flujos de detritos.</p> <p>Implementar un sistema de monitoreo para el deslizamiento de Accha baja.</p> <p>Emplear sistemas de riego tecnificado en zonas que se presentan movimientos del terreno.</p> <p>Limpieza del cauce del río Ccochoc.</p> <p>Reforestar las laderas con vegetación nativa.</p> <p>Considerar la alternativa de construcción de un túnel en las laderas de la margen izquierda del río Ccochoc, cuyo inicio se localice antes del deslizamiento de Accha Baja y la salida sea pasando el deslizamiento, este túnel serviría de desagüe de producirse un eventual cierre del valle del río Ccochoc.</p>

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
29	Coya (Coya) Calca	Derrumbe, flujo de detritos	8518308	187277	<p>Profundización de cárcava y derrumbes en la ladera del cerro Bandera a la margen izquierda de la quebrada Huaynapata, en cuyo cono deyeectivo se asienta el poblado de Coya.</p> <p>Substrato rocoso conformado por areniscas y conglomerados.</p> <p>Los materiales sueltos producidos por la profundización de la torrentera son acarreados en periodos de lluvia como flujos de detritos que discurren por las calles. (Fotografía 8.33 y 8.34)</p>	<p>Afectó viviendas y trocha carrozable en el sector de Huaynapata-Coya.</p>	<p>Definir un cauce de desfogue de la quebrada activa hacia el curso del río Huaynapata.</p> <p>Reconstruir los muros de gaviones transversales en el cauce de la quebrada, para reducir la velocidad y fuerza de nuevos flujos.</p>
30	Cuyo Chico -Ampay (Pisac) Calca	Movimiento complejo	8515677	193010	<p>Deslizamiento-flujo de tierra. Se localiza en la margen izquierda de la quebrada Chongo (también quebrada Chauhuayco), la escarpa alcanza los 4 km de ancho, los materiales se movilizaron unos 4.5 km ladera abajo, presenta una forma alargada y algo lobulado en el extremo distal.</p> <p>El evento es muy lento y progresivo, desvió hacia su margen izquierdo el curso de la quebrada Chongo, así como también produjo el cierre parcial del cauce de la quebrada. Substrato de areniscas, cuarcitas, limolitas, pizarras y lutitas de la Formación Ccatca.</p> <p>Deslizamiento-flujo presenta muchas reactivaciones, las cuales comprometen la seguridad física de terrenos de cultivos, poblados, carreteras, etc. (Fotografías 8.35, 8.36 y 8.37)</p>	<p>Cerró el valle de la quebrada Chongo.</p> <p>Asentamiento de terrenos de cultivo.</p> <p>Empuje del terreno produce asentamientos y pérdida de la plataforma en la carretera asfaltada de acceso a Pisac y Paucartambo entre los Km. 3+080 al 3+600, Km. 4+100 al 4+950 y Km. 5+200 al 5+550.</p> <p>Agrietamientos en viviendas de Cuyo Chico.</p>	<p>Colocar drenes horizontales, que intercepten el agua infiltrada en el talud o cuerpo del deslizamiento, logrando de esta forma el abatimiento del nivel freático dentro de la masa tallada y, por lo tanto, se incrementa su resistencia al corte. La salida de los drenes debe ser hacia una canaleta revestida con concreto simple y conducida hacia un canal de drenaje principal (quebrada, río), para evitar procesos de erosión de suelos.</p>

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
31	Pisac, valle del río Vilcanota (Cuzco)	Erosión fluvial	8514266	191129	Tramo de unos 4.5 km del valle del río Vilcanota afectado por procesos erosivos con lluvias excepcionales en la zona. Aguas abajo del poblado de Pisac el valle del río es amplio con un ancho máximo de 300 m. A la altura del poblado de Pisac el río es encauzado hasta un ancho de 50 m. (Fotografías 8.38, 8.39 y 8.40)	Pérdida de terrenos de cultivo aguas abajo del poblado de Pisac. Destrucción del puente que permite el paso vehicular hacia Pisac. Erosión en ambas márgenes que afectó obras de encauzamiento.	Reforzado, mejoramiento y ampliación de obras de encauzamiento del río Vilcanota.
32	Taray (Cuzco)	Inundación fluvial, erosión fluvial, flujo de detritos, deslizamiento.	8513803	189513	Quebrada del río Pahuaycoc (río Quesermayo) con un ancho de cauce de 11 m, forma un abanico proluvial-aluvial en su confluencia al río Vilcanota por la margen izquierda, en cuyo depósito se asienta la población de Taray. Deslizamiento activo aguas arriba en el sector de Huancalle, puede represar el río Quesermayo.	Represamiento del cauce del río Quesermayo y posterior desembalse puede generar flujo de detritos que afectaría la localidad de Taray. Caudales importantes que discurrían por el río Quesermayo pueden generar desbordamientos que afectarían a Taray.	Limpeza, profundización y encauzamiento del río Quesermayo, con muros de gaviones y diques transversales que refrenen la fracción sólida de flujos de detritos que puedan bajar por el río. Monitorear e implementar un sistema de alerta temprana para flujos.



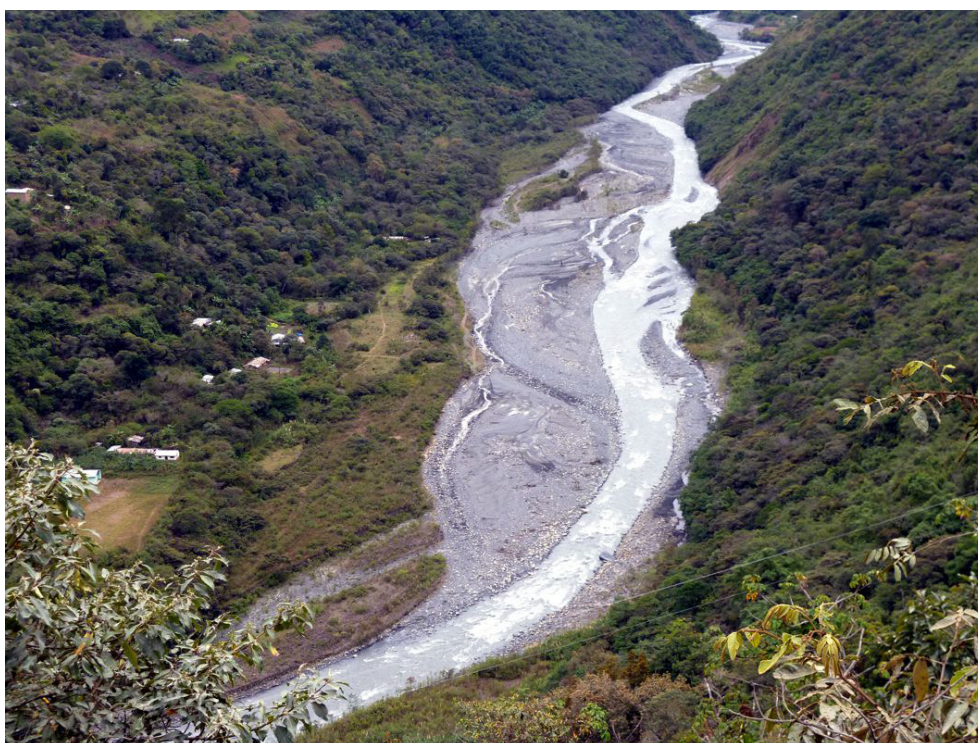
Fotografía 8.26 Flujo de detritos de la quebrada Altarmayo corta la carretera.



Fotografía 8.27 Quebrada con derrumbe activo en la cabecera de cuenca. El material caído es acarreado como huaico en el sector de Puente Paccha.



Fotografía 8.28 Quebrada Huachibamba corta el tránsito hacia Lares. Es necesario construir un badén.



Fotografía 8.29 Erosión fluvial en ambas márgenes del río Yanatile en el sector de Mesada.



Fotografía 8.30 Asentamiento en plataforma de la carretera en el Km. 14+560 de la carretera Calca-Yanatile, substrato de filitas y pizarras.



Fotografía 8.31 Deslizamiento que cortó toda la plataforma de la carretera en el Km. 3+630 de la carretera Calca-Yanatile, substrato de areniscas, limolita roja e ignimbritas.



Fotografía 8.32 Confluencia del río Ccochoc en el río Vilcanota. Se observa la ausencia de protección en la margen derecha del río Vilcanota.



Fotografía 8.33 Sector de Coya, ladera del cerro Bandera cortada por quebrada con derrumbes activos en su cabecera, materiales sueltos son acarreados en forma de huaicos. Se pueden observar los muros de gaviones destruidos.



Fotografía 8.34 Flujo de detritos que discurre por la calle en el sector de Huaynapata en Coya.



Fotografía 8.35 Deslizamiento-flujo de tierra de Cuyo Chico.



Fotografía 8.36 Asentamientos y pérdida de la plataforma entre el Km. 4+100 al km 4+900 de carretera de acceso a Pisac y Paucartambo.



Fotografía 8.37 Agrietamientos en paredes de las Viviendas en la comunidad de Cuyo Chico.



Fotografía 8.38 Trabajos de encauzamiento del río Vilcanota con muros de concreto aguas abajo del poblado de Pisac.



Fotografía 8.39 Puente tipo bailey colocado sobre el río Vilcanota para dar pase a la localidad de Pisac; el puente antiguo fue destruido por el caudal del río.



Fotografía 8.40 Tramo encauzado del río Vilcanota con gaviones.

Cuadro 8.6
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Quispicanchi

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
33	Carretera Interoceánica Tramo Marcapata-Mamabamba (Marcapata) Quispicanchi	Erosión fluvial, inundaciones, flujos de detritos, derrumbes, caída de rocas, deslizamientos	8500402	294248	Tramo de 31 km de la carretera Interoceánica (Km. 127 al 158) trazada en el valle del río Araza, se presentan derrumbes en el talud superior del nuevo trazo de la carretera cerca de Marcapata, mecanismo de caída de tipo vuelco y cuña. Derrumbes en el talud superior de la carretera por ampliación de la vía. Flujos de detritos que cortan la carretera en varios tramos. (Fotografías 8.41, 8.42 y 8.43)	Material caído obstruye las cunetas y carretera.	Se ha perfilado los taludes. Construcción de banquetas. Desquinchado de bloques colgados e inestables en el talud de corte. Limpieza de fragmentos de rocas caídos en la vía.
34	Carretera Interoceánica tramo San Pedro-Quincemil (Camanti) Quispicanchi	Derrumbes, deslizamientos, flujo de detritos, erosión e inundación fluvial.	8518332	294292	Carretera Interoceánica entre el Km. 162 al 190 (28 km), donde se presentan derrumbes en el talud superior de la carretera por trabajos de ampliación de la vía. Problemas por erosión e inundación fluvial que afecta terrazas del río Araza donde se ha trazado la carretera.	Material caído obstruye las cunetas y carretera.	Limpieza de bloques inestables colgados en talud superior de carretera.
35	Carretera Interoceánica tramo Huadjumbre-Puente Inambari (Camanti) Quispicanchi	Derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos	8542077	325986	Carretera Interoceánica entre el Km. 190 al 240, se tienen procesos de erosión fluvial a lo largo de valle del río Nusiscato; flujos de detritos cortan la carretera en varios puntos, estos se activan periódicamente. Derrumbes en talud superior de corte de la carretera desestabilizado por ampliación de la carretera, los taludes alcanzan hasta los 150 m de altura. (Fotografías 8.44, 8.45 y 8.46)	Caída de material detrítico y bloques de roca obstruyen carretera, cunetas y ponen en peligro a los vehículos que transitan por la vía.	Perfilados de talud. Construcción de banquetas o terrazas en los taludes de corte. Limpieza del talud, removiendo bloques colgados inestables. Limpieza de carretera y cunetas.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
36	Carretera Interoceánica Tramo Abra Pirhuayane Huallayoc (Marcapata) Quispicanchi	Derrumbes, deslizamientos, caída de rocas, reptación de suelos	8494314	277238	Problemas por derrumbes y caída de rocas entre los Km. 115+950 al 117+500 (sector Huallayoc); derrumbes entre el Km. 109+900 al 115+900 (sector Pascana); Km. 108+600 al 106+800 (sector Tambopampa); Derrumbes y deslizamientos entre el Km. 104+900 al 106; Km. 102+500 al 99+000. Presencia de taludes inestables, con grietas abiertas. (Fotografía 8.47, 8.48 y 8.49)	Material caído obstruye el tránsito hacia Marcapata y Quincemil. Vehículos que transitan por la vía pueden ser afectados por los derrumbes.	Limpieza de la vía y cunetas. Perfilado de taludes, construcción de terrazas en zonas faltantes. Limpieza de cunetas de coronación.
37	Carretera Interoceánica tramo Yanacancha-Ocongate (Ocongate) Quispicanchi	Derrumbes, erosión fluvial y flujo de detritos	8488333	247668	Tramo de la carretera Interoceánica de unos 20 km (del Km. 60 al 94), se tienen derrumbes en los sectores de Palicapampa, Cataychirma, Pallancayoc, Ollocume, Yanana, Tiqui-Ollocume. Flujos de detritos bajan por las quebradas Pampahuasi, Jollepunco, Cinajara (Km. 78+700), Pisipata, Lajojo y cerro Morallaqui. Deslizamientos en los sectores de Pichupata, Tantacancha y Segena. Erosión fluvial en varios tramos del río Mapocho. (Fotografías 8.50, 8.51 y 8.52)	Colapso de grandes masas de roca y suelo que obstruyen la carretera y pueden comprometer la seguridad física de las personas que transitan por la vía.	Limpieza de la vía y cuneta. Perfilado de talud. Construcción de banquetas para estabilizar el talud. Limpieza de cunetas de coronación. Protección de márgenes del río Mapocho con gaviones o enrocados.
38	Carretera Interoceánica tramo Chacachimpa-Pampa Camara-Catcca-Cuyune (Catcca) Quispicanchi	Derrumbes, deslizamientos, flujo de tierra, erosión de laderas	8491000	231196	Tramo de unos 30 km (del Km. 20 al 50 de la carretera Interoceánica) con problemas por movimientos en masa. Deslizamiento en la margen izquierda de la quebrada Mayo Tinco, puede represar el valle. Derrumbes entre el Km. 52+300 al 52+600, mecanismo de falla por vuelco, planar y cuña. Deslizamiento en el sector de Huayllopampa produce asentamientos y pérdida de plataforma de la carretera. Deslizamientos en los Km. 49, sector de Jullicunca, Machajuta (Km. 35). Flujos de tierra en los sectores de Ayllujasa, Km. 39+900 al 40+800. Derrumbes en talud superior de la carretera entre el Km. 34 al 33+450. (Fotografías 8.53 a la 8.56)	Deslizamiento puede cerrar el valle del río Mayo Tinco. Derrumbes producen la caída de grandes bloques de roca que obstruyen y ponen en peligro la seguridad física de las personas que transitan por la zona. Asentamientos en la ladera producen pérdida de la plataforma de la carretera.	Mejorar los sistemas de drenaje en taludes y laderas inestables. Desquinchado o remoción de bloques colgados inestables de los taludes superiores de la carretera. Sellado de grietas abiertas en las laderas y cuerpos de deslizamiento. Limpieza de cunetas obstruidas. Reforestar las laderas con plantas nativas de la zona.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
39	Ccapana y Markopata (Catcca) Quispicanchi	Flujos de detritos, deslizamientos, erosión de laderas, flujos de detritos.	8500179	234761	Configuración geomorfológica del río Mapocho con un valle amplio que se estrecha en varios sectores, donde se acumula el material fluvial y favorece los procesos erosivos en ambas márgenes del río. Laderas de pendiente media a fuerte disectada por cárcavas y quebradas por donde discurren flujos de detritos. En la ladera superior del poblado de Ccapana se tiene un deslizamiento activo que puede afectar viviendas y la población. Flujos de detritos que discurren por el río Catca y la quebrada Marcohuayjo pueden afectar los poblados de Markopata y Ccapana respectivamente. (Figuras 8.16 y 8.17)	Pérdida de terrenos de cultivo y puente peatonal por procesos de erosión fluvial. Trocha carrozable que comunica Ccapana con otros anexos cortada en varios tramos por las cárcavas y flujos de detritos. Deslizamiento en Ccapana puede afectar viviendas.	Realizar trabajos de encauzamiento del río Mapocho (principalmente en la margen izquierda), en los poblados de Markopata y Ccapana, mediante la utilización de diques de gaviones o de arriado de material del río. Realizar el descolmatao del cauce del río Mapocho. Evitar o prohibir la construcción de nuevas viviendas en las zonas susceptibles a inundaciones, procesos de erosión fluvial, como son la llanura de inundación y las terrazas bajas. Para controlar los efectos de posibles flujos de detritos (huaicos), se puede construir diques de gaviones, concreto o de mampostería, transversales al curso de la quebrada.
40	Carretera Interoceánica tramo Cuyune-Urcos (Urcos) Quispicanchi	Deslizamientos, derrumbes, movimientos complejos	8488067	219021	Carretera Interoceánica entre el Km. 0 al 19, se tienen derrumbes, deslizamientos, que producen asentamientos y pérdida de la plataforma de la carretera asfaltada en varios tramos. (Fotografía 8.57, 8.58 y 8.59)	Obstrucción de la carretera Interoceánica en varios tramos. Pérdida de la plataforma de carretera.	Perfilado de taludes. Remoción de bloques inestables. Sellado de grietas abiertas con arcillas. Drenaje de zonas con afloramiento de agua subterránea. Limpieza de cunetas.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
41	Chapiri-Chilcane (Urcos) Quispicanchi	Deslizamiento rotacional, movimientos complejos.	8491288	214590	<p>Cuenca de la quebrada Collpamayo que diseña secuencias de lutitas, pizarras y limolitas de la Formación Ananea, rocas de mala calidad.</p> <p>Vertientes de quebrada con problemas geodinámicos, se tiene deslizamientos en los sectores de Ccoñamuro y Chilcane; Deslizamiento-flujo de detritos en el sector de Chapiri, material removido se desplazó 2 km ladera abajo.</p> <p>Los materiales removidos pueden represar la quebrada Collpamayo y pueden alcanzar el cauce del río Vilcanota. (Fotografía 8.60)</p>	<p>Asentamientos en la plataforma de la trocha entre Chapiri y Chilcane.</p> <p>Perdida de terrenos de cultivo.</p>	<p>Implementar sistemas de riego tecnificado de tipo aspersión en las laderas de la quebrada.</p> <p>Sellado de grietas abiertas en la plataforma de la carretera y la ladera.</p> <p>Monitorear los deslizamientos.</p>
42	Piñipampa, Quechashiyoc y Quinsapuquio -Andahuayillas (Andahuayilla) Quispicanchi	Flujo de detritos, erosión fluvial	8488767	209658	<p>Valle del río Vilcanota alcanza un ancho máximo de 1.36 km entre los poblados de Andahuayillas y Pucara, el cauce hace una curva en este sector, las llanuras de inundación y las terrazas bajas son afectadas por procesos de erosión fluvial e inundación.</p> <p>Cerros Ipullay y Cusco Jahuarina cortadas por quebradas de corto recorrido presentan derrumbes activos en sus cabeceras, estos materiales son acarreados en periodos de lluvia y forman conos deyectivos; sobre estos conos se encuentra asentado el poblado de Piñipampa, Quechashiyoc y Quinsapuquio (Pucará) y sus zonas de expansión urbana. (Figura 8.18)</p>	<p>Las inundaciones afectan terrenos de cultivo que se encuentran en las terrazas bajas y en la llanura de inundación.</p> <p>Las inundaciones y procesos erosivos pueden afectar vía del tren Cusco-Puno y la carretera.</p> <p>Poblados de Piñipampa, Quechashiyoc y Quinsapuquio (Pucará) pueden ser afectados por flujos de detritos.</p>	<p>Protección de márgenes del río Vilcanota con muro de gaviones o entrocados.</p> <p>Profundizar y encausar quebradas de corto recorrido del sector de Pucara, definir un desfogue hacia el río Vilcanota.</p> <p>Construcción de muros transversales a los cauces de las quebradas.</p> <p>Reubicar viviendas que se encuentran asentadas sobre conos deyectivos.</p> <p>Definir zonas seguras y rutas de evacuación en Piñipampa, Quechashiyoc y Quinsapuquio (Pucará).</p>

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
43	Yaucat-Cusipata-Ccollcca (Cusipata) Quispicanchi	Derrumbe, erosión fluvial, inundación fluvial, flujo de detritos	8461609	229348	Tramo del río Vilcanota de unos 13 km de longitud, el cauce se presenta angosto y cerrado por numerosos conos deyectivos provenientes de las quebradas Callejón, Moccorayse, Usi, Ceucemayo, Mojonhuayaco y el río Tigre. El curso del río es sinuoso, en sus márgenes se vienen dando procesos de erosión fluvial. Derrumbes en el talud superior de la carretera con ángulos subverticales. Huaico de gran magnitud que discurre por el río Tigre, puede afectar el poblado de Cusipata; también el poblado de Collica puede ser afectado por Huaico ya que se asienta en el cono deyeectivo de quebrada. (Fotografías 8.61 a la 8.63)	Erosión fluvial afecta el talud inferior de la carretera y terrenos de cultivo. Flujos de detritos pueden afectar poblados de Collica y Cusipata.	Perfilado de talud superior de la carretera. Construcción de terrazas o banquetas en el talud. Protección de las márgenes del río Vilcanota con muros de gaviones.
44	Tramo de carretera Urcos-Murapata-Mollebamba (Urcos) Quispicanchi	Flujos de detritos	8484985	219034	Tramo de unos 10 km de la vía Cusco-Sicuani, presenta problemas de flujos de detritos que bajan por las quebradas Jolpayoc, Cachimayo, Pampachulla y Sapachuayajo, estas pueden cortar la carretera. Cabeceras y márgenes de quebradas con derrumbes y deslizamientos activos. (Figura 8.19)	Perdida de terrenos de cultivo. Pueden afectar puentes en la carretera Cusco-Sicuani.	Limpieza y descolmatación de cauces de quebradas. Forestar laderas con plantas nativas.
45	Huasao, Oropesa (Oropesa) Quispicanchi	Inundación, erosión fluvial, flujo de detritos	8496065	197555	Tramo de unos 7 km del cauce del río Huatanay comprendido entre los poblados de Huasao y Oropesa, con una llanura de inundación amplia, donde se producen desbordes y erosión en ambas márgenes. Discurren flujos de detritos por las quebradas Chunco, Huayojñan y Unhuayajo por la margen izquierda; y las quebradas Chimpacucho y Tablajajayoc. (Figura 8.20)	Pueden ser afectadas las terrazas bajas y llanuras de inundación donde se encuentra la carretera y terrenos de cultivo. Florida, Huasao, Quispicanchi, Choquepata, Oropesa, Símpicuna, Tambopata, Chingo y demás sectores que han sido urbanizados y se localizan cerca al cauce de las quebradas, pueden ser afectadas por huaicos.	Protección de márgenes con enrocados o muros de gaviones.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
46	Hallac, Cochayoc, Alto Concepción, Huaylahuaylla Alto (Quiquijana) Quispicanchis	Deslizamientos, derrumbes y movimientos complejos, huaticos.	8473495	228299	Cabecera de la quebrada Chullo, tributario del río Uchuymayu, afectado por movimientos en masa de grandes dimensiones, que producen el asentamiento de las vertientes; material sobresaturado puede desplazarse y encauzarse por la quebrada Chullo a manera de huaiuco que puede comprometer la seguridad física de todo lo que se encuentra en la cuenca baja; puede alcanzar el valle del río Vilcanota. Escarpa de deslizamiento alcanza los 700 m de ancho. Substrato comprometido de pizarras y esquistos, intercalados con bancos de cuarcitas de la Formación Ananéa.	Un huaiuco de grandes proporciones puede afectar viviendas de los poblados mencionados, terrenos de cultivo, carretera y todo lo que se encuentra en la cuenca baja. (Figura 8.21)	Monitoreo constante de las zonas afectadas por el asentamiento de terrenos. Creación e implementación de un sistema de alerta temprana, que servirá para mantener informada a las comunidades localizadas en la cuenca baja, de la ocurrencia de grandes eventos que puedan comprometer su seguridad física.
47	Río Uchuymayu (río Liapa) (Quiquijana) Quispicanchis	Deslizamientos, movimientos complejos, flujo de tierra, huaticos.	8471923	231803	Substrato de pizarras, esquistos y cuarcitas de la Formación Ananéa, de mala calidad geotécnica, se presenta afectada por varios megaeventos que producen el asentamiento y flujo del terreno pendiente abajo. Estos movimientos de terrenos se pueden traducir en la generación de un huaiuco de grandes proporciones que pueden movilizarse por la quebrada Uchuymayu y alcanzar la cuenca del río Vilcanota. Viviendas de los poblados de Calqui, Coolpapampa, Ccasapampa entre otros se encuentran dentro de las masas de terrenos inestables. Se identificaron hasta 12 eventos; la mayor escarpa que se ha identificado tiene aproximadamente 1.3 km de ancho.	Con un huaiuco de grandes proporciones pueden ser afectadas viviendas, terrenos de cultivo, carretera y todo lo que se encuentra en la cuenca baja. (Figura 8.22)	Monitoreo constante de las zonas afectadas por el asentamiento de terrenos. Creación e implementación de un sistema de alerta temprana, que servirá para mantener informada a las comunidades localizadas en la cuenca baja, de la ocurrencia de grandes eventos que puedan comprometer su seguridad física.
48	Quebrada Huarachajaja (Quiquijana) Quispicanchis	Deslizamientos, flujos de tierra, movimientos complejos, huaticos.	8479343	224416	Cuenca media de la quebrada Huarachajaja cuyo substrato está conformado por lutitas, pizarras y esquistos (Formación Ananéa); y areniscas, areniscas cuarcíticas, limolitas, limolitas pizarrosas y lutitas (Formación Ccatca), considerados de mala calidad geotécnica, afectados por movimientos en masa activos. El terreno se presenta removido, inestable; material saturado puede conformar flujo de detritos que puede alcanzar el valle del río Vilcanota. Poblados como Mijo Pata, Cancha Cancha, Sopoconcha, Huatiac, Iruyoc, entre otros se encuentran asentados en estas laderas inestables.	Pueden ser afectadas las viviendas de los poblados asentados en la zona inestables. Flujo de detritos de gran magnitud puede alcanzar el valle del río Vilcanota y comprometer la seguridad física de la localidad de Tiro. (Figura 8.23)	Monitoreo constante de las zonas afectadas por el asentamiento de terrenos. Creación e implementación de un sistema de alerta temprana, que servirá para mantener informada a las comunidades localizadas en la cuenca baja, de la ocurrencia de grandes eventos que puedan comprometer su seguridad física.



Fotografía 8.41 Km. 143+500 de la carretera Interoceánica, altura del talud de corte de hasta 250 m, se han cortado varias banquetas para estabilizar la zona; hay caída de cantos de roca.



Fotografía 8.42 Dos desarrollos de la carretera Interoceánica cerca de la localidad de Marcapata, se presentan taludes inestables por trabajos de ampliación de la carretera.



Fotografía 8.43 Detritos caídos obstaculizan el tránsito por la carretera Interoceánica en el Km. 148+500.



Fotografía 8.44 Derrumbe en talud superior de la carretera cerca del sector de Villanuvia, material caído bloquea el paso por varios días.



Fotografía 8.45 Derrumbe en talud superior de la carretera compromete secuencia de areniscas y conglomerados, sector del puente Media Luna.



Fotografía 8.46 Derrumbes en talud superior de la carretera, sector del puente Limonchayoc. Se han construido banquetas en el talud para estabilizarlo.



Fotografía 8.47 Derrumbe en el talud superior de la carretera en el Km. 115+950 de la carretera Interoceánica, se ha tenido que hacer banquetas en el talud para estabilizar la zona.



Fotografía 8.48 Talud superior inestable por trabajos de ampliación de la carretera Interoceánica, compromete sustrato de pizarras, filitas y depósitos coluviales, a la altura del Km. 109+900.



Fotografía 8.49 Derrumbes y deslizamientos en el talud superior e inferior de la carretera, compromete secuencia de pizarras negras, produce pérdida de plataforma de la carretera, Km. 104+900 de la Interoceánica.



Fotografía 8.50 Talud superior de carretera sostenido con muro de gaviones en el cerro Pucaloma; el substrato comprometido es de pizarras y lutitas.



Fotografía 8.51 Trabajos de estabilización en zona de derrumbes de la carretera Interoceánica, sector de Cerro Morallaqui.



Fotografía 8.52 Taludes superiores inestables de la carretera Interoceánica. en el sector de Cotaña, se han colocado cunetas de coronación en la zona.



Fotografía 8.53 Talud de corte con baquetas que buscan estabilizar la zona afectada por el deslizamiento de Huayllopampa.



Fotografía 8.54 Vista panorámica del deslizamiento de Huayllopampa a la altura del Km. 50 de la carretera Interoceánica.



Fotografía 8.55 Deslizamiento en talud inferior de la carretera Interoceánica, sector de Jillicunca, cuneta se encuentra rota y desplazada.



Fotografía 8.56 Caída de bloque de roca por mecanismo de falla en cuña, Km. 52+400 de la carretera Interoceánica.



Figura 8.16 Poblado de Ccapana, se ha señalado los deslizamientos, se tienen también erosión fluvial en la margen izquierda del río Mapocho.



Figura 8.17 Erosión fluvial en la margen izquierda del río Mapocho a la altura del poblado de Markopata.



Fotografía 8.57 Deslizamiento que produce asentamientos en la plataforma de la carretera Interoceánica en el cerro Josjhuarina.



Fotografía 8.58 Plataforma de la carretera asfaltada, agrietada y con asentamientos en el sector de Chapiri, margen derecha de la quebrada Collpamayo.



Fotografía 8.59 Asentamiento de la plataforma de la carretera Interoceánica en el km 10+380, se están realizando trabajos de estabilización.



Fotografía 8.60 Deslizamiento-flujo de detritos en el sector de Chapiri, margen derecha de la quebrada Collpamayo.



Figura 8.18 Poblado de Piñipampa asentado en el cono de deyección de quebrada de corto recorrido, nuevos flujos pueden afectar al poblado.



Fotografía 8.61 Talud superior subvertical de la carretera, entre el Km. 1048+800 al Km. 1049+100, se producen derrumbes y caídas de clastos.



Fotografía 8.62 Erosión fluvial en el sector de Cusipata, afecta la carretera.



Fotografía 8.63 Flujo de detritos que baja por quebrada activa, el cauce se presenta colmatado, el poblado de Ccolcca se asienta en el cono deyeectivo de la quebrada, la carretera hacia Sicuani cruza este depósito también.

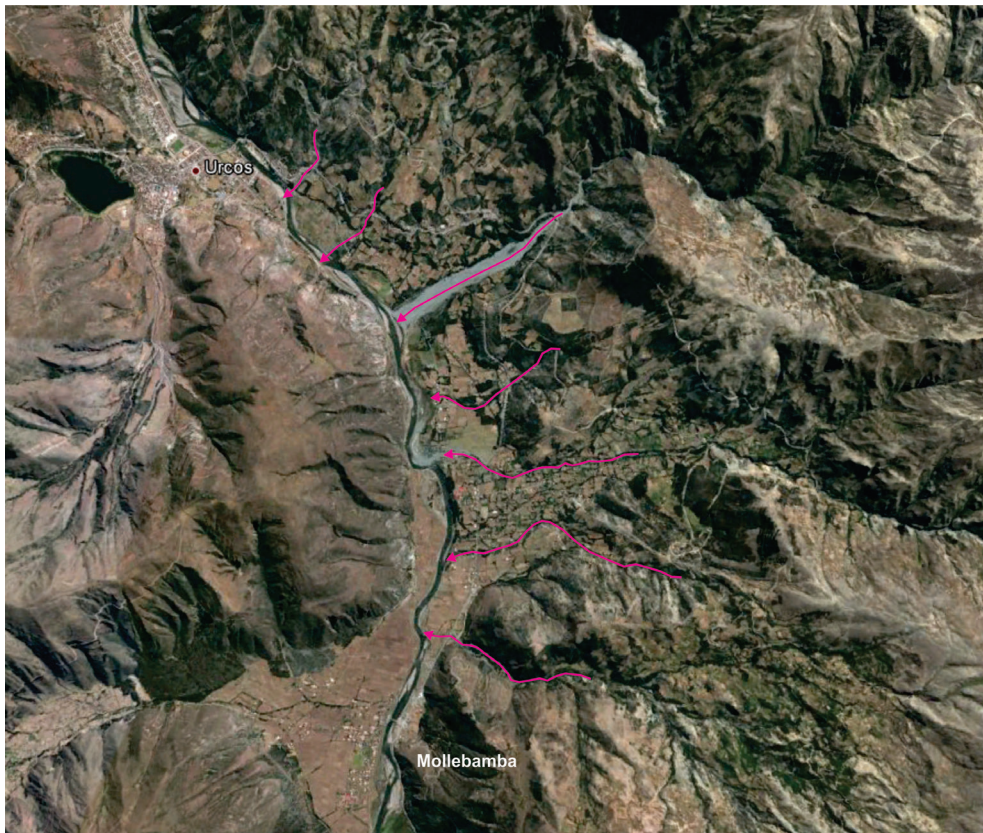


Figura 8.19 Tramo de la carretera entre Urcos y Mollebamba cruza varias quebradas activas por donde discurren flujos.

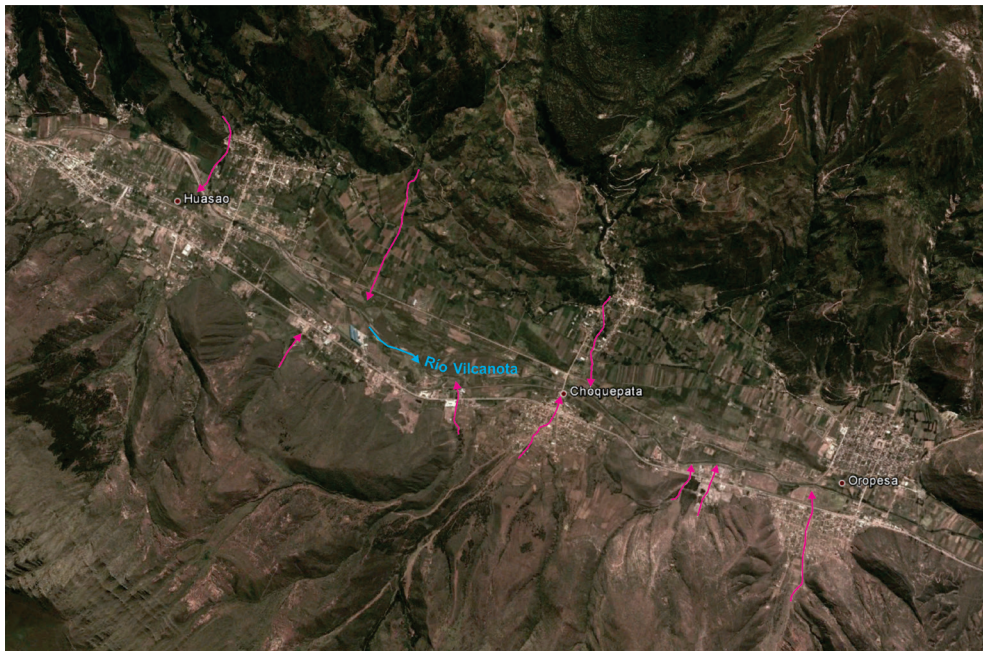


Figura 8.20 Valle del río Vilcanota entre los poblados de Huasao y Oropesa, se tienen problemas de erosión fluvial en ambas márgenes del río Vilcanota; flujos de detritos discurren por varias quebradas.



Figura 8.21 Quebrada Chullo, se han señalado con líneas de color Amarillo las zonas de arranque de eventos activos en la quebrada.

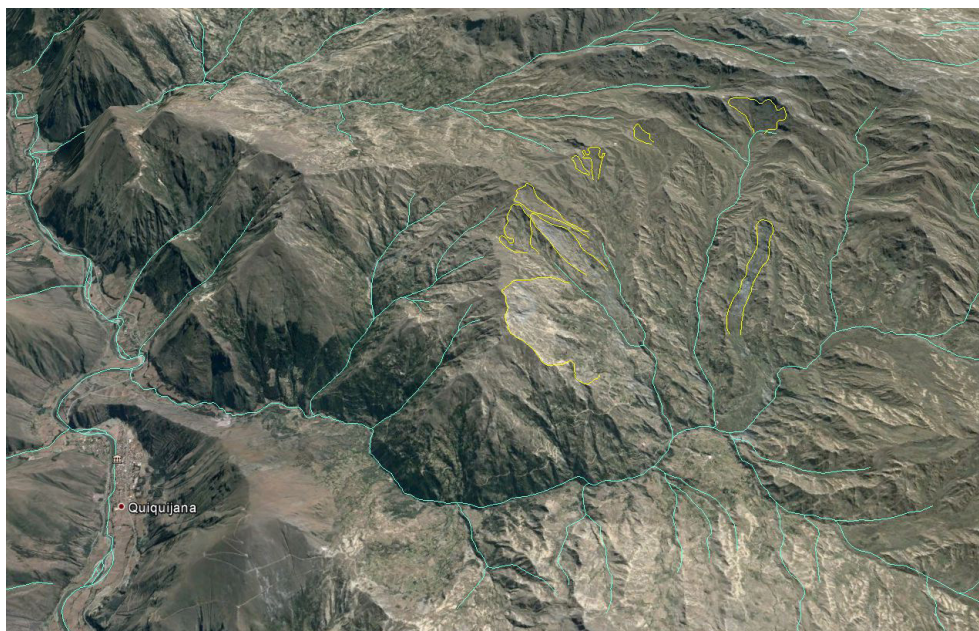


Figura 8.22 Laderas superiores del río Uchuymayu (río Llapa) donde se resalta con líneas amarillas las zonas de arranque de eventos activos.

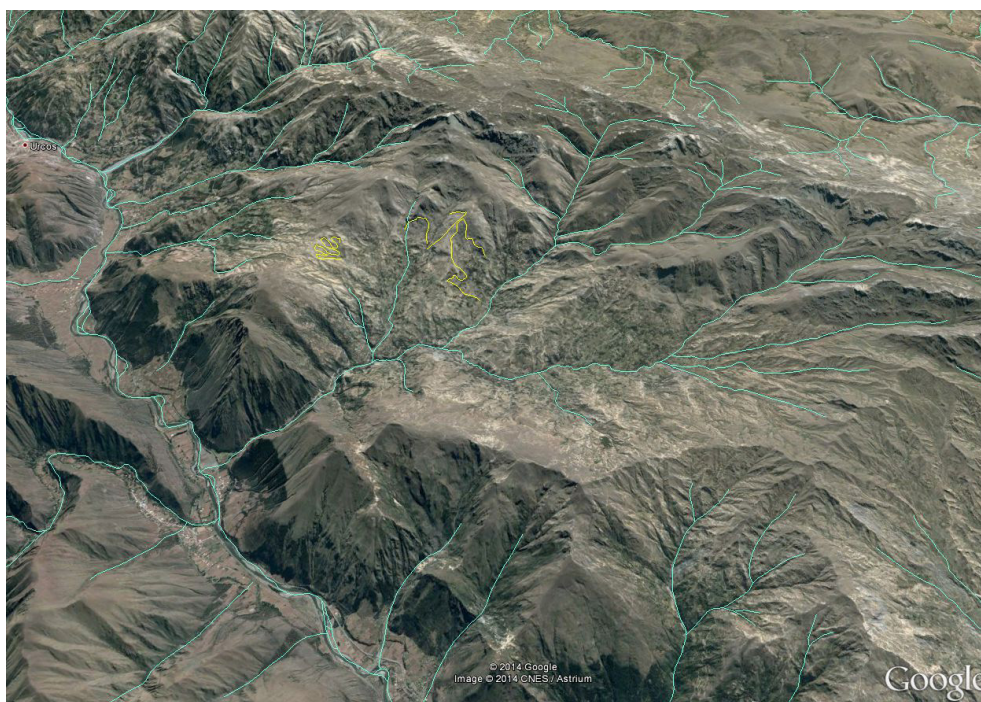


Figura 8.23 Imagen de Google Earth donde se indica con líneas amarillas algunas de las zonas de arranque de movimientos en masa dentro de la cuenca media de la quebrada Huarachajaja.

Cuadro 8.7
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Anta

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
49	Carretera asfaltada Cusco-Abancay, tramo-Abrahuilique-Limatambo-Herrería (Limatambo) Anta	Erosión fluvial, inundación, deslizamiento, derrumbes	8508788	777169	Derrumbes desde el talud superior de la carretera y asentamientos en la plataforma de la carretera, agrietamientos y pérdida de asfalto por efectos de deslizamientos activos en varios tramos de la vía Limatambo-Cusco, puntualmente entre los poblados de Countri y Abrahuilique. Represamiento y posterior desborde de la quebrada Chaquil con formación de un gran flujo de detritos, produjo erosión aguas abajo en ambas márgenes del valle del río Colorado. La carretera localizada en la terraza aluvial fue erosionada en varios tramos entre Limatambo y el sector de Herrería. Poblado de Limatambo asentado en la margen izquierda del río Colorado, puede ser afectado por flujos de detritos que bajan por varias torrenteras de corto recorrido localizadas en las laderas contiguas al poblado (Quebradas Lambrahuayo y Qeshuahuayo), así como también flujos que bajen por la quebrada Parco pueden afectar a Limatambo. (Fotografía 8.64, 8.65 y 8.66)	Perdida de plataforma de carretera por efectos de erosión fluvial e inundaciones. Asentamientos y pérdida de plataforma de carretera por deslizamientos activos. Material caído desde talud superior de carretera obstruyen el tránsito y pueden causar accidentes. Poblado de Limatambo puede ser afectado por flujos de detritos, también la zona arqueológica de Tarawasi.	Encausamiento del valle del río Colorado con gaviones para darle protección a la ladera. Limpieza y encausamiento de quebradas por donde discurren flujos de detritos.
50	Sector de Collpajata-Moyoc-Puente Cunyac (ríos Ancayfanua, Berbejo y Apurímac) (Limatambo, Moilepata) Anta	Flujo de detritos, erosión fluvial	8501151	766550	Erosión fluvial en ambas márgenes de los ríos Apurímac y Berbejo producen la pérdida del talud inferior de la carretera entre el puente Cunyac y el puente sobre el río Ancayfanua. Derrumbe en el cerro Macachihua donde se encuentra la cabecera del río Ancayfanua y la posterior formación de un gran flujo de detritos incrementaron el proceso erosivo de los ríos mencionados. (Fotografías 8.67 y 8.68)	Perdida de Plataforma de carretera y terrenos de cultivo. Relleno del valle del río Ancayfanua.	Limpieza y encausamiento de ríos con muros de gaviones, enrocados o arrimado de material de río.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
51	Zurite (Zurite)	Movimiento complejo: Deslizamiento- Flujos de detritos	8511071	796880	<p>Deslizamiento ocurrido el 28 de enero del 2010, originado en la parte alta de la cuenca de la quebrada Qenqo, en el cerro Llamacancha, este evento comprometió el substrato conformado por rocas intrusivas muy fracturadas y alteradas, también depósitos coluviales. En la zona se tienen manantiales de agua que saturan el suelo. El material que se desizó al estar saturado se encausó por la quebrada formando un flujo de detritos. Posteriormente los días 6 y 13 de febrero se produjeron nuevos flujos de detritos, de los cuales el primero tuvo repercusiones más destructoras en Zurite.</p> <p>Detrás de la corona del deslizamiento se tienen grietas abiertas que manifiestan que el estado activo del deslizamiento continúa. (Carlotto, <i>et al.</i>, 2010) (Fotografía 8.69 y 8.70)</p>	<p>Afectó viviendas y calles de la localidad de Zurite, terrenos de cultivo, caminos.</p>	<p>Reforestar las laderas con vegetación nativa de la zona.</p> <p>Captación de manantiales de la parte alta del cerro Llamacancha.</p> <p>Construir un sistema de drenaje para sacar el agua de la masa deslizada.</p> <p>Construir un sistema de diques transversales en la quebrada Qenqo.</p> <p>El encauzamiento de la quebrada Qenqo en la avenida Kennedy no debe ser cubierto, para evitar obstrucción y colmatación.</p> <p>Implementar un sistema de alerta temprana y preparación de la población en temas de peligros geológicos.</p> <p>Ideñtificación de rutas de escape y zonas de refugio en caso se produzcan nuevos flujos.</p>



Fotografía 8.64 Asentamiento de plataforma y pérdida de asfalto en el Km. 898 de la vía Abancay-Cusco.



Fotografía 8.65 Erosión fluvial en la margen derecha del río Colorado, afectó la carretera Abancay-Cusco.



Fotografía 8.66 Torrentera sin nombre que pasa por el poblado de Limatambo, encausada con muros de roca.



Fotografía 8.67 Derrumbes y flujo de detritos en el valle del río Ancayfania produjo el relleno del valle y erosión aguas abajo.



Fotografía 8.68 Erosión fluvial en el talud inferior de carretera, margen derecha del río Apurímac, cerca al puente Cunyac.



Fotografía 8.69 Cabecera de la quebrada Qenqo donde se originó el deslizamiento flujo de detritos que afectó el poblado de Zurite.



Fotografía 8.70 Cauce colmatado de la quebrada Qenqo, el material transportado superó la capacidad de carga del canal produciéndose desbordes y la formación de albardones. El flujo de detritos afectó viviendas y calles de Zurite.

Cuadro 8.8
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Urubamba

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
52	Ferrocarril Cusco-Machupicchu: tramo Taniac-Aguas Calientes (Ollantaytambo, Machupicchu) Urubamba	Flujos de detritos, derrumbes, caída de rocas, erosión fluvial, inundaciones, aluviones	8537751	783447	Valle del río Urubamba por donde se encuentra la vía férrea que conduce a Aguas Calientes, cruza varias quebradas por donde discurren flujos de detritos y aluviones (quebrada Juchuytranca, Runtumayo, Huaytampo, Misquipuquio, Chaquimayo, Torontoy, Pampajahua y Aguas Calientes), que destruyeron la vía férrea en varias ocasiones. El último evento de gran magnitud bajo por la quebrada Runtumayo el 12 de octubre del 2005; un desprendimiento de hielo y rocas del Nevado Verónica formó un aluvión. Erosión fluvial en las márgenes del río Vilcanota. Derrumbes en talud superior de la vía férrea.	Poblado de aguas Calientes, así como otros caseríos asentados sobre conos defectivos de quebradas y tramos de vía férrea, carretera y caminos de herradura son afectados por flujos de detritos. Evento de la quebrada Runtumayo represó parcialmente al río Vilcanota, afectó 400 m de vía férrea, terrenos de cultivo, sistemas de riego y agua potable	Limpieza y descolmatado de cauces de quebradas. Encausamiento de quebradas. Construcción de muros transversales a los cauces de quebradas para reducir velocidad y fuerza a los huaiicos. Remoción de bloques colgados e inestables en los taludes superiores de la vía férrea.
53	Carretera Huarcocondo-Pachar (Huarcocondo, Maras, Ollantaytambo) Urubamba	Derrumbes, deslizamientos, erosión fluvial	8527335	799478	Tramo de unos 18 km trazados en el valle estrecho del río Huarcocondo, con vertientes afectadas por derrumbes activos, deslizamiento antiguos y activos y procesos de erosión fluvial en ambas márgenes del río. Erosión de laderas en cárcavas con generación de flujos de detritos.	Erosión fluvial en el talud inferior de la carretera. Derrumbes obstruyen la carretera.	Perfilado de taludes. Limpieza y remoción de bloques colgados en el talud de la carretera. Encauzamiento del río con gaviones.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
54	Phiri-Abra Malaga (Ollantaytambo) Urubamba	Derrumbes, deslizamientos, flujos de detritos, erosión fluvial, reptación de suelos	8540368	793675	Tramo de la vía Cusco-Quillabamba (del Km. 95 al 129), entre Phiri y el Abra Malaga. Se tienen derrumbes que producen caída de suelo, bloques y clastos a la carretera. Deslizamientos producen asentamientos de la plataforma de carretera. Flujos de detritos que discurre por el río Tanjac y sus tributarios, afectan puentes, producen erosión de las márgenes. Deslizamientos activos en la margen izquierda del río Tanjac, se encuentran colgados y pueden represar el río. El último huaico que bajó por el río Tanjac el 9 de febrero del 2013 acarreó gran cantidad de material detrítico. (Fotografía 8.71 al 8.76)	Erosión y pérdida de la plataforma de carretera en los tramos que se encuentran dentro del valle de la quebrada Tanjac. Destrucción de 20 viviendas en el sector de Phiri y Tanjac. Destrucción de terrenos de cultivo. Deslizamiento formado en la margen izquierda de la quebrada Tanjac, cuyo cuerpo se encuentra colgado puede represar la quebrada. Destrucción de carretera y Puente que conduce al Km. 82 de la vía férrea Cusco-Aguas Calientes.	Protección y encausamiento de márgenes con gaviones. Limpieza de cauce de la quebrada Tanjac y sus tributarios. Monitoreo del deslizamiento activo que se encuentra colgado. Reubicación de viviendas que se encuentran asentadas en el cono deyectivo de la quebrada Tanjac.
55	Ollantaytambo- Panticalla, río Patacancha (Ollantaytambo) Urubamba	Flujo de detritos, derrumbes, deslizamientos, erosión fluvial, movimientos complejos	8538122	803263	Movimientos complejos antiguos que represaron la quebrada Ocoruyoc y Patacancha. Derrumbes activos en talud superior de carretera que compromete substrato rocoso y conos de talus. Derrumbe en el valle del río Patacancha origino un flujo de detritos que se acumuló en el valle de represamiento. Erosión fluvial en el río Patacancha afecta ambas márgenes. Movimiento complejo antiguo-reactivado en el sector de Huiloc, produce asentamientos en la carretera. Deslizamientos activos afectan carretera. (Fotografías 8.77-8.81)	Huaico afectó terrenos de cultivo, pastizales y campo deportivo. Erosión fluvial afectó la carretera y puede afectar la línea de transmisión eléctrica que pasa por el valle del río Patacancha. Derrumbes obstruyen la carretera. Flujos de detritos destruyeron viviendas y terrenos de cultivo en los sectores de Huiloc y Cooicaracay; pudo afectar restos arqueológicos de Marcacocha.	Perfilado de talud superior de carretera. Banqueteado de taludes. Drenar aguas subterráneas que afloran como manantiales. Colocar muros de mampostería o gaviones para estabilizar taludes. Colocar diques de gaviones en zonas afectadas por erosión fluvial. Limpieza y descolmatao del río Patacancha.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
56	Urubamba, Quebrada Chicón (Urubamba)	Flujo de detritos, aluviones	8527846	812821	Flujo de detritos excepcional que discurre por la quebrada Chicón, Puede afectar a la localidad de Urubamba. Ancho de cauce actual de 2 m, encausado con muros de piedra en el último tramo que cruza la localidad de Urubamba. Último evento se produjo el 18 de octubre del 2010. (Fotografías 8.82 y 8.83)	Calles de Urubamba se cubrieron con lodo y rocas. Erosión en las márgenes de la quebrada Chicón aguas arriba. Un evento de gran magnitud puede comprometer la seguridad física de la localidad de Urubamba.	Limpieza y descolmatado de cauce. Colocar muros transversales al cauce de la quebrada Chicón. Implementar un sistema de alerta de desastres en toda la cuenca de la quebrada, la cual debe constar de estaciones pluviométricas, sensores de alarma colocados en el cauce, etc.
57	Carretera Tambillopata-Urubamba (Maras) Urubamba	Derrumbes, deslizamiento rotacional, erosión en cárcavas	8526273	812438	Tramo de carretera que permite el acceso a Urubamba, se tienen 5 desarrollos con derrumbes en talud superior de la carretera; asentamientos en acantilado que afecta la carretera en varios tramos. Substrato comprometido de capas rojas. (Figura 8.24)	Asentamiento de plataforma de carretera. Deslizamiento puede represar el río Urubamba frente a la localidad de Urubamba. Material caído obstruye la carretera. Poblados de Jahuacollay, Culebrachay y Tarapata, asentados en esta ladera inestable pueden resultar afectados por nuevos movimientos del terreno.	Monitoreo del deslizamiento. Limpieza del material caído de la carretera y cunetas. Remoción de bloques inestables del talud superior de la carretera.



Fotografía 8.71 Desarrollo hacia el Abra Málaga, presenta problemas de derrumbes y deslizamientos en sus taludes superiores por obras de ampliación de la plataforma.



Fotografía 8.72 Derrumbes en el talud superior de carretera entre los Km. 119+500 al 121+500; vista de la quebrada Pillanicancha, tributaria de la quebrada Tanjac.



Fotografía 8.73 Tributario de la quebrada Tanjac, donde se inició el evento del 9 de febrero del 2013.



Fotografía 8.74 Efectos del huaico de la quebrada Tanjac, erosionó varios tramos de la carretera que conduce a Quillabamba.



Fotografía 8.75 Erosión de las márgenes de la quebrada Tanjac en el sector de Phiri pudo afectar viviendas y tramo de carretera.



Fotografía 8.76 Quebrada Tanjac, material que acarreó el huaico del 9 de febrero del 2013, sobrepasó la capacidad de carga del cauce, produciendo reboses que formaron albardones, vivienda del Phiri y Tanjac fueron destruidas con este huaico.



Fotografía 8.77 Erosión fluvial en la margen derecha del río Patacancha afecta el talud inferior de carretera.



Fotografía 8.78 Huaico en el río Patacancha se desbordó y afectó terrenos de cultivo y viviendas en el sector de Huilloc.



Fotografía 8.79 Materiales del flujo de detritos del río Patacancha se depositaron en un valle de represamiento, de esta forma no llegó hasta la localidad de Ollantaytambo.



Fotografía 8.80 Asentamientos en la carretera producidos por reactivación de deslizamiento flujo en el sector de Huyloc.



Fotografía 8.81 Derrumbes en el talud superior de la carretera Ollantaytambo-Ocobamba, compromete conos de talus.



Fotografía 8.82 Cuenca alta de la quebrada Chicón.



Fotografía 8.83 Tramo encausado de la quebrada Chicón en la localidad de Urubamba.



Figura 8.24 Deslizamiento que produce el asentamiento de la carretera que permite el acceso a Urubamba.

Cuadro 8.9
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Paucartambo

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
58	Carretera Paucartambo-Challabamba-Pantamarca (Paucartambo, Challabamba) Paucartambo	Flujos de detritos, erosión fluvial, inundación fluvial, derrumbes, deslizamientos.	8537218	212769	<p>Valle del río Paucartambo comprendido entre las localidades de Paucartambo y Pantamarca, se tiene gran cantidad de problemas por peligros geológicos.</p> <p>Erosión y erosión fluvial entre Paucartambo y Challabamba, el valle amplio del río Paucartambo es ocupado por poblaciones y obras de infraestructura diversa.</p> <p>Derrumbes y deslizamientos activos en ambas márgenes del río Paucartambo.</p> <p>Flujos de detritos acarrear y depositan material proluvial en el río Paucartambo. (Fotografías 8.84, 8.85 y 8.86)</p>	<p>La erosión fluvial destruye terrenos de cultivo, puede afectar puentes, viviendas de las localidades de la hacienda Llaychu, Sunchubamba y viviendas localizadas frente a Challabamba en la margen izquierda del río Paucartambo, también afecta tramos de carretera.</p> <p>Derrumbes y deslizamientos comprometen terrenos de cultivo, producen asentamientos y pérdida de la plataforma de carretera, pueden afectar línea de transmisión eléctrica.</p> <p>Los huacicos pueden afectar los poblados de El Molino, Illichua, Manzanares, Cutipata, Sunchubamba, Tocoahuaylla, Inquipata, Challabamba, Mecclaypata, Pillco, Tatora, Piñupucara, Acobamba.</p>	<p>Realizar trabajos de encauzamiento del río Paucartambo por medio de gaviones.</p> <p>Limpeza del cauce, el material de río puede ser arimado para formar diques de encauzamiento.</p> <p>Prohibir el desarrollo urbano en terrazas bajas y llanuras de inundación del río Paucartambo, porque en un mediano y largo plazo serán afectados por procesos erosivos y de inundación.</p> <p>Limpeza de materiales caídos a la carretera desde el talud superior.</p> <p>Colocar drenajes en zonas con deslizamientos activos donde se tengan afloramientos de agua subterránea.</p> <p>Limpeza y reconstrucción de badenes dañados.</p>

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
59	Paucartambo, ríos Mapocho y Quencomayo (Paucartambo) Paucartambo	Erosión fluvial, e inundación fluvial.	8526207	218578	<p>Poblado de Paucartambo asentado en la confluencia de los ríos Paucartambo y Quencomayo, con lluvias excepcionales en la zona se producen desbordamientos que afectan al poblado.</p> <p>Se presentan varios deslizamientos en ambas márgenes en su cuenca media y alta, estos eventos pueden represar la quebrada y formar flujos de detritos.</p> <p>El último evento producido en febrero del 2014, causó inundación de 28 viviendas en el barrio de Molinopampa y 50 en la avenida principal de la ciudad de Paucartambo. (Fotografía 8.87)</p>	<p>Fujos de detritos de gran magnitud pueden comprometer la seguridad física de personas y viviendas de Paucartambo.</p> <p>Los deslizamientos y derrumbes localizados en la cuenca alta y media de la quebrada Colquemayo producen asentamientos y pérdida de plataforma de carretera.</p>	<p>Mejorar defensas riverieñas con la colocación de muros de gaviones.</p> <p>Limpieza de cauces.</p> <p>Implementar sistemas de alerta temprana en la cuenca del río Paucartambo y la quebrada Quencomayo, donde se deberá tener bien monitoreado los deslizamientos que se encuentran en la cuenca media y alta.</p>
60	Carretera Tablachaca-Challabamba, río Huilluca (Challabamba) Paucartambo	Deslizamientos, flujos de detritos	8535174	205545	<p>Valle del río Huilluca que corta secuencias de cuarcitas, limolitas, areniscas y pizarras negras de la Formación Ananea, areniscas y lutitas del Grupo Cabanillas, y cuarcitas, lutitas y pizarras de la Formación Sandía. Las vertientes tienen pendientes de más de 30°.</p> <p>Mega deslizamientos antiguos y reactivados, muchos de ellos con control estructural, los cuales han producido asentamientos en la ladera. Pueden represar el río Huilluca.</p> <p>Fujos de detritos discurren por las quebradas tributarias y por el cauce del mismo río Huilluca. (Fotografía 8.88 y 8.89)</p>	<p>Deslizamientos activos producen asentamientos en la plataforma de la carretera que conduce a Challabamba.</p> <p>Flujo de detritos cortaron la carretera hacia Challabamba.</p> <p>Flujo de detritos de grandes proporciones afectan al poblado de Challabamba y de todo lo que se encuentra aguas abajo del río Paucartambo a partir de este punto.</p>	<p>Implementar un sistema de monitoreo en el valle del río Huilluca, donde se tenga bien monitoreado a los deslizamientos que se encuentran en sus vertientes.</p> <p>Trabajar con la comunidad de Challabamba y otras poblaciones que resultasen afectadas por la generación de flujos de detritos en el cauce del río Huilluca.</p>

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
61	Carretera Huancarani-Sierra Bella-Huambutío (Caycai, Huancarani) Paucartambo	Derrumbes	8500523	207470	Trabajos de ampliación y asfaltado de la carretera a Huancarani dejaron los taludes superiores de la carretera en estado muy inestable, desde donde se producen grandes caídas de material y bloques de roca que obstruyen hasta un carril de la carretera. Substrato comprometido de fillitas, pizarras y capas rojas. Mecanismo de ruptura falla planar. (Fotografías 8.90, 8.91 y 8.92)	Bloques y suelo caídos obstruyen la plataforma de carretera y cunetas. Pueden comprometer la seguridad física de vehículos y personas que transitan por la zona.	Limpieza de carretera y cunetas. Perfilado de taludes. Construcción de banquetas. Remoción de bloques sueltos e inestables.
62	Tamo de carretera Caycai-Champahuichirani-pata-Cullipata-Jaquira (Caycai) Paucartambo	Deslizamientos, movimientos complejos, reptación de suelos	8494223	212983	Valle de la quebrada Llojeta que corta secuencias de lutitas y limolitas grises, intercaladas con areniscas, también pizarras negras. Las laderas están siendo afectadas por deslizamientos y movimientos complejos, flujos de detritos llegan hasta el cauce de la quebrada Llojeta. La reptación de suelos deja las laderas inestables y removidas. (Fotografías 8.93 y 8.94)	Asentamientos y pérdida de terrenos de cultivo. Asentamiento de plataforma de carretera. Viviendas ubicadas dentro del cuerpo de deslizamientos activos, pueden ser afectadas con los movimientos del terreno.	Monitoreo de deslizamiento. Implementar sistema de alerta temprana.



Fotografía 8.84 Derrumbe-flujo de detritos en el talud superior de la carretera que conduce de Paucartambo a Challabamba.



Fotografía 8.85 Población que ocupa terrenos de la hacienda Llaychu, asentada sobre una terraza baja en la margen derecha del río Paucartambo, puede ser afectada por procesos de erosión e inundación fluvial.



Fotografía 8.86 Flujo de detritos que baja por la quebrada Meclaypata en la margen izquierda del río Paucartambo, puede afectar viviendas del poblado de Meclaypata.



Fotografía 8.87 Vista aguas arriba de la quebrada Quencomayo, tramo encauzado con muros de concreto en la localidad de Paucartambo.



Fotografía 8.88 Deslizamiento en ladera del cerro Llama, margen izquierda del río Huilluca.



Fotografía 8.89 Carretera a Challabamba cortada por flujo de detritos que baja por la quebrada Cumurumiyoc.



Fotografía 8.90 Talud superior de la carretera conformado de filitas y pizarras, bloques caen por falla planar.



Fotografía 8.91 Secuencia de la Formación Huancané que se inclina a favor de la pendiente de la ladera, caída de bloques por falla planar entre el Km. 12+100 al 16+100 de la carretera a Huancarane.



Fotografía 8.92 Taludes de más de 40 m de altura en la vía a Huancarani, material caído obstruye la vía.



Fotografía 8.93 Deslizamiento rotacional antiguo reactivado en el cerro Jachi, produce asentamientos en la plataforma de la carretera.



Fotografía 8.94 Derrumbe-flujo de detritos cerca al poblado de Jaquira, zona de arranque inicia en el talud inferior de la carretera.

Cuadro 8.10
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Paruro.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
63	Yaurisque, Ranraccasa (Yaurisque) Paruro	Movimiento complejo (Deslizamiento Rotacional-flujo de tierra)	8486388	184773	Deslizamiento rotacional-flujo de tierra con un ancho de escarpa promedio de 450 m, el material removido se ha desplazado 3.5 km ladera abajo. Desplazamientos en temporada de lluvias está entre los 15 y 20 cm; terreno se presenta ondulado, removido e inestable, con formación de grietas transversales y terracetos cerca de la escarpa principal del deslizamiento (comunidad de Ranraccasa). Presencia de hasta 3 juegos de grietas paralelas detrás de la escarpa principal. (Fotografía 8.95 y Figura 8.25)	Poblados de Huancarqui, Labranniyoc, Coochapata, Cchaccar, Sucsuhuyoco, Minasmocco, Chilcachillcayoc, Curuchura, Rajchemocco, Ranraccasa Toccoorumi y Azullococha, asentados en el cuerpo del deslizamiento pueden ser afectados por desplazamientos violentos del terreno. Afecta 1.7 km de la carretera Yaurisque-Paruro. Afecta terrenos de cultivo. Un desplazamiento violento de terreno puede afectar el poblado de Yaurisque, así como represar el río Yaurisque.	Implementar sistema de riego tecnificado de tipo aspersión. Drenaje de aguas subterráneas que aparecen en el cuerpo del deslizamiento, sacarlas fuera de la zona inestable. Implementar un sistema de alerta temprana en la comunidad de Yaurisque y sus anexos. Realizar el monitoreo del deslizamiento.
64	Cusibamba Bajo- Huarobamba (Paruro, Pacaritambo) Paruro	Erosión fluvial, flujo de detritos, derrumbes	8470843	189698	Derrumbes activos en las quebradas tributarias del río Paruro (quebrada Jatunhuayo) que generan flujos de detritos que se encausan y alcanzan el río Apurímac a la altura del poblado de Cusibamba Bajo, el cual es afectado con los materiales que acarrea y los procesos erosivos que genera. Tramo de unos 14 km de la carretera que une los poblados de Cusibamba Bajo con Huarobamba, Huata y Colquemarca, trazado en una ladera subvertical de la margen izquierda del río Apurímac, dejó taludes inestables, se identificaron hasta 7 tramos inestables desde donde se produce la caída de suelos y bloques de roca. (Fotografías 8.6, 8.97 y 8.98)	Material caído desde el talud superior obstruye el paso de vehículos. Las caídas pueden comprometer la seguridad física de vehículos y personas que transitan por la zona. Pérdida de plataforma de carretera por derrumbes del talud inferior. Flujo de detritos de gran magnitud puede afectar el poblado de Cusibamba Bajo y la carretera.	Limpieza de la carretera. En zonas donde las condiciones lo permitan, se deben realizar trabajos de estabilización del talud superior de carretera mediante el perfilado o cortando terrazas. Encauzamiento del río Paruro con gaviones. Las viviendas de Cusibamba Bajo no deben de ser construidas cerca del cauce del río Paruro. Contemplar la posibilidad de reubicación de poblado.

N°	Sector (Distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
65	Angascococha y Hualata (Omachá) Paruro ZC 05	Flujo de tierra	8436430	204921	Flujo de tierra activo de unos 450 m de ancho y 1.1 km de longitud, activo, produce el desplazamiento del terreno ladera abajo hacia la quebrada Sillola y desvía su cauce. Afecta secuencias del Grupo Puno (areniscas, conglomerados, tobas y brechas) y de la Formación Murco (areniscas, limolitas, lodolitas y limoarcillitas). Presencia de manantes de agua subterránea en el cuerpo del evento.	Puede represar la quebrada y afectar viviendas y terrenos de cultivo que se encuentran en el material inestable. También puede afectar carretera de acceso a la localidad de Antapallpa. (Figura 8.26) (Interpretado a partir de imágenes satelitales)	Realizar el monitoreo constante del proceso. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.
66	Parcco y Chapina (Omachá) Paruro ZC 6	Deslizamiento Rotacional	8433911	206593	Deslizamiento rotacional activo, ancho máximo de 900 m y longitud de la corona a la punta de 1.8 km, escarpa irregular. Asentamiento y desplazamiento del terreno hacia la quebrada Parcco. Terreno irregular y removido, presencia de manantiales de agua que forman bofedales y lagunas. El substrato afectado corresponde al Grupo Puno (areniscas, conglomerados, tobas y brechas) y de la Formación Murco (areniscas, limolitas, lodolitas y limoarcillitas). Se observa otros 2 deslizamientos activos en el sector de Irobamba, hacia ambas márgenes de la quebrada Liancamayo, en los cerros Tiuno y Ccoñamoro. (Figura 8.27)	Pueden ser afectadas viviendas y terrenos de cultivo de las comunidades de Parcco y Chapina, así como un tramo de la carretera que comunica Antapallpa con Checcapucara. Deslizamientos del sector de Irobamba afecta la carretera hacia Checcapucara y produce asentamientos del terreno. (Interpretado a partir de imágenes satelitales)	Realizar el monitoreo constante del proceso. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.



Fotografía 8.95 Escarpa del deslizamiento-flujo de tierra de Ranraccasa



Figura 8.25 Vista del cuerpo del deslizamiento-flujo de tierra, en el fondo el poblado de Yaurisque.



Fotografía 8.96 Carretera Cusibamba Bajo-Huaro Bamba trazada en la margen izquierda del valle del río Apurímac, en una ladera que supera los 40° de inclinación.



Fotografía 8.97 Talud de corte vertical de casi 40 m de altura, muy inestable, desde donde se produce la caída de bloques de roca y suelo.



Fotografía 8.98 Valle del río Paruro y del poblado de Cusibamba bajo asentado en su margen izquierda cerca a la desembocadura en el río Apurímac, afectado por procesos de erosión fluvial y huaicos, se han colocado espigones con gaviones para evitar que el poblado sea afectado.

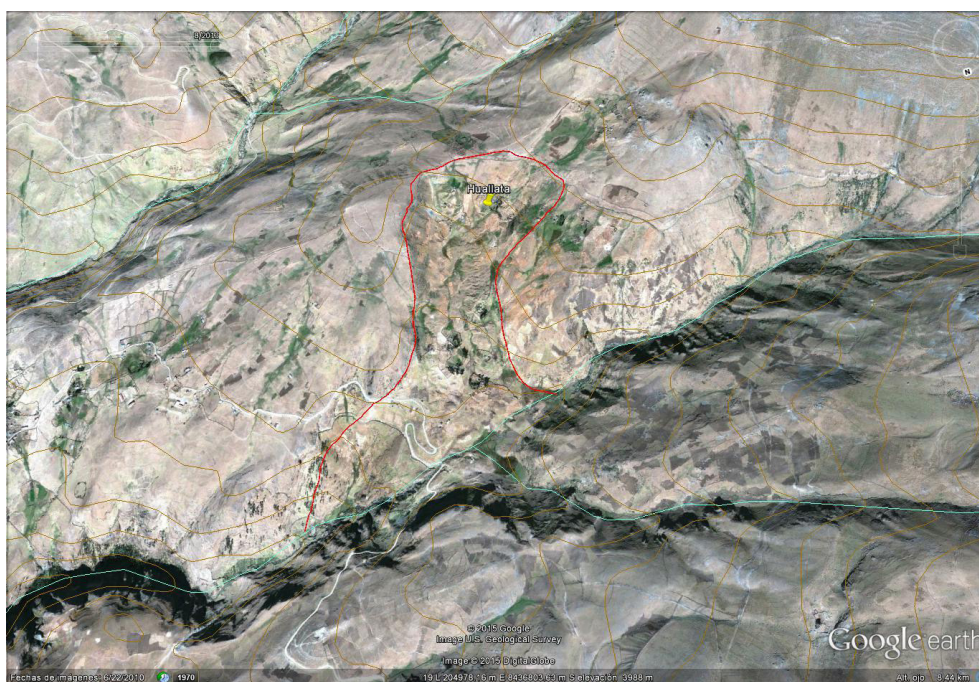


Figura 8.26 Imagen de Google Earth con vista al suroeste donde se han delineado con línea roja el límite aproximado del flujo de tierra del sector de Huallata, distrito Omacha.



Figura 8.27 Límites aproximados de los deslizamientos activos en los sectores de Chapina e Irobamba, delineados con líneas rojas; distrito Omacha.

Cuadro 8.11
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Acomayo

N°	Sector (distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
67	Acomayo-carretera Acomayo-San Pedro-Pitumarca (Acomayo) Acomayo	Flujo de detritos erosión fluvial, derrumbes, deslizamientos	8457662	212229	Poblado de Acomayo asentado entre el río Acomayo y la quebrada Culcumachay puede ser afectado por procesos erosivos y huacos que discurren por estos valles que se observan muy activos con bastante material gravoso. Derrumbes en talud superior de carretera en varios tramos de la carretera; mecanismo de caída por falla planar y vuelcos. Deslizamiento produce el sentamiento del talud superior de la carretera; compromete substrato de capas rojas y litología volcánica sedimentaria. (Fotografías 8.99 y 8.100)	Huacos y erosión fluvial pueden afectar poblado de Acomayo. Asentamiento de plataforma de carretera. Material caído obstruye la carretera y cunetas.	Limpieza y descolmatado de cursos de ríos y quebradas. Reforzamiento de defensas ribereñas con muros de gaviones. Perfilado de taludes, construcción de terraza o banquetas.
68	Poblados de Acopampa, Ccollpa, Lloclla, Ccoyropata, Ccopa, Huaynapata, Calzada y Hitiuin (Acos) Acomayo	Derrumbes, deslizamientos	8465651	201237	Cabeceras de la quebrada Saramayo y sus 2 tributarios (qdas. Allojllamayo y Hitiuin) afectada por procesos de derrumbes y deslizamientos antiguos y reactivados en el cuerpo de la masa asentada; por efectos del desarrollo de la quebrada. Zona de arranque promedio de 3.5 km; terreno se presenta asentado y removido. Presencia de fallas activas en la cabecera de la quebrada (Cerros Jatún Orjo, Mallao y Ahuajipata) (Figura 8.28)	Reactivación del deslizamiento afecta tramo de 230 m de carretera. Pérdida de terrenos de cultivo. Puede afectar 13 desarrollos de la carretera que conecta las localidades de Rondocán con Acomayo y Colcha.	Monitoreo constante de las zonas afectadas por el asentamiento de terrenos. Creación e implementación de un sistema de alerta temprana, que servirá para mantener comunicada a las localidades de Colcha y demás, de la ocurrencia de grandes eventos que puedan comprometer su seguridad física.



Fotografía 8.99 Carretera Acomayo-Pitumarca, zona donde se presenta asentamiento en el talud superior de la carretera por efectos de un deslizamiento activo.



Fotografía 8.100 Km. 24 de la carretera Acomayo-Pitumarca, con taludes de corte subverticales en capas rojas. Las caídas de material están controladas por la estratificación de las capas de roca, la familia de fracturas y la dirección del trazo de la carretera.



Figura 8.28 Quebrada Saramayo donde se presentan derrumbes y deslizamientos reactivados que producen el asentamiento de la carretera hacia la localidad de Colcha; distrito Acos.

Cuadro 8.12
Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Canas

N°	Sector (distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
69	Carretera Sicuani- El Descanso, tramo Villa María- Chacaroni (Langui) Canas	Derrumbes Flujo de detritos	8402770	252295	Tramo carretero (Km. 14 al Km. 22) entre la comunidad de Villa María y Pilcurani trazado en la ladera de los cerros Lloco y Liallahui, estos cerros están cortados por varias quebradas activas por donde discurren huaiicos. Derrumbes en talud superior de carretera trazado en el cerro Liallahui. (Fotografías 8.101, 8.102 y 8.103)	Flujo de detritos pueden afectar viviendas y terrenos de cultivo de las comunidades de Antimarca y Pilcurani; también pueden destruir puentes y cortar la carretera. Material caído obstruye la carretera, asentamientos de la plataforma de la carretera.	Limpeza de cunetas y carretera. Perfilado de talud. Construcción de banquetas o terrazas. Remoción de bloques colgados inestables en la ladera. Limpeza y descolmatado de quebradas que acarrean flujos.
70	Carretera Langui-Layo (Langui, Layo) Canas	Flujo de detritos	8398275	264192	En el lado derecho de la laguna Langui Layo se tienen varios conos deyección depositados por las quebradas por donde discurren flujos de detritos de forma ocasional a excepcional. En las cabeceras de las quebradas se tienen lagunas de origen glaciar. El último evento bajo por la quebrada Quellocaca; esta presenta derrumbes activos en su cabecera, el flujo que bajó desbordó su canal y formo albardones. (Fotografía 8.104)	Ultimo flujo de detritos destruyo terrenos de cultivo y cortó el paso a Layo, en el sector de Caluyo.	Limpeza, profundización y encauzamiento de quebradas.

N°	Sector (distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
71	Irubamba y Tejapampa (Checca) Canas	Flujo de Tierra	8403062	239114	Proceso lento donde el terreno se moviliza hacia las quebradas Colpamayo y Ticopampa, suelo removido, forma hondonadas donde se acumula agua y se forman lagunas, no se distingue una escarpa definida, pero el cuerpo del material desplazado forma una doble lengua. El proceso tiene un ancho aproximado de 1 km y una longitud aproximada de 2.9 km. Compromete secuencias de dolomitas y limoarcillitas del Grupo Maure.	Pueden ser afectadas las viviendas de los poblados de Irubamba y Tejapampa que se asienta en el cuerpo del flujo de tierra. (Figura 8.29) (Interpretado a partir de imágenes satelitales)	Monitorear el flujo de tierra para determinar la tasa de movilidad y deformación del suelo, estar alerta ante el aumento de estos valores. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.
72	Orocoja y Caracota (Checca) Canas	Deslizamiento rotacional	8400306	240523	Mega deslizamiento rotacional activo, con escarpa semicircular de unos 760 m de ancho, longitud de la corona a la punta de 4.0 km; se presenta empuje de terreno hacia el valle del río Checca; el cuerpo del deslizamiento se presenta removido e inestable, formando concavidades donde se acumula agua y forma lagunas, presenta un avance progresivo y retrogresivo a la vez, ya que es posible encontrar una escarpa nueva de 100 m de longitud por encima de la corona principal a una distancia de 400 m. Se observa una escarpa principal y hasta 3 secundarias. El material removido empuja el cauce del río Checca hacia su margen izquierda. Afecta limoarcillitas y dolomitas del Grupo Maure.	Afecta terrenos de cultivo; 2 tramos de carretera, uno de 2.5 km que conecta la localidad de Checca con Quehua y otro de 1.9 km. Pueden resultar afectadas las viviendas de las comunidades de Laramani, Ccarahuito, Orocoja, Wuankuyuta, Caracota y Ventilla que están asentadas en cuerpo del deslizamiento, así como sus habitantes, por otro lado, puede ocasionar un cierre del valle del río Checca. (Figura 8.30) (Interpretado a partir de imágenes satelitales)	En el cuerpo del deslizamiento efectuar: Monitorear la tasa de movimiento. Evitar la formación de lagunas. Reubicar viviendas asentadas en el cuerpo del deslizamiento. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.

N°	Sector (distrito) Provincia	Peligro Geológico	Latitud	Longitud	Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Daños Ocasionados	Recomendaciones
73	Salla y Tarucuyo (Checca) Canas	Flujo de tierra	8400852	243361	Proceso lento que tiene un ancho de 500 m y 2.4 km de longitud, moviliza el terreno ladero abajo; este se encuentra removido y presenta formas cóncavas-convexas. Es posible encontrar manantiales de agua subterránea en el cuerpo del evento. El material movilizado desvía el curso de la quebrada. Compromete secuencias de limoarcillitas y dolomitas del Grupo Maure.	Se tienen varias viviendas dispersas de las comunidades de Salla y Tarucuyo en el cuerpo del flujo de tierra que pueden resultar afectadas con movimientos violentos del terreno; también pueden ser afectados terrenos de cultivo. (Figura 8.31) (Interpretado a partir de imágenes satelitales)	Realizar el monitoreo constante del proceso. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.
74	Tantabamba, Quishuanca y Poyoncco. (Checca) Canas	Deslizamiento rotacional	8404304	233358	Deslizamiento antiguo rotacional de 1.3 km de ancho, 1.7 km de longitud de la corona a la punta; diferencia de altura de 450 m, salto principal de 150 m. Ubicado en la margen izquierda del río Apurímac; el cuerpo del deslizamiento desvió el cauce del río hacia su margen derecha. Actualmente se observa reptación de suelos en el cuerpo del deslizamiento. Presencia de abundantes manantiales de agua en el cuerpo del deslizamiento. Compromete secuencias de rocas del Grupo Tacaza (Tobas líticas, tobas cristalofiditas y conglomerados; brechas y aglomerados).	Las viviendas de los poblados de Tantabamba, Quishuanca y Poyoncco pueden ser afectadas si se producen reactivaciones en el cuerpo del deslizamiento. (Figura 8.32) (Interpretado a partir de imágenes satelitales)	Realizar el monitoreo constante del proceso. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.
75	Jarabamba y Ccollana (Kuntukanki-El Descanso) Canas	Flujo de Tierra	8398120	245436	Proceso activo de unos 350 m de ancho y 2.1 km de longitud, produce el avance progresivo del suelo pendiente abajo, formando una topografía cóncavo-convexa. Compromete secuencias del Grupo Maure (conglomerados, areniscas arcósicas; areniscas y limoarcillitas rojas). (Figura 8.33) (Interpretado a partir de imágenes satelitales)	El desplazamiento violento de material puede afectar las viviendas asentadas en el cuerpo del deslizamiento, así como la generación de un flujo rápido puede afectar a las viviendas de los poblados de Jarabamba y Ccollana.	Realizar el monitoreo constante del proceso. Elaborar planes y rutas de evacuación hacia zonas seguras.



Fotografía 8.101 Derrumbe en el talud superior entre el Km. 14+300 y el 15+900 de la carretera Sicuani-El Descanso-Espinar.



Fotografía 8.102 Huaico que corta la cruza la carretera por medio de badén, sector de Antaimarca.



Fotografía 8.103 Flujo de detritos en el sector de Porvenir, Km. 19 de la carretera Sicuani-Espinar.



Fotografía 8.104 Flujo de detritos en el sector de Caluyo fomo albardones, carretera Langui-Layo.

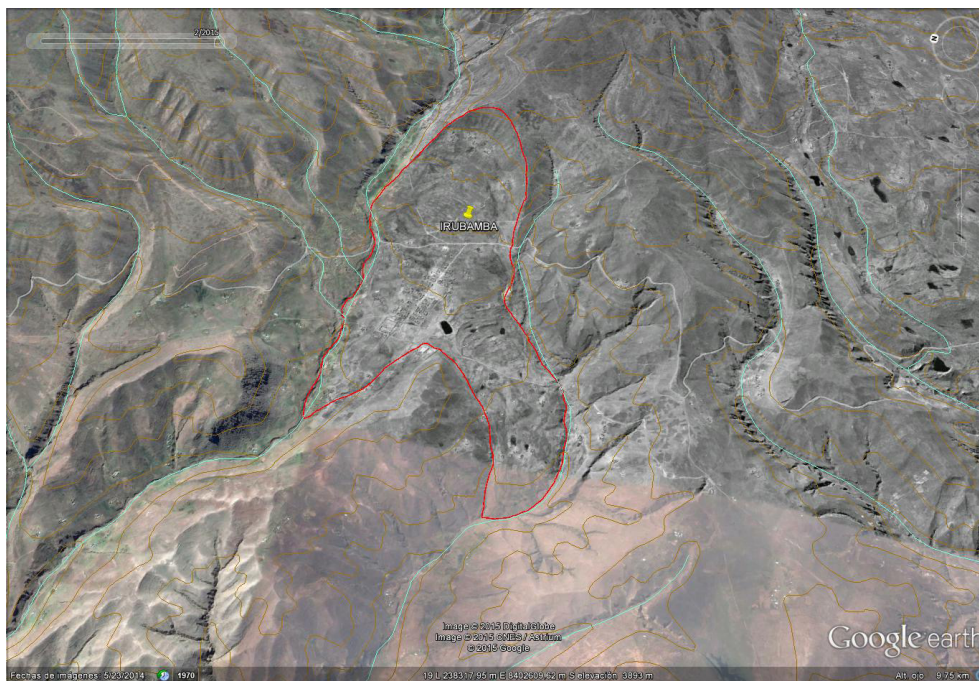


Figura 8.29 Vista del flujo de tierra en los sectores de Irubamba y Tejapampa, limitados con línea roja; distrito Checca.



Figura 8.30 Vista del deslizamiento activo de Orcoja y Caracota, localizado muy cerca de la localidad de Checca.

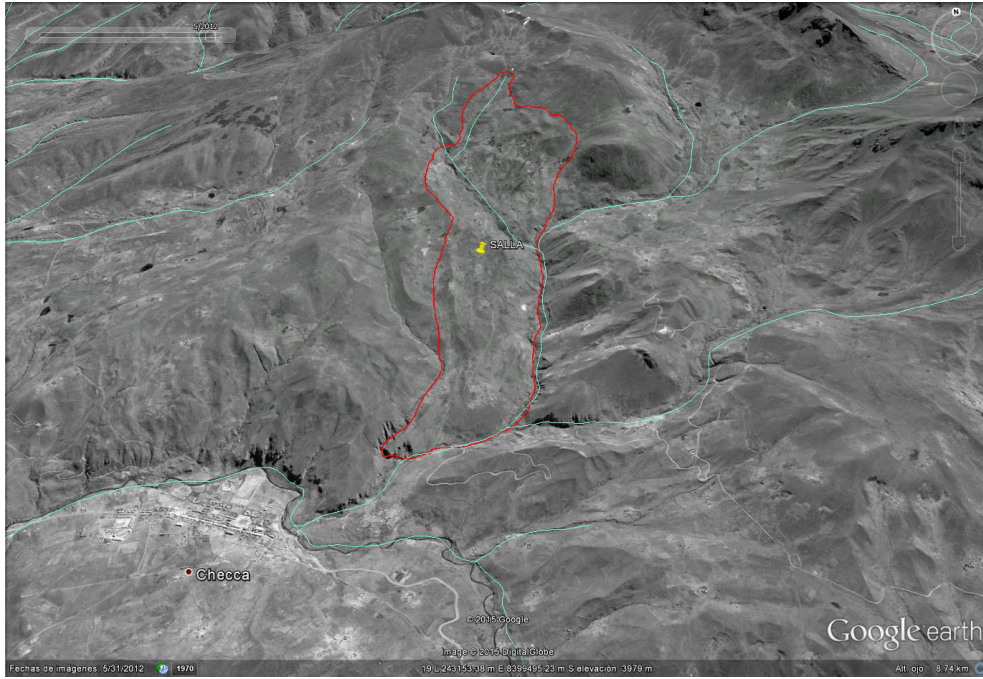


Figura 8.31 Imagen de Google Earth donde se delimita con línea roja el flujo de tierra en las localidades de Salla y Tarucuyo, muy cerca de la localidad de Checca.

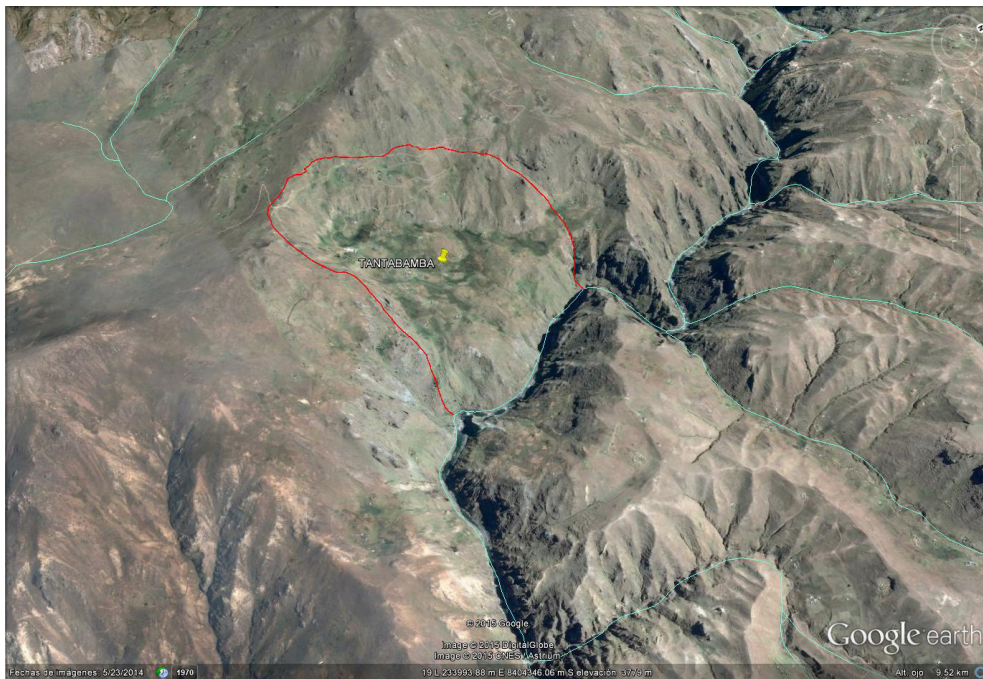


Figura 8.32 Vista del mega deslizamiento en el sector de Tantabamba, limitado con línea roja; distrito de Checca.

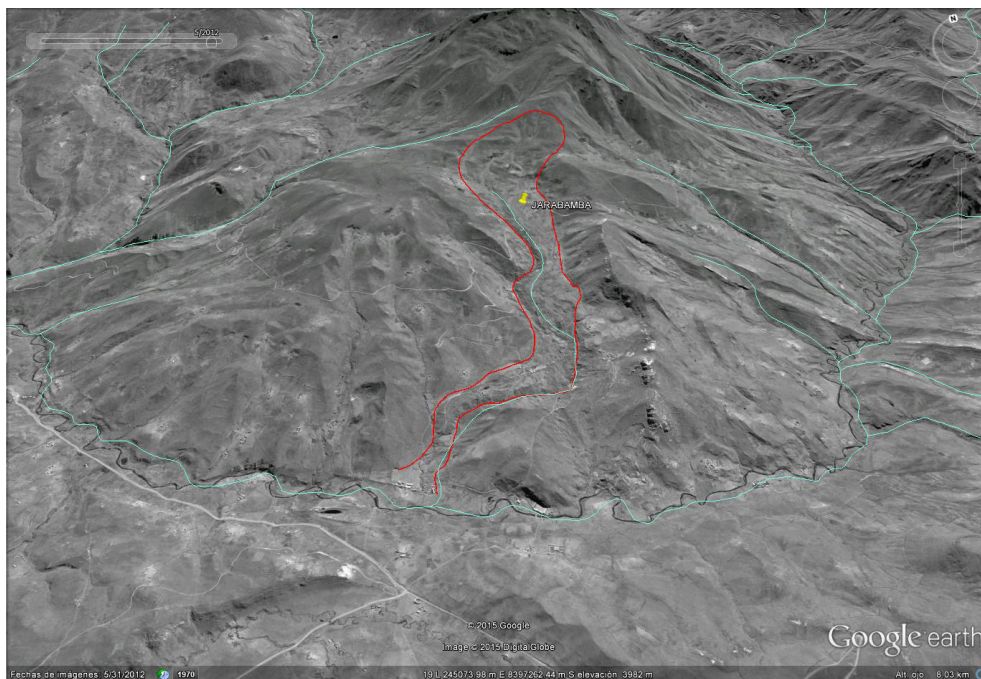


Figura 8.33 Imagen de Google Earth donde se delimito el flujo de tierra de Jarabamba (línea roja), en la imagen también es posible observar otros eventos de flujos de tierra de menor dimensión en el lado izquierdo de la zona demarcada.

CAPÍTULO IX

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS

9.1 GENERALIDADES

La utilización de un área para un determinado uso, ya sea agrícola, de reserva forestal, ganadería, industrial extractivo o urbano, modifica o conserva las condiciones naturales de estabilidad de las laderas, influye en la aceleración de los procesos erosivos y amplía el radio de acción de los fenómenos de movimientos en masa.

Se puede decir, entonces, que la estabilidad de las laderas está condicionada por muchos factores intrínsecos y extrínsecos, los cuales, al ser modificados o alterados, influyen directamente en la seguridad de las laderas. Los factores que influyen en la inestabilidad de las laderas se pueden clasificar como naturales o antrópicos.

Factores naturales. Ligados a las condiciones intrínsecas del terreno como el tipo de litología (suelo o formaciones superficiales, substrato rocoso, etc.), pendiente del terreno, precipitaciones pluviales, movimientos sísmicos, entre otros.

- La litología que caracteriza al substrato puede estar dominada por fracturamientos, que resultan de esfuerzos y otros procesos; además, si el macizo rocoso está meteorizado, la roca es de mala calidad. Por otro lado, la alternancia de rocas con diferente competencia, como los conglomerados o las areniscas intercalados con limolitas y lutitas (formaciones Casapalca, Acobamba, Ambo, Huanta, etc.), puede generar movimientos en masa (intercalación de rocas fuertes y rocas débiles).
- Los suelos o depósitos superficiales como los coluviales y residuales cubren las laderas con ángulos de 5 a 35°; se presentan poco compactados y son susceptibles a la generación de fenómenos de movimiento en masa, por ejemplo, cuando se realizan cortes de talud (construcción de caminos, canales y otros). Existen también depósitos de tipo aluvial que al ser erosionados pueden generar derrumbes y deslizamientos.
- Las pendientes naturales del terreno pueden ser desde muy bajas (< 5°) en fondos de valles, terrazas y terrenos planos ondulados; o tener valores bajos (5-15°) en laderas con pendiente media en colinas y montañas, y pendientes medias a muy fuertes (> 15°) en laderas de montañas, acantilados y escarpas de valles. Las zonas

donde se presenta la mayor cantidad de movimientos en masa son las últimas.

- Las lluvias de gran intensidad (sean de corta, moderada o larga duración) se infiltran y ocasionan el incremento de la presión intersticial; así el peso unitario de los materiales humedecidos incrementa el grado de inestabilidad de los materiales de las laderas. La región se caracteriza por presentar un régimen de lluvias estacionales que se producen entre los meses de noviembre-abril, cuyos valores promedio normales se alteran cuando se presentan lluvias excepcionales o por el fenómeno de El Niño, haciendo que los terrenos o suelos pierdan estabilidad y se generen fenómenos de movimientos en masa.
- Las aguas de escorrentía originan erosión de fondo y lateral, así como desestabilización de las márgenes; ocurren también desprendimientos que incrementan material suelto en los lechos de las quebradas y valles de ríos principales, los cuales conforman la carga sólida de los flujos de detritos (huaicos) que se forman cuando se presentan lluvias fuertes.
- Los tipos de cobertura vegetal existentes en la región, así como el grado de intervención (forestación o deforestación) al cual están sujetos, determinan el nivel de protección que presentan las laderas.

Factores antrópicos. Estos se encuentran relacionados con las actividades realizadas por el hombre (la agricultura, el pastoreo, la ocupación antrópica, la construcción de carreteras, entre otros).

- Cuando se construyen viviendas o se habilitan áreas donde hay cultivos, el suelo se altera y pierde su perfil.
- Adición de sobrecarga a zonas que presentan terrenos inestables (presencia de un movimiento en masa activo o antiguo), por la construcción de viviendas o infraestructura de desarrollo importante.
- La deforestación se origina por la demanda de áreas de terreno cultivable o por la extracción de madera, lo cual ocasiona la pérdida de cobertura natural de los suelos que proveía protección.
- Modificación de los taludes por la construcción de carreteras que permiten la comunicación con las diferentes comunidades que se encuentran en la zona.

- El uso de un sistema de riego inadecuado. Cuando el riego es en exceso produce la sobresaturación de los terrenos, haciéndolos susceptibles a la generación de movimiento en masa.
- Modificación y/o pérdida del perfil del suelo, vegetación y drenaje superficial durante las operaciones mineras. Desmonteras, relaveras, construcción de carreteras, campamentos, oficinas, etc.

9.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS PARA MOVIMIENTOS EN MASA

Esta sección se basa principalmente en la información obtenida del Manual de ingeniería de taludes (Ayala, & Andreu, 2006) y del Estudio de riesgos Geológicos del Perú, Franja N.º 1 (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

En este acápite se dan algunas propuestas generales de solución a los problemas por movimientos en masa que se encuentran en la región, con la finalidad de reducir los daños que puedan generar, o mejor aún para reducir la ocurrencia de nuevos eventos.

Se hace énfasis en las medidas estructurales de estabilización por procesos constructivos, los cuales se recomienda que sean empleados en terrenos potencialmente inestables o con movimientos de laderas activas, siempre y cuando la velocidad del mismo lo permita. De forma general la selección de un método constructivo de estabilización para cada caso, dependerá de las características del suelo y su movimiento, incluyendo para este último el tipo, tamaño, volumen, velocidad, profundidad de la superficie de falla, geometría de la ladera, disponibilidad de materiales y accesibilidad al sitio.

9.2.1 Medidas para deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas

Las medidas correctivas se pueden realizar en. 1) taludes en construcción, 2) laderas que tienen pendientes fuertes y es necesaria su estabilización, 3) para estabilizar fenómenos de rotura, sobre todo aquellos que pueden trabajarse a nivel de construcción. Para definir la solución ideal es necesario valorar diferentes parámetros, sean de tipo constructivo o económico.

a) Corrección por modificación de la geometría del talud

Cuando un talud es inestable o su estabilidad es precaria se puede modificar su geometría con la finalidad de obtener una nueva disposición que resulte estable. Esta modificación busca lograr al menos uno de los dos efectos siguientes:

- Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa.

- Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura.

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento y lo segundo incrementando el volumen en el pie del mismo.

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes.

Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.

Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área, el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

Construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como una medida independiente (Figuras 9.1 y 9.2).

El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud, pudiéndose estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta además como un elemento resistente propiamente dicho.

Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante, pues en caso contrario su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud, para ello puede recurrirse al empleo de membranas geotextiles.

Tratamiento de taludes con escalonamiento. Es una medida que puede emplearse tanto cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes de que este se produzca. Su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud, retiene las caídas de fragmentos de roca, indeseables en todos los casos, y si se dispone en ellos zanjas de drenaje evacuará las aguas de escorrentía, disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales (Figura 9.3).

Este escalonamiento se suele disponer en taludes en roca, sobre todo cuando se encuentra meteorizada y fracturada y cuando es importante evitar las caídas de fragmentos de roca, como con los taludes ubicados junto a vías de transporte.

b) Corrección por drenaje

Este tipo de corrección se efectúa con el objeto de reducir las presiones intersticiales que actúan sobre la superficie de deslizamiento (potencial o existente), lo que aumenta su resistencia y disminuye el peso total, y por tanto las fuerzas desestabilizadoras.

Las medidas de drenaje pueden ser de dos tipos:

Drenaje superficial. Su fin es recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, para así evitar su infiltración (Figura 9.4).

Las aguas de escorrentía se evacúan por medio de zanjas de drenaje (cunetas de coronación), impermeabilizadas o no, y aproximadamente paralelas al talud. Estas deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de la misma, de manera que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no. El cálculo de la sección debe hacerse con los métodos hidrológicos.

Drenaje profundo. La finalidad es deprimir el nivel freático con las consiguientes disminuciones de las presiones intersticiales. Para su uso es necesario conocer previamente las características hidrogeológicas del terreno (Figura 9.5).

Se clasifican en los siguientes grupos:

b.1) Drenes horizontales. Se encuentran perforados desde la superficie del talud y son llamados también drenes californianos. Consisten en taladros de pequeño diámetro, aproximadamente horizontales, entre 5 y 10°, que parten de la superficie del talud y que están generalmente contenidos en una sección transversal del mismo (Figuras 9.5 y 9.6).

Sus ventajas son estas:

- Su instalación es rápida y sencilla.
- El drenaje se realiza por gravedad.

- Requieren poco mantenimiento.
- Es un sistema flexible que puede readaptarse a la geología del área.

Sus desventajas son estas:

- Su área de influencia es limitada y menor que en el caso de otros métodos de drenaje profundo.
- La seguridad del talud hasta su instalación puede ser precaria.

b.2) Galerías de drenaje. Se ubican generalmente paralelas al talud y a bastante profundidad.

Son galerías excavadas en el terreno a una distancia considerable de la superficie. Constituyen un sistema bastante efectivo pero muy caro, por lo que su uso solo es recomendable en situaciones críticas y en taludes de gran altura. Para aumentar su radio de acción, es necesario instalar drenes perforados desde la galería, aumentando así su radio de acción y la efectividad del sistema de drenaje (Figuras 9.7 y 9.8).

Dentro de sus ventajas se cuentan las siguientes:

- Tienen mayor capacidad drenante, debido a su gran sección transversal.
- Son apropiadas para operaciones a largo plazo, dado que el drenaje se realiza por gravedad.
- Sirven para determinar la calidad del terreno.
- No afectan a la superficie del terreno.
- Son apropiadas para zonas de climas fríos debido a que se ubican a gran profundidad.

b.3) Zanjas con relleno drenante, dispuestas en la superficie del talud o al pie de él. Consisten en zanjas rellenas de material drenante, excavadas en el talud o más allá del pie del mismo y cuya acción drenante se limita a profundidades pequeñas (Figura 9.9).

Pueden ser de dos tipos:

Zanjas de talud. Son las que siguen la línea de máxima pendiente del talud y se aplican cuando los deslizamientos están situados a poca profundidad (Figura 9.10).

Zanjas horizontales. Son paralelas al talud y se sitúan al pie de este.

Son útiles los drenes en forma de espina de pescado (Figura 9.11), que combinan una zanja drenante según la línea de máxima pendiente con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas críticas debe tener buena vigilancia.

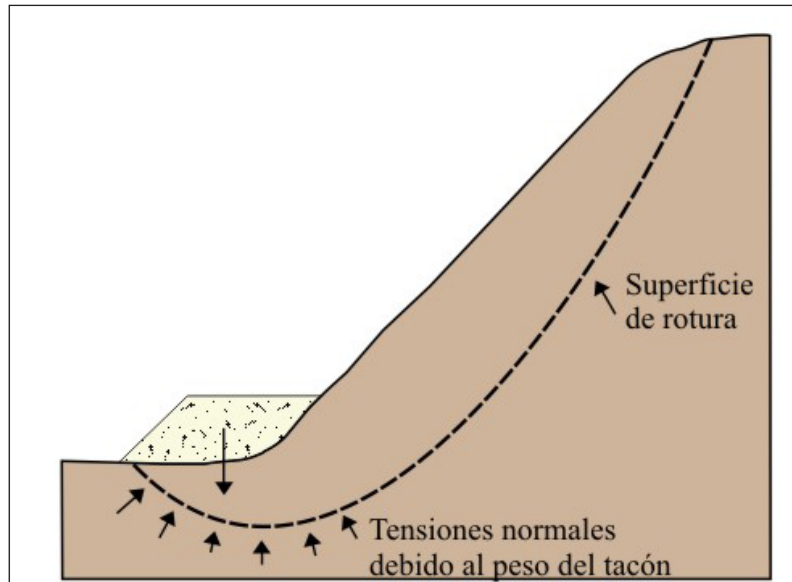


Figura 9.1 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

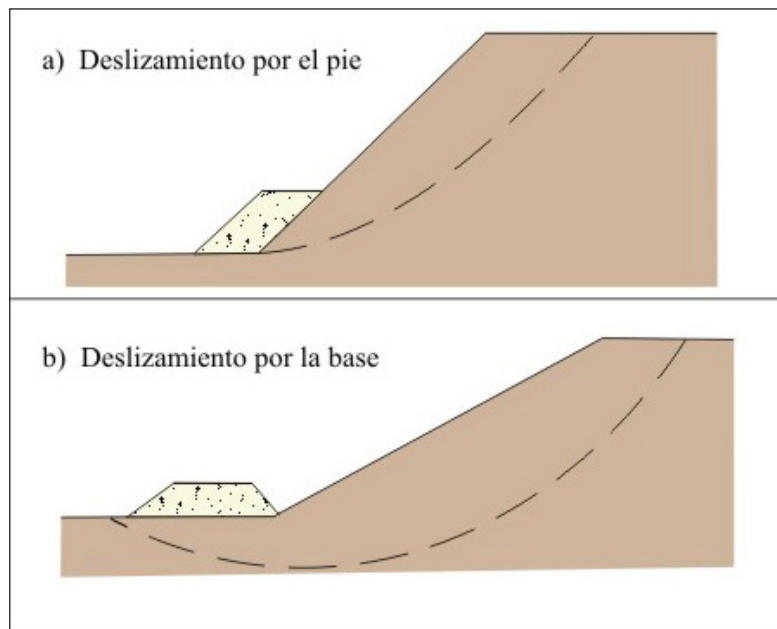


Figura 9.2 Colocación de escollera (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

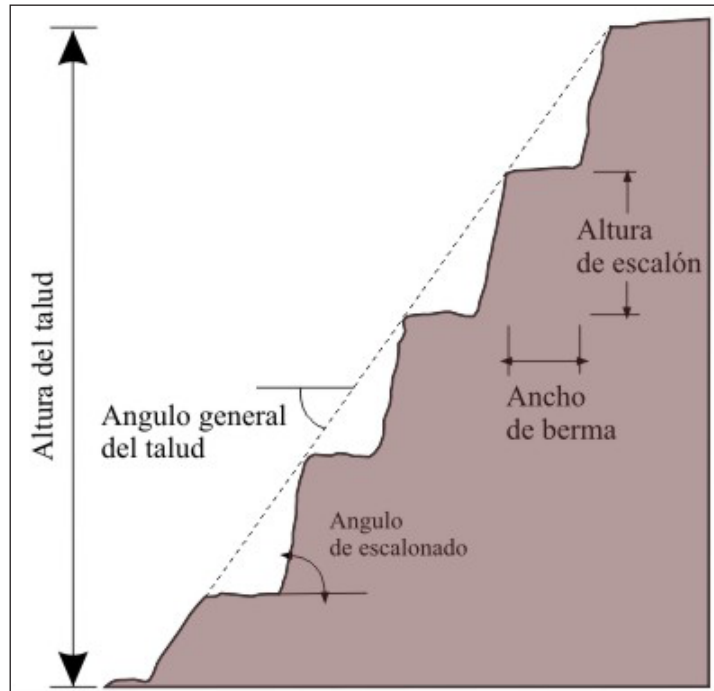


Figura 9.3 Esquema de un talud con bermas intermedias(Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

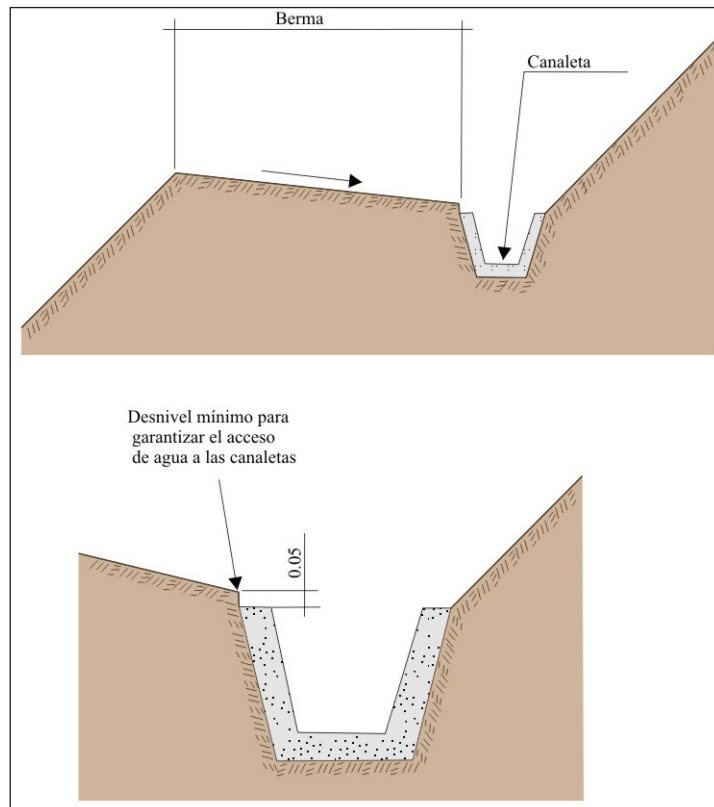


Figura 9.4 Detalle de una canaleta de drenaje superficial (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

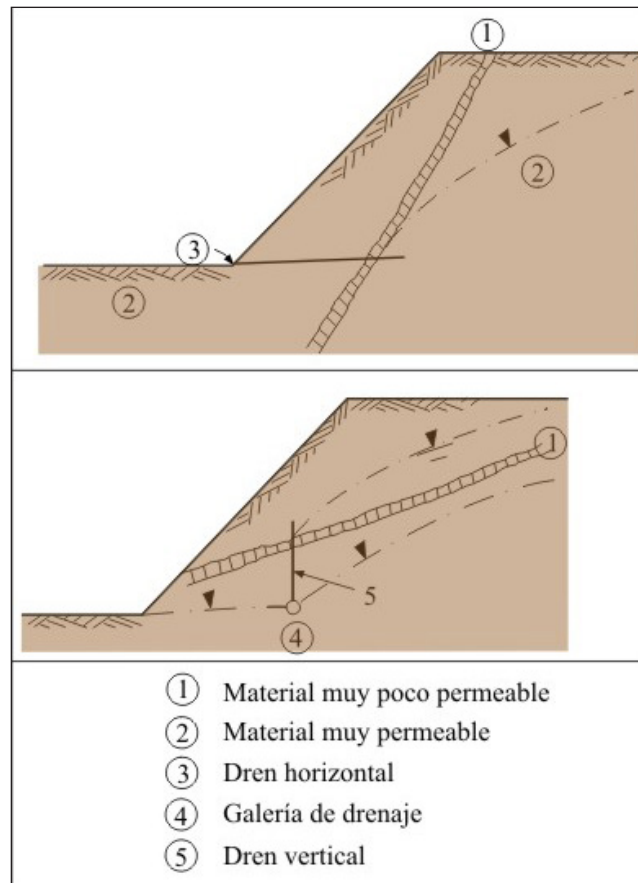


Figura 9.5 Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

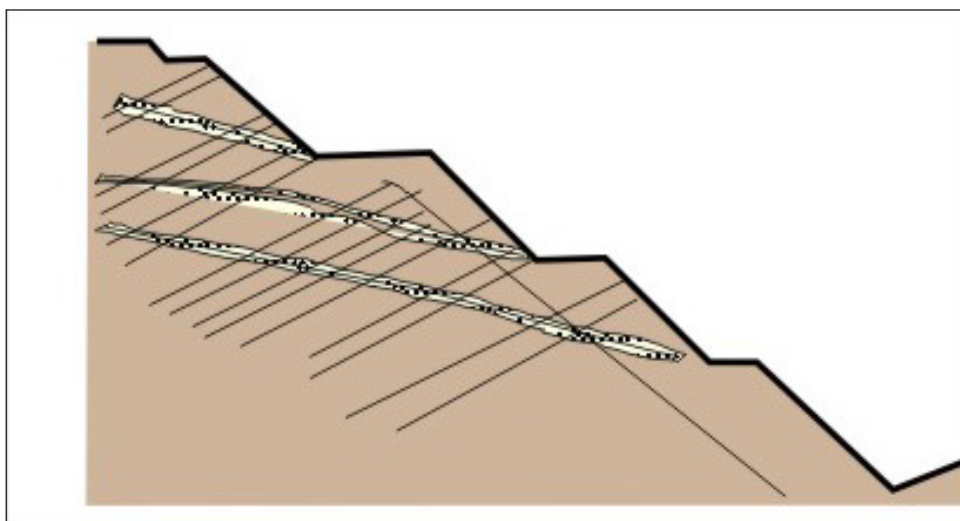


Figura 9.6 Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

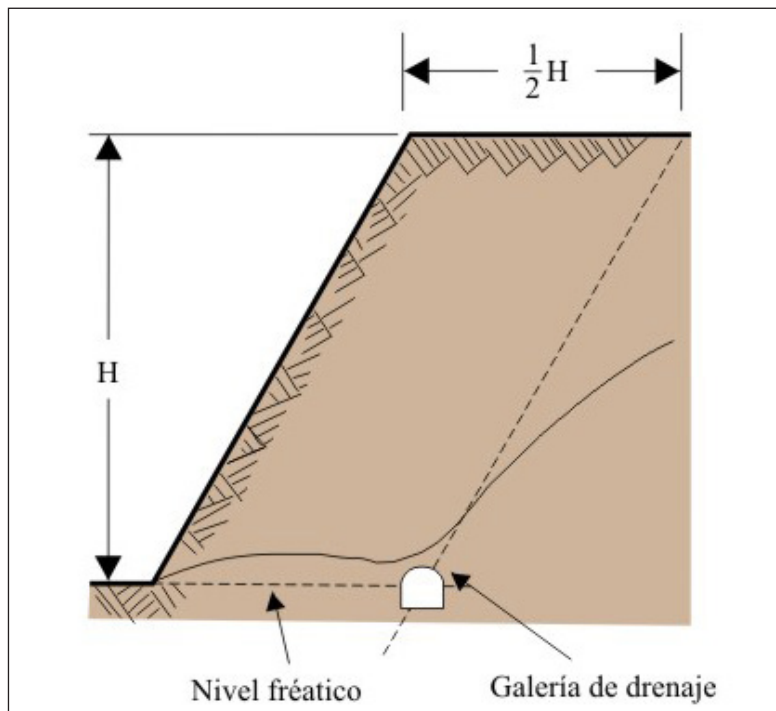


Figura 9.7 Posición óptima de una galería de drenaje (Hoek & Bray, 1997).

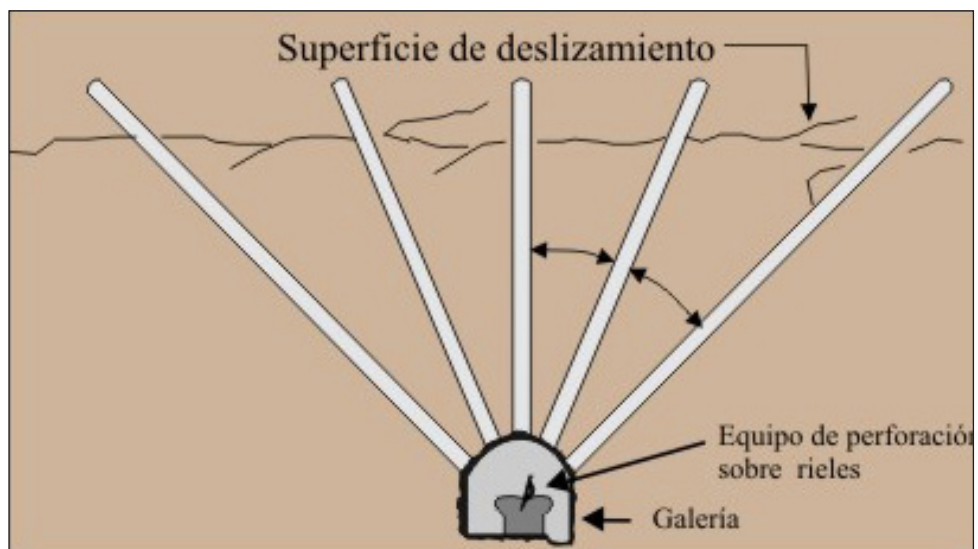


Figura 9.8 Drenaje de superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje.

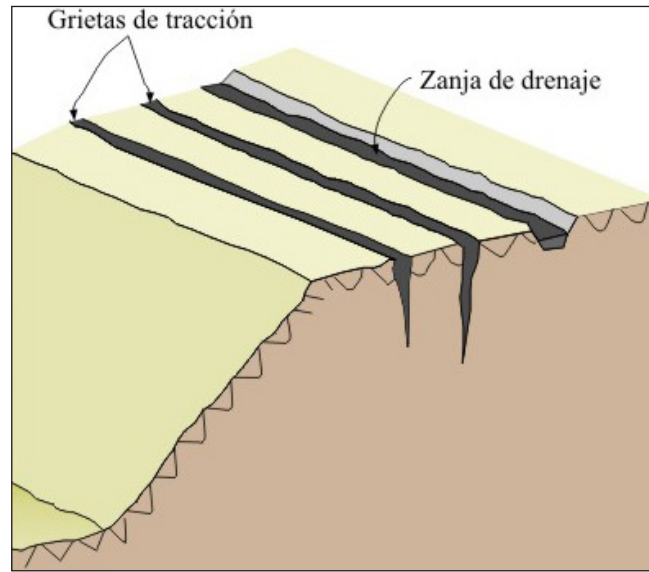


Figura 9.9 Disposición de zanjas de drenaje en un talud (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

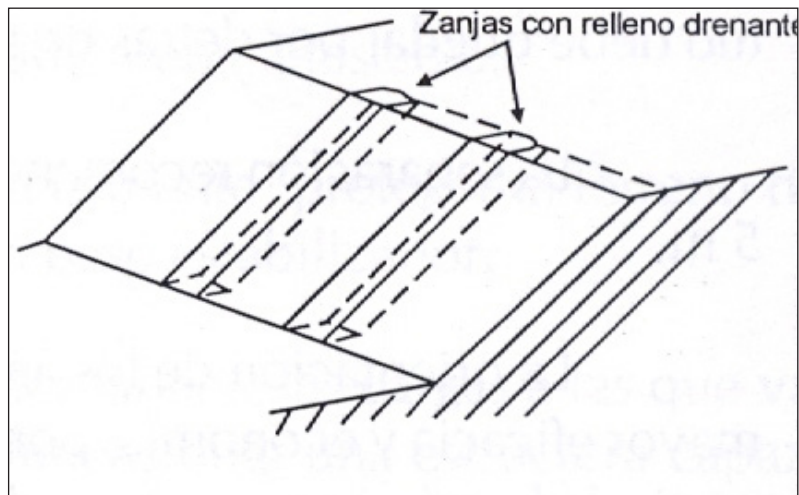


Figura 9.10 Zanjas de talud (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

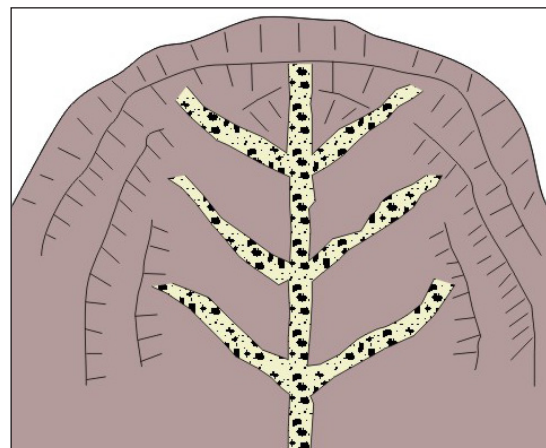


Figura 9.11 Drenaje tipo espina de pescado (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

C) Corrección por elementos resistentes

C.1) Anclajes. Los anclajes son armaduras metálicas, alojadas en taladros perforados desde el talud y cementadas (Figura 9.12), que se emplean como medida estabilizadora de taludes tanto en roca como en terreno suelto. La longitud de los anclajes varía entre 10 y 100 m, y el diámetro de la perforación entre 75 y 125 mm.

Son elementos que trabajan a tracción y favorecen la estabilidad del talud de dos formas.

- Proporcionan una fuerza contraria al movimiento de la masa deslizante.
- Producen un incremento de las tensiones normales en la superficie de rotura existente o potencial, lo que provoca un aumento de la resistencia al deslizamiento en dicha superficie.

En un anclaje se distinguen tres partes fundamentales:

- Zona de anclaje. Es la parte solidaria al terreno, encargada de transferir los esfuerzos al mismo.
- Zona libre. Es la parte en que la armadura se encuentra independizada del terreno que la rodea, de forma que puede deformarse con total libertad al ponerse en tensión.
- Cabeza. Es la zona de unión de la armadura con la placa de apoyo.

Cuando se proyecta instalar anclajes en un talud es necesario poseer información detallada sobre las características geológicas y resistentes del terreno.

La elección del tipo de anclaje (activo, pasivo o mixto; bulones o cables) debe regirse según criterios técnicos.

Es importante tener en cuenta la situación de la zona de anclaje que debe estar incluida en terreno estable o, lo que es lo mismo, toda su longitud debe quedar detrás de la posible superficie de rotura.

Además, se recomienda entre anclajes una separación por razones constructivas de 2 y 5 m. La orientación de los anclajes en planta y alzado debe establecerse buscando la mayor eficacia y economía; por razones constructivas es recomendable que descendan a partir de la cabeza con una inclinación del orden de 10 a 15°. La dirección más económica depende de diversos factores; entre ellos, se encuentra la posición de la roca que se desea estabilizar.

C.2) Muros. Se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (Figura 9.13).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención

al pie (Figura 9.14). Esta forma de actuar puede tener varios inconvenientes. En primer lugar, la construcción del muro exige cierta excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Por otra parte, el muro no puede ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo de este.

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento ya que en caso contrario el deslizamiento sobrepasa al muro. Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos.

Por todo ello, en taludes con signos evidentes de inestabilidad puede ser más apropiado realizar el muro con el fin de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligatorio. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte. En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro frente al costo de una sobreexcavación requerida si aquel no se realiza. La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (Figura 9.15)

- Muros de sostenimiento. Se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente.
- Muros de contención. Generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sería probablemente inestable sin la acción del muro.
- Muros de revestimiento. Su misión consiste esencialmente en proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador.

Cuando se proyecta un muro se debe determinar las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

Las comprobaciones que deben efectuarse en un caso típico son las siguientes:

- Estabilidad general del sistema muro-terreno al deslizamiento; la estabilidad general del muro incluye la estabilidad al vuelco y al deslizamiento.
- Resistencia del terreno del cimientto.
- Ausencia de tracciones en la base del muro.
- Resistencia estructural, que consiste en comprobar que las tensiones máximas en el muro no sobrepasen los valores admisibles.

Tipos de muros

Muros de gravedad. Son los muros más antiguos, conforman elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (Figuras 9.16 A y B, 9.17 y 9.18).

Se construyen de hormigón en masa, pero también existen de ladrillo o mampostería y se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeño tamaño. Sus grandes ventajas son su facilidad constructiva y bajo costo.

Muros aligerados. Son muros de hormigón armado y existen dos tipos fundamentales.

a) Muros en L. Son aquellos en los que 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 (Figuras 9.19 y 9.20).

La relación H/B está comprendida generalmente entre 1.5 y 2 y la longitud de zarpa B' suele ser un tercio de B. La presión sobre el cimiento es menor que en los muros de gravedad, por lo que son adecuados para cimentaciones malas. Los esfuerzos sobre cada una de las partes del muro (pantalla vertical, talón y zarpa) se calculan suponiendo que se comportan como vigas en voladizo.

b) Muros con contrafuertes. Los contrafuertes pueden disponerse en el intradós y el trasdós. En el primer caso, lo que hace es aligerar un muro de gravedad suprimiendo ormigón en las zonas que, por estar más próximas al pie, colaboran poco al efecto estabilizador. En el segundo caso se trata realmente de un muro en L reforzado con contrafuertes interiores.

Muros de gaviones. Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (Figura 9.21).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de la base del mismo es muy variable, y suele estar comprendida entre 1.7 y 2.4.

Las ventajas que presenta son estas:

- Instalación rápida y sencilla.
- Estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno.

- Sin problemas de drenaje ya que son muy permeables.
- Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en el caso de un muro de gravedad.

C.3) Pilotes

Las pantallas de pilotes (Figura 9.22) consisten en alineaciones de estos elementos, siendo el espacio entre dos adyacentes lo suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo.

Su empleo en taludes tiene dos aspectos fundamentales:

- Como sostenimiento de taludes excavados tiene la gran ventaja de que pueden instalarse antes de la excavación.
- Como medida estabilizadora de deslizamientos existentes o potenciales, se instalan cerca del pie del talud y presentan la ventaja frente a los muros de contención, de requerir muy poca excavación y de no afectar significativamente el talud durante su construcción.

Los pilotes presentan el inconveniente de tener un costo elevado. En la estabilización de taludes se emplean generalmente pilotes perforados o de extracción. Los pilotes hincados o de desplazamiento se emplean únicamente para estabilizar los deslizamientos superficiales.

Los pilotes se oponen al deslizamiento mediante la transmisión de esfuerzos a las capas inferiores estables. Por lo tanto, las pantallas de pilotes tienen su principal aplicación en aquellos casos en que existe, a una profundidad no excesiva, un estrato de material estable y competente. Los pilotes empleados en taludes suelen ser de hormigón armado. Cuando los esfuerzos a los que van a ser sometidos son de gran magnitud se puede aumentar su capacidad portante mediante el empleo de secciones combinadas: cilindros metálicos rellenos de hormigón y reforzados con perfiles metálicos, o con grupos de cables y barras de alta resistencia e inyectados a presión. En algunas ocasiones se emplean pilotes pretensados. El diámetro de los pilotes que se emplean en taludes varía entre 40 y 120 cm.

C.4) Muros pantalla

Son muros enterrados de hormigón armado, hormigonados in situ. Su acción estabilizadora ante los deslizamientos existentes o potenciales es muy similar a la de las pantallas de pilotes (Figura 9.23). A diferencia de estas, los muros pantalla constituyen elementos continuos.

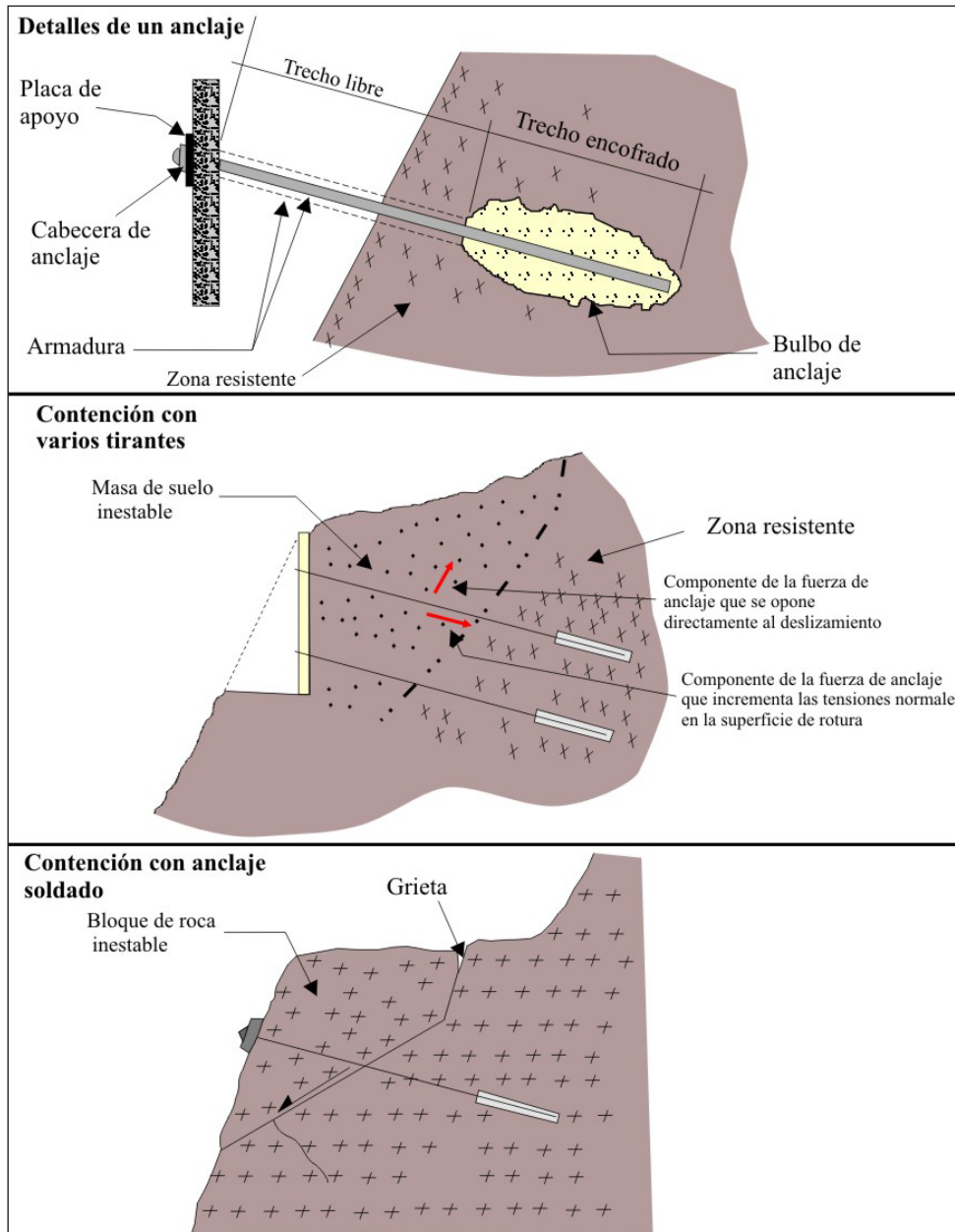


Figura 9.12 Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000)

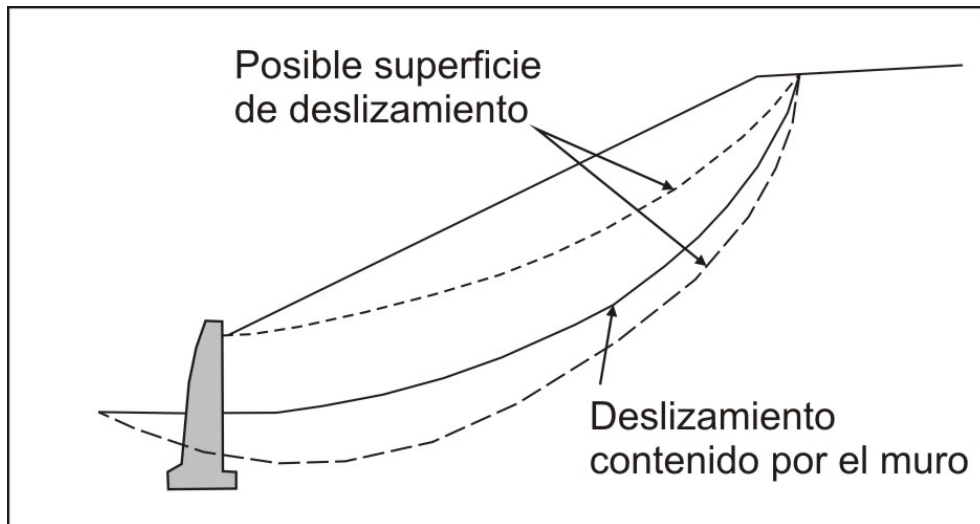


Figura 9.13 Contención de un deslizamiento mediante un muro (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

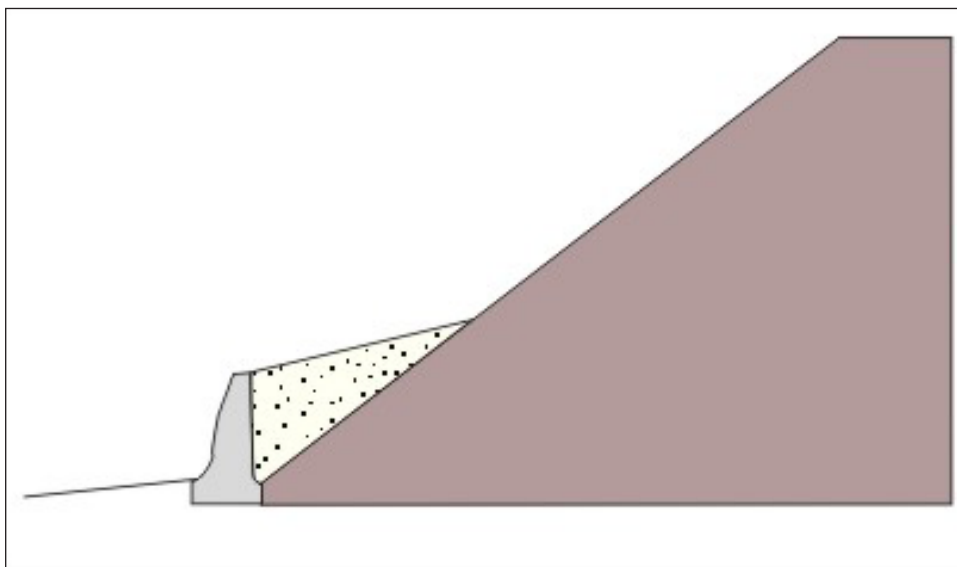


Figura 9.14 Relleno estabilizador sostenido por el muro (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

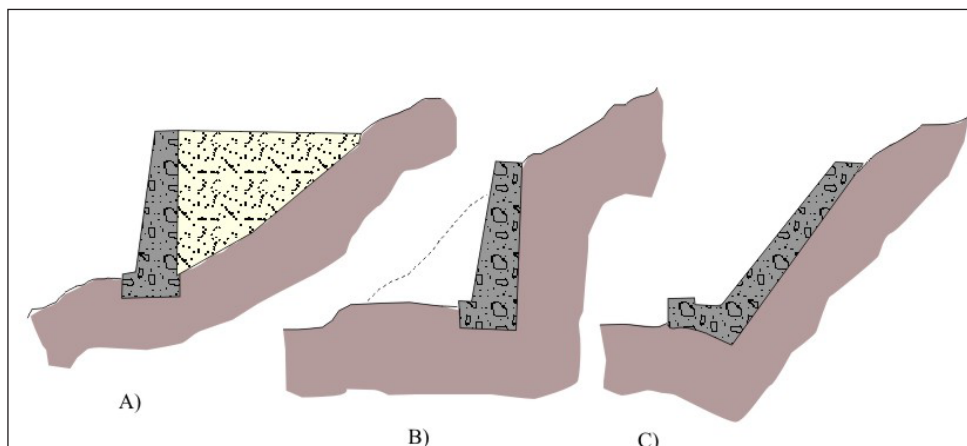


Figura 9.15 a) Muro de sostenimiento. b) Muro de contención. c) Muro de revestimiento. (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

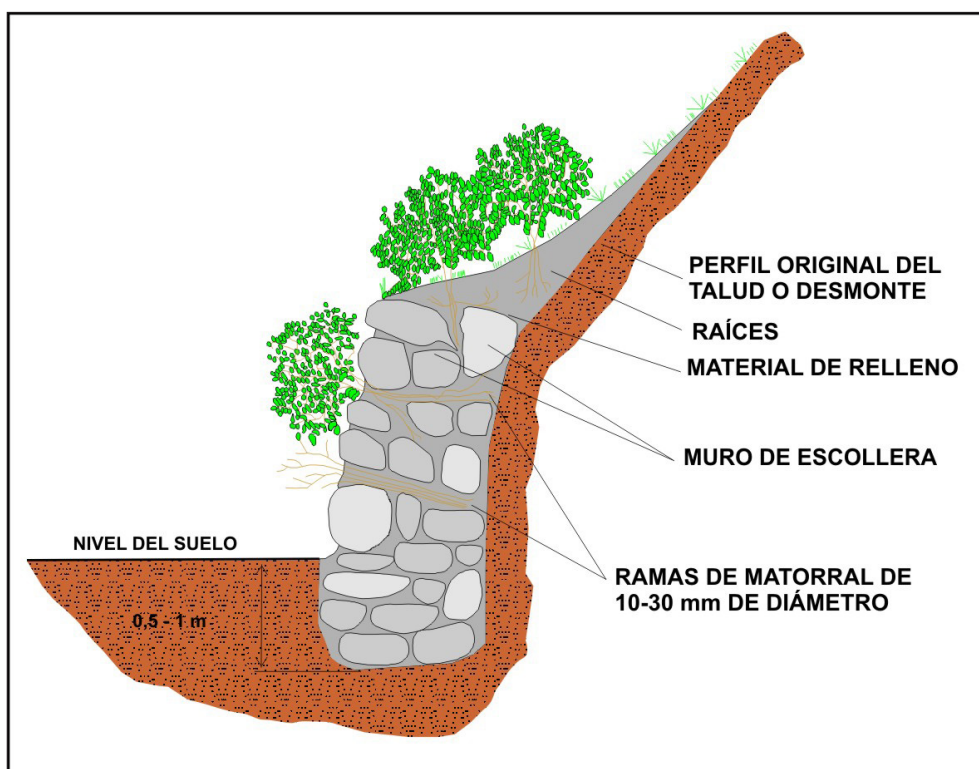


Figura 9.16 A) Muros de gravedad de piedra seca.

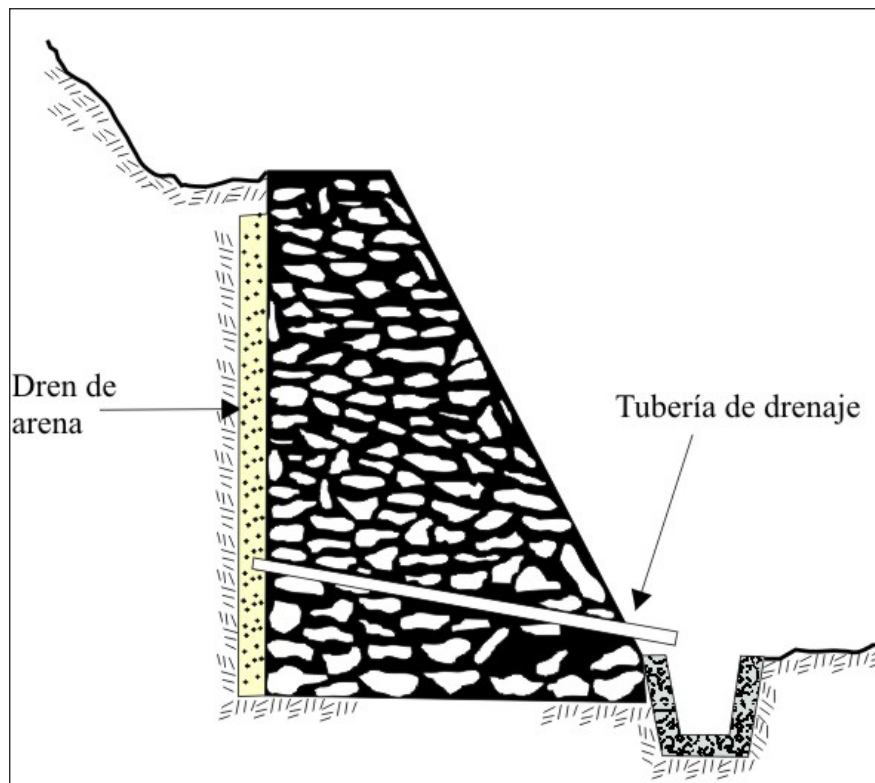


Figura 9.16 B) Muros de gravedad de piedra argamasada (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

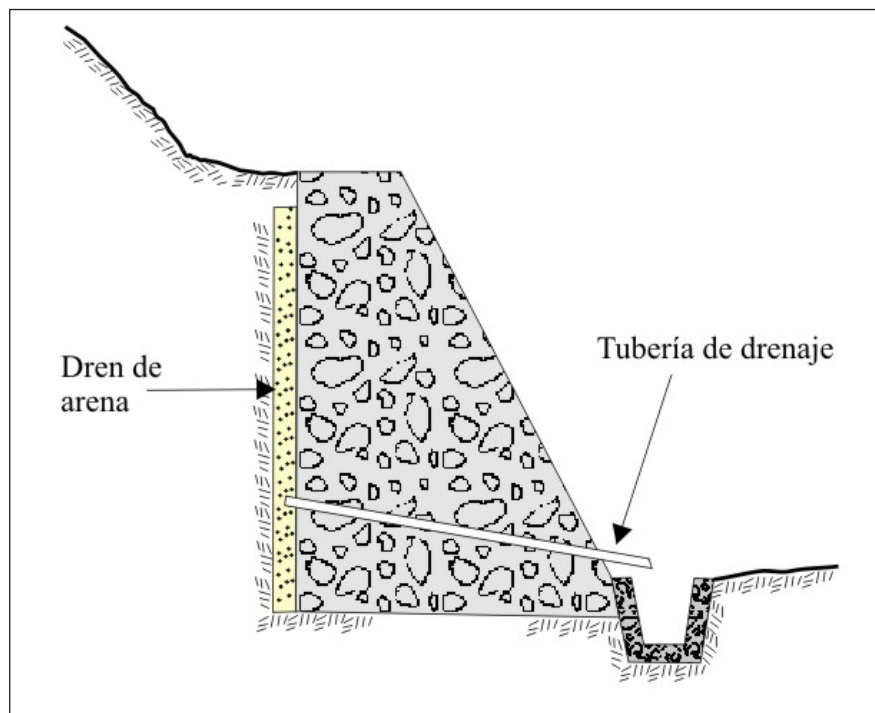


Figura 9.17 Muros de gravedad de concreto ciclópeo (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

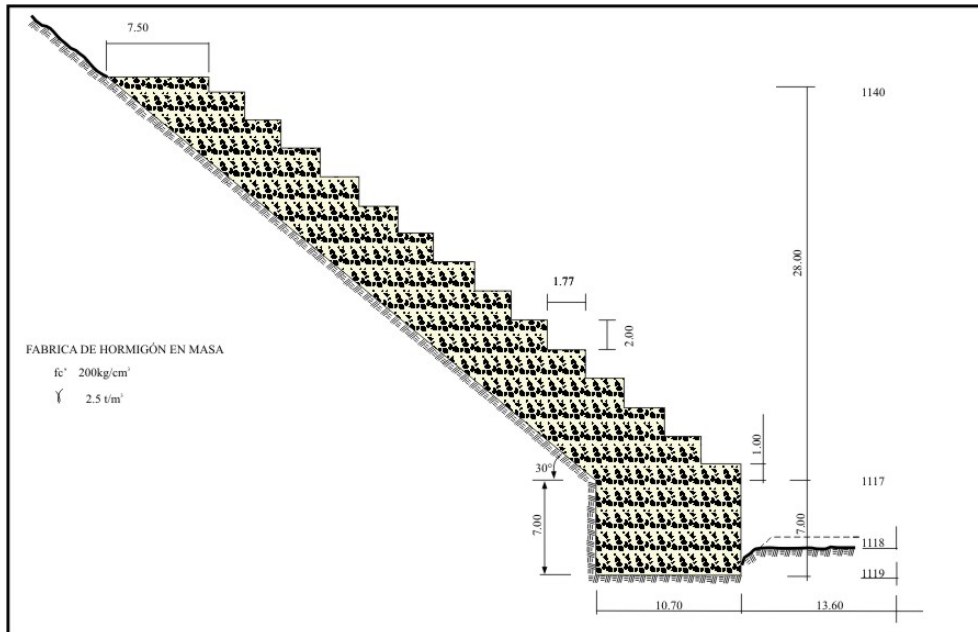


Figura 9.18 Muros de espesor máximo (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

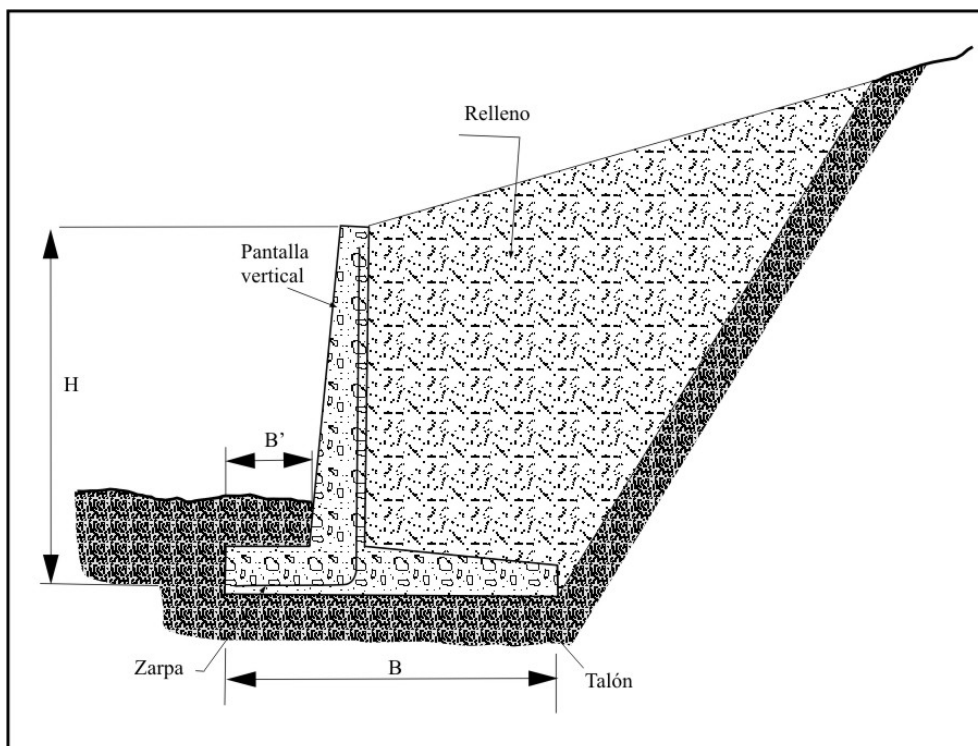


Figura 9.19 Muros en L (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

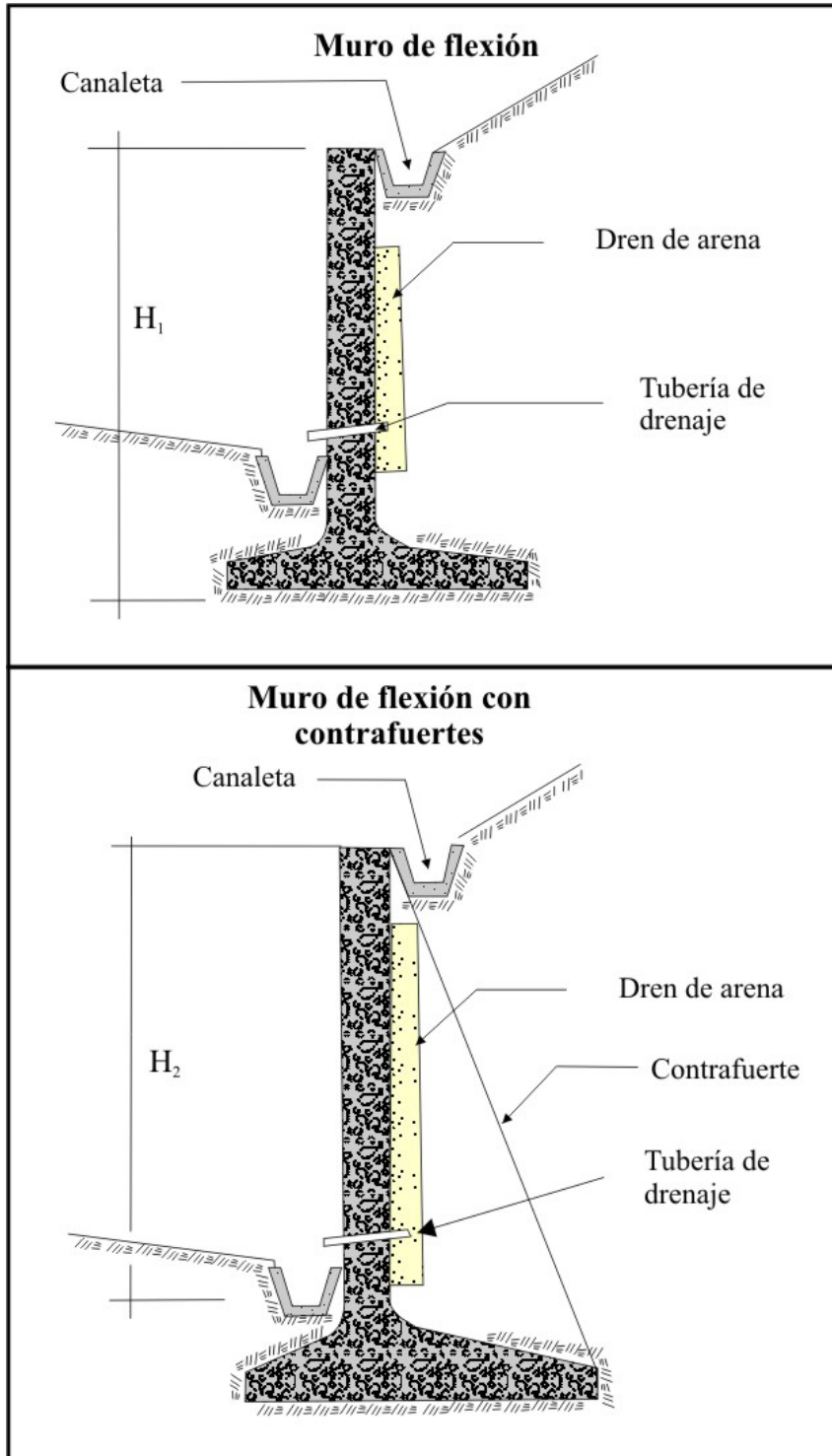


Figura 9.20 Muros de concreto armado tipo flexión (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

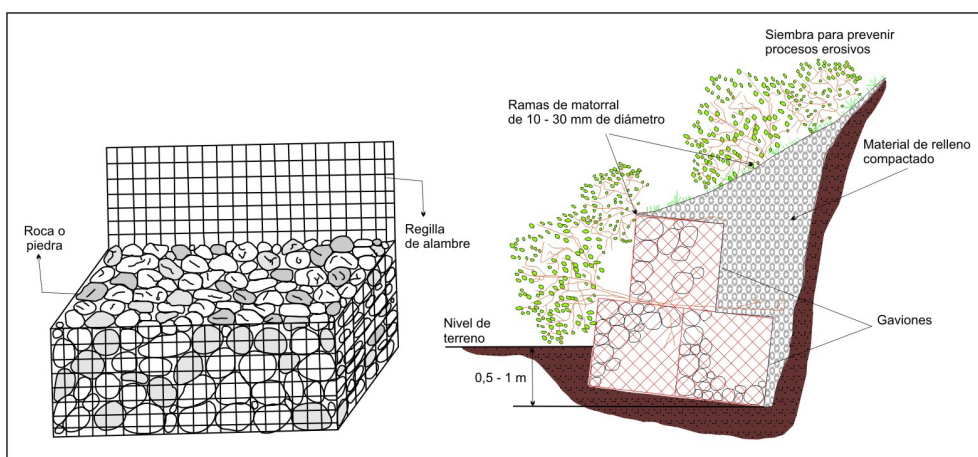


Figura 9.21 Muro de gavión.

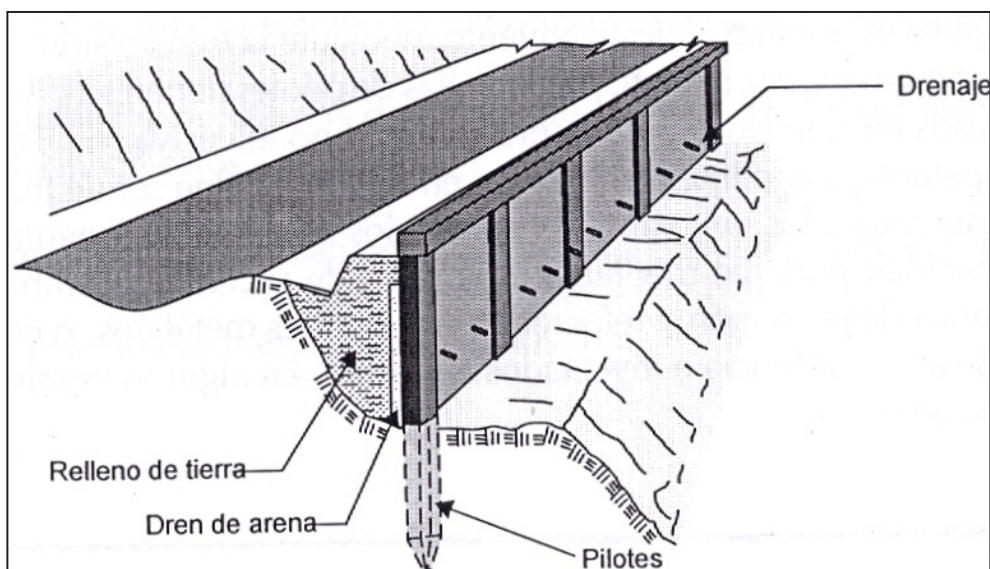


Figura 9.22 Ejemplo de muros con pilotes (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

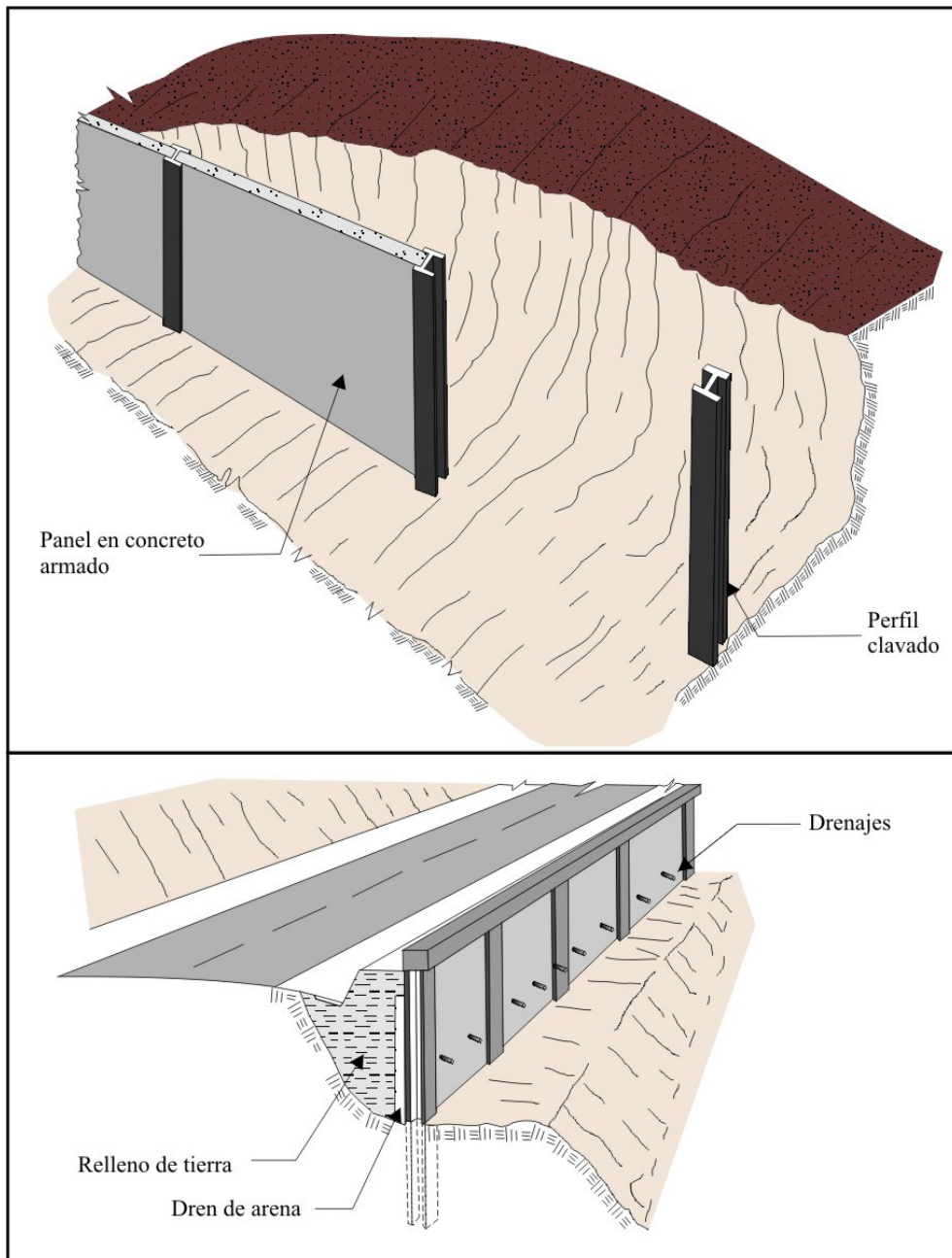


Figura 9.23 Ejemplo de muros de pantalla (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

Como medida estabilizadora de taludes tiene su máxima aplicación frente a las pantallas de pilotes cuando el material inestable y el sustrato son de fácil excavación.

Para construir un muro pantalla se excava una trinchera sin entibación, cuyas paredes se mantienen estables gracias a la utilización de lodos bentoníticos con los que se rellenan las zanjas a medida que se extrae el detritus de la excavación. Una vez colocados los tubos junta o tubos de encofrado, cuya misión es conseguir una buena junta de hormigonado, y una vez instalada la armadura, se procede al hormigonado a través de un conducto que llega hasta el fondo de la zanja. El hormigón va relleno la excavación, y al mismo tiempo desplaza al lodo.

El tamaño del muro depende de las características de la maquinaria y puede alcanzar una profundidad hasta de 40 m. Existen fundamentalmente dos técnicas para la ejecución de la excavación: la excavación con cuchara bivalva y la perforación con circulación inversa.

D) Correcciones superficiales

Las medidas de corrección superficial se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno y tienen fundamentalmente los siguientes fines:

- 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.
- Aumentar la seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales.

Los principales métodos empleados son estos:

d.1) Mallas de alambre metálico

Se cubre con ellas 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 al pie del talud.

Las mallas de fierro galvanizado retienen los fragmentos sueltos de rocas y conducen los trozos desprendidos hacia una zanja en el pie del talud. Son apropiados cuando el tamaño de roca a caer se encuentra entre 0.60 y 1.00 m.

La malla se puede fijar al talud de varias maneras siempre en la parte superior del talud o en bermas intermedias. Como sistemas de fijación pueden emplearse bulones, postes introducidos en bloques de hormigón que pueden a su vez ir anclados o simplemente ser un peso muerto en la parte superior del talud. Durante la instalación se prepara una longitud de malla suficiente para cubrir el talud, con una longitud adicional que es necesaria para la fijación de la malla.

La malla se transporta en rollos hasta el talud, se fija en su parte superior y se desenrolla dejándola caer, y fijándola en la superficie del talud; en la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de piedras.

d.2) Sembrado de taludes

Mantener una cobertura vegetal en un talud produce indudables efectos beneficiosos, entre los cuales destacan los siguientes:

- Las plantaciones evitan la erosión superficial tanto hídrica como eólica, que puede ocasionar la ruina del talud en el largo plazo.
- La absorción de agua por las raíces de las plantas produce un drenaje de las capas superficiales del terreno.
- Las raíces de las plantas aumentan la resistencia al esfuerzo cortante en la zona del suelo que ocupan.

Para sembrar en taludes se emplean hierbas, arbustos y árboles, y se privilegian especies capaces de adaptarse a las condiciones a las que van a estar sometidos (climas, tipo de suelo, presencia de agua, etc.); suelen convenir especies de raíces profundas y de alto grado de transpiración, lo que indica un mayor consumo de agua. Generalmente, la colonización vegetal de un talud se hace por etapas, comenzando por la hierba y terminando por los árboles.

Los suelos arenosos y areno-arcillosos son ventajosos para un rápido crecimiento de la hierba. Las arcillas duras son inadecuadas a menos que se añadan aditivos o se are el terreno. Cuando la proporción de limo más arcilla es superior al 20% se puede esperar un crecimiento satisfactorio, pero si es inferior al 5% el establecimiento y mantenimiento de la hierba resultarán difíciles.

9.2.2 Para zonas de flujos y cárcavas

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

Las zonas donde existen cárcavas de gran longitud y presenten un desarrollo irreversible, donde no se pueden corregir con labores de cultivo, se debe prohibir terminantemente cualquier actividad agrícola. El control físico de zonas con procesos de carcavamiento debe de ir integrado a prácticas de conservación y manejo agrícola de las laderas adyacentes por medio de regeneración de la cobertura vegetal, y el empleo de zanjas de infiltración y desviación entre las principales.

Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan las siguientes:

- El desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (Figuras 9.24-9.27).
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de la región.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (Figura 9.28) asegura su estabilidad, así como, la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles deben contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. También, se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.
- Debe evitarse el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pastos mediante el repoblamiento de pastos nativos, empleando sistemas de pastoreo rotativo y sostenible. También debe evitarse la quema de pajonales.
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de las cuencas.
- Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado (Figura 9.29).
- La remoción de la tierra, para realizar el cultivo, debe ser superficial pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- En las cuencas altas se debe favorecer el cultivo de plantas que requieran poca agua y proporcionen una buena cobertura del terreno para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el terreno.
- El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Los tramos de carretera que cruzan cauces de quebradas, en donde se producen flujos de detritos (huaico) o de lodo, deben de ser protegidos por medio de gaviones para evitar los efectos de los flujos y el socavamiento producido por avenidas en las quebradas. Los gaviones deben ser construidos teniendo en cuenta los caudales máximos de las quebradas y deben ser cimentados a una profundidad de 1 m como mínimo.
- Deben realizarse prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos.
- Deben realizarse trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización; en la selección de árboles a 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 que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración a curvas de nivel con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.
- Deben evitarse el sobrepastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal. Debe realizarse un manejo de las zonas de pasturas mediante el repoblamiento de pasturas nativas, empleando sistemas de pastoreo rotativo y evitando la quema de pajonales.

9.3 OTRAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA DESLIZAMIENTOS Y CÁRCAVAS

El proceso de deslizamientos y cárcavas ocurre esencialmente de forma natural, pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación, etc.) mal desarrollada que acelera el proceso; asimismo, por el socavamiento del río al pie de deslizamientos, la utilización de canales sin revestir, etc. Algunas medidas que se proponen para el manejo de estas zonas son las siguientes:

- En cuanto al manejo agrícola, deben evitarse riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.
- Los canales deben ser revestidos para minimizar la infiltración, saturación y erosión de los terrenos.
- El sistema de cultivo debe ser por surcos en contorno y conectados al sistema de drenaje, para una evacuación rápida del agua.
- No deben construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece a la infiltración y saturación del terreno.

9.4 MEDIDAS PARA EL MANEJO DE SUBCUENCAS CON LECHOS FLUVIALES SECOS

En la región de Ayacucho, principalmente en el extremo occidental que drena hacia el océano Pacífico, existen lechos fluviales y quebradas secas, que corresponden a quebradas de régimen periódico-excepcional, subcuencas con presencia de flujos de detritos (huaicos) ocasionales a excepcionales, que pueden alcanzar grandes extensiones, con pendientes bajas a fuertes; los cuales 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:

- Encauzamiento del canal principal de los lechos fluviales secos, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes (Figura 9.30).
- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos.
- La construcción de obras e infraestructuras que crucen estos cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta la máxima crecida registrada, que permitan el libre paso de huaicos, evitándose obstrucciones y represamientos, con posteriores desembalses más violentos.
- Realizar la construcción de presas de sedimentación escalonadas 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 (Figura 9.31).
- Evitar en lo posible la utilización del lecho fluvial como terreno de cultivo, de modo que se permita el libre discurrir de los flujos hídricos.
- Encauzamiento y dragado de lechos fluviales secos que se activan durante periodos de lluvia excepcional (fenómeno de El Niño), que permitan el libre discurrir de crecidas violentas provenientes de las cuencas media y alta.

9.5 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS PARA INUNDACIONES Y FLUJOS RÁPIDOS

Las medidas de protección para este tipo de peligros pueden ser de dos tipos:

a) Permanentes

- Tratamiento de la cuenca para disminuir el flujo de aguas, por ejemplo, la construcción de andenes, por su forma escalonada impide que el agua corra pendiente debajo de manera violenta y retiene suelos cargados de nutrientes aprovechables para fines agrícolas. Asimismo, debe protegerse la cobertura vegetal, ya que mediante el resembrado de gramíneas y árboles se protege los suelos de la erosión y así recuperam su capacidad de retención del agua.
- Construcción de obras de ingeniería como presas, reservorios de regulación y construcción de canales que permitan mantener ciertas áreas libres de inundaciones.
- Obras de regulación para asegurar el uso económico de las llanuras anegadizas, estudios sencillos que se realicen en estas áreas permitirán determinar los niveles máximos alcanzados en pasadas inundaciones delimitándose las zonas amenazadas por este fenómeno.

b) De emergencia

- Construcción de defensas o refugios y mejoramiento de las existentes.
- Limpieza de canales y acequias.
- Acciones para combatir la inundación o el flujo rápido.
- Evacuación de personas y propiedades de las zonas amenazadas.
- Reprogramación de actividades para reducir las pérdidas e interrupciones ocasionadas por las inundaciones y flujos rápidos.

c) Sistemas de protección contra inundaciones

Deben consistir en.

- Una línea principal de defensa que proteja toda la zona.
- Líneas locales de defensa que protejan diversas partes de la zona, si queda destruida la línea principal de defensa.

Las estructuras de las líneas de defensa de protección contra las inundaciones deben consistir en lo siguiente:

- Diques de defensa (malecones) o terraplenes, erigidos para proteger el terreno situado detrás. Deberá preverse un margen bastante amplio de altura para el caso de que las condiciones de cimentación sean deficientes, con el fin de compensar un exceso de asiento del terraplén.
- Muros de encauzamiento de avenidas, muelles y terraplenes construidos para proteger los asentamientos humanos.
- Compuertas de seguridad para crecidas y un sistema de canales para que el agua de la inundación se encause hacia los embalses provisionales.
- Un sistema de canales, pozos y alcantarillado, con su equipo correspondiente, que influya en el de la capa acuífera subterránea (napa freática).
- Capacidad de bombeo suficiente para evacuar el agua de drenaje en el interior del sistema de diques de defensa.
- Carreteras y otras vías de comunicación para el acceso al sistema de defensa, que permita el tránsito de personas y equipos durante las operaciones de defensa o para los trabajos de mantenimiento.
- Sistemas de comunicación por internet, teléfono y radio.
- Instalaciones hidrométricas y de otra índole para observar y comunicar la aproximación y desplazamiento de olas de inundaciones y fluctuaciones de la capa acuífera subterránea.

En los periodos en que no surjan situaciones de emergencia deberán mantenerse en buen estado la zona de evacuación de crecidas y el sistema de defensa contra inundaciones. Se concluyen las siguientes medidas:

- Reparación de los terraplenes, el mantenimiento de la capacidad de los cursos de agua mediante el dragado y limpieza, y la conservación de las esclusas compuertas y otros equipos.
- Mantenimiento de las estaciones hidrométricas y la prestación de un servicio diario de información sobre el nivel de las aguas que afecte a la situación hidrológica de la zona protegida.
- Mantenimiento de las instalaciones de almacenamiento de los materiales y equipos a utilizarse en una emergencia.
- Cuidado especial para evitar la abertura de brechas en los sistemas de defensa existentes durante la construcción de nuevas obras de infraestructura o asentamientos poblacionales.

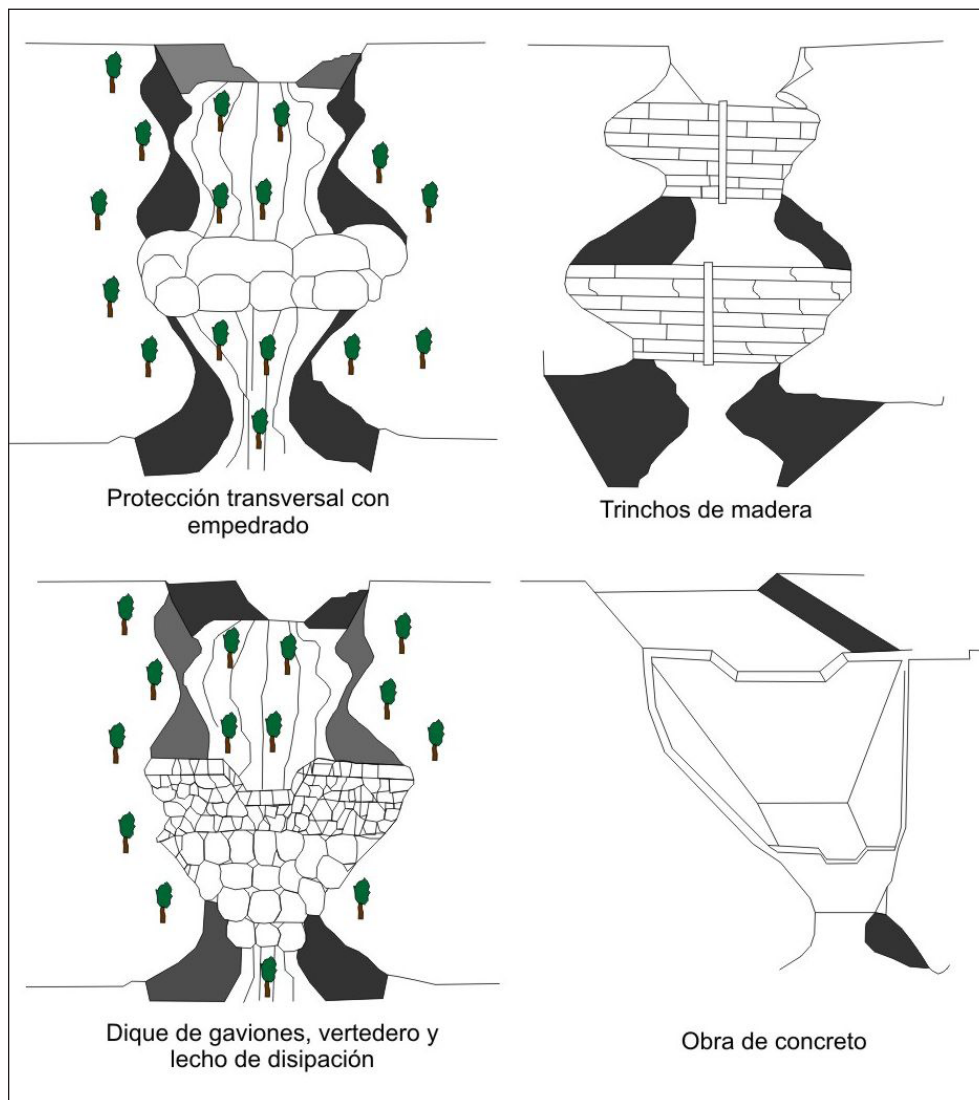


Figura 9.24 Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas. (Instituto Nacional de Vías-Ministerio de Transporte Republica de Colombia, 1998).

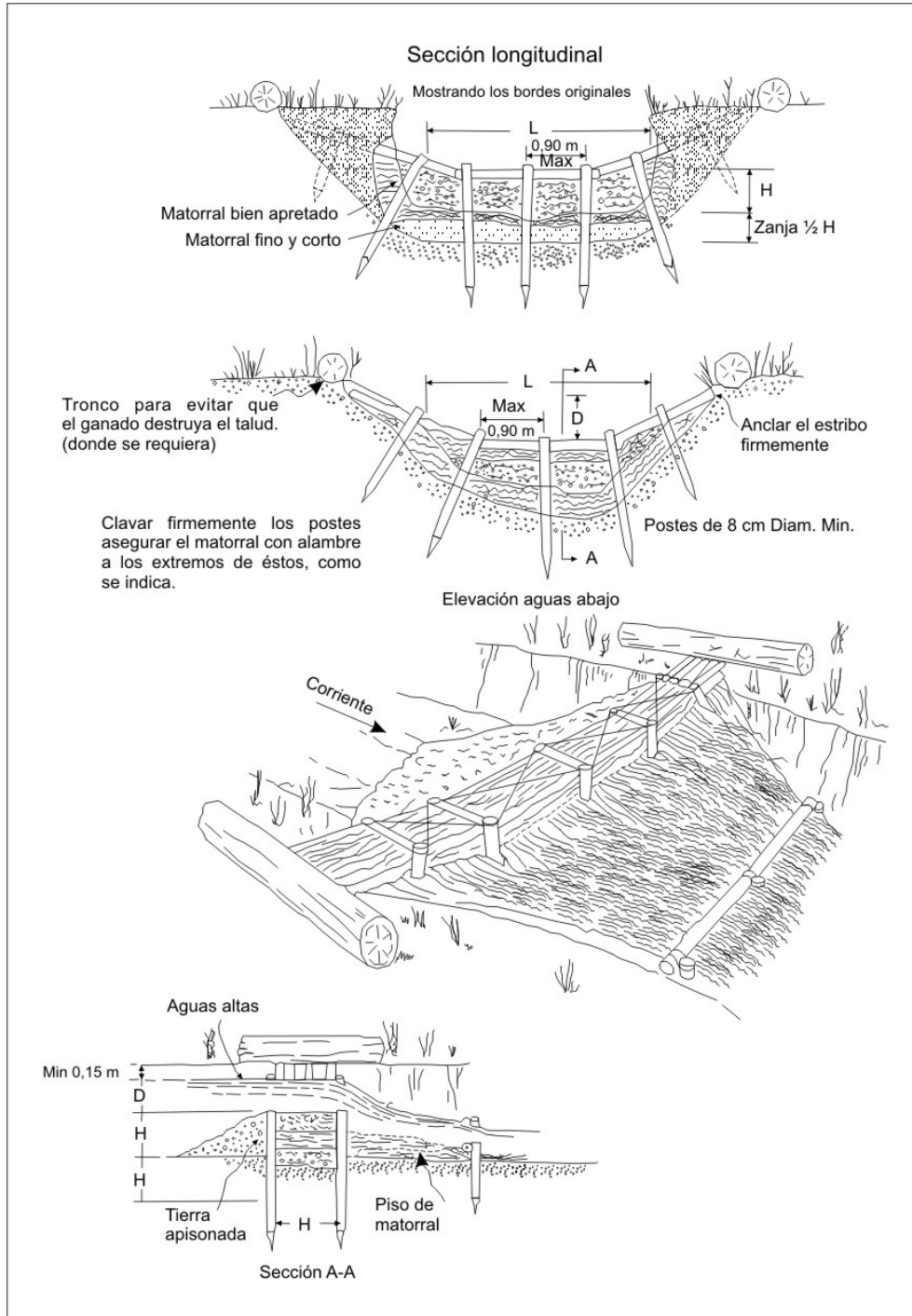


Figura 9.25 Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

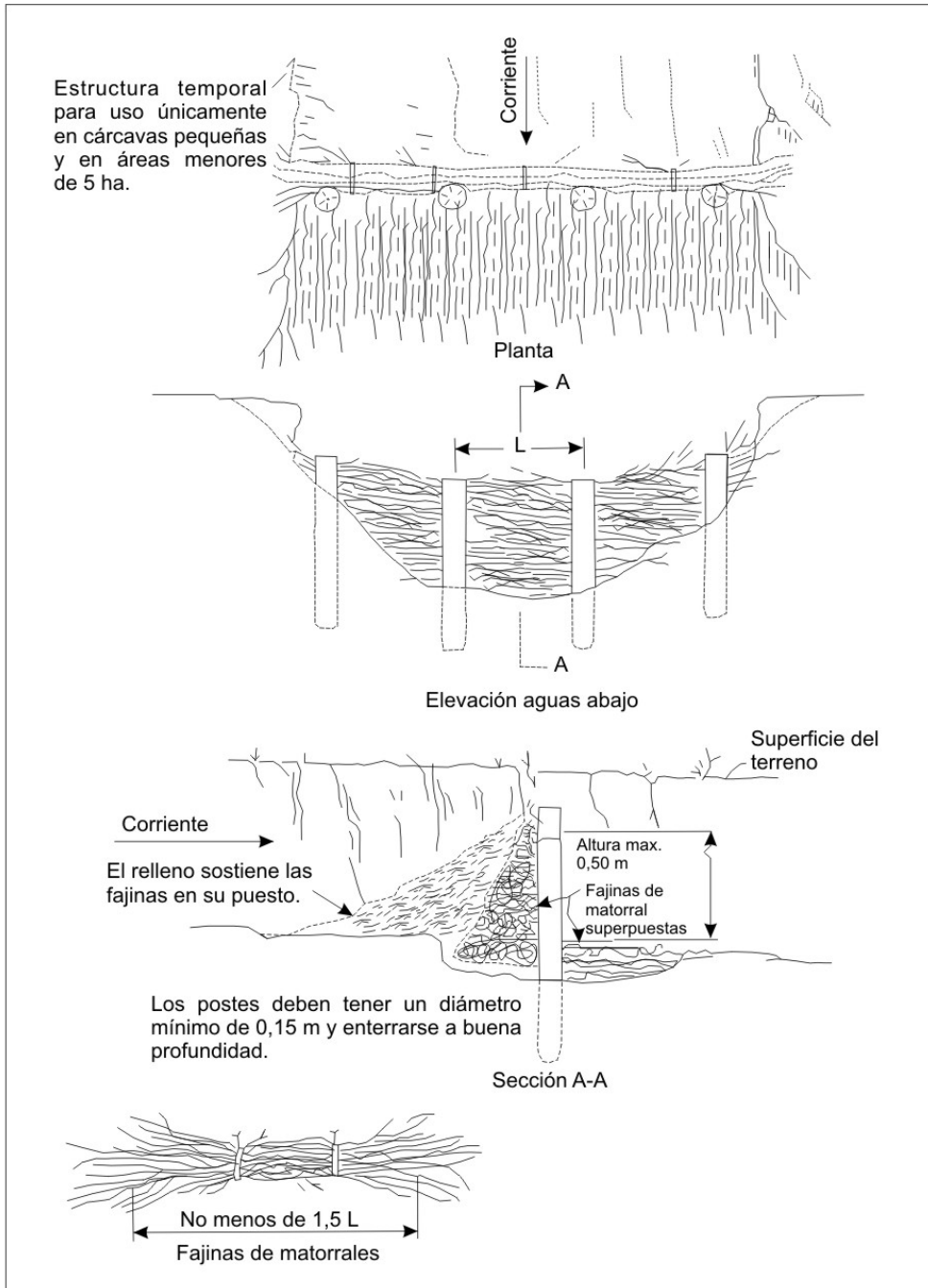


Figura 9.26 Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

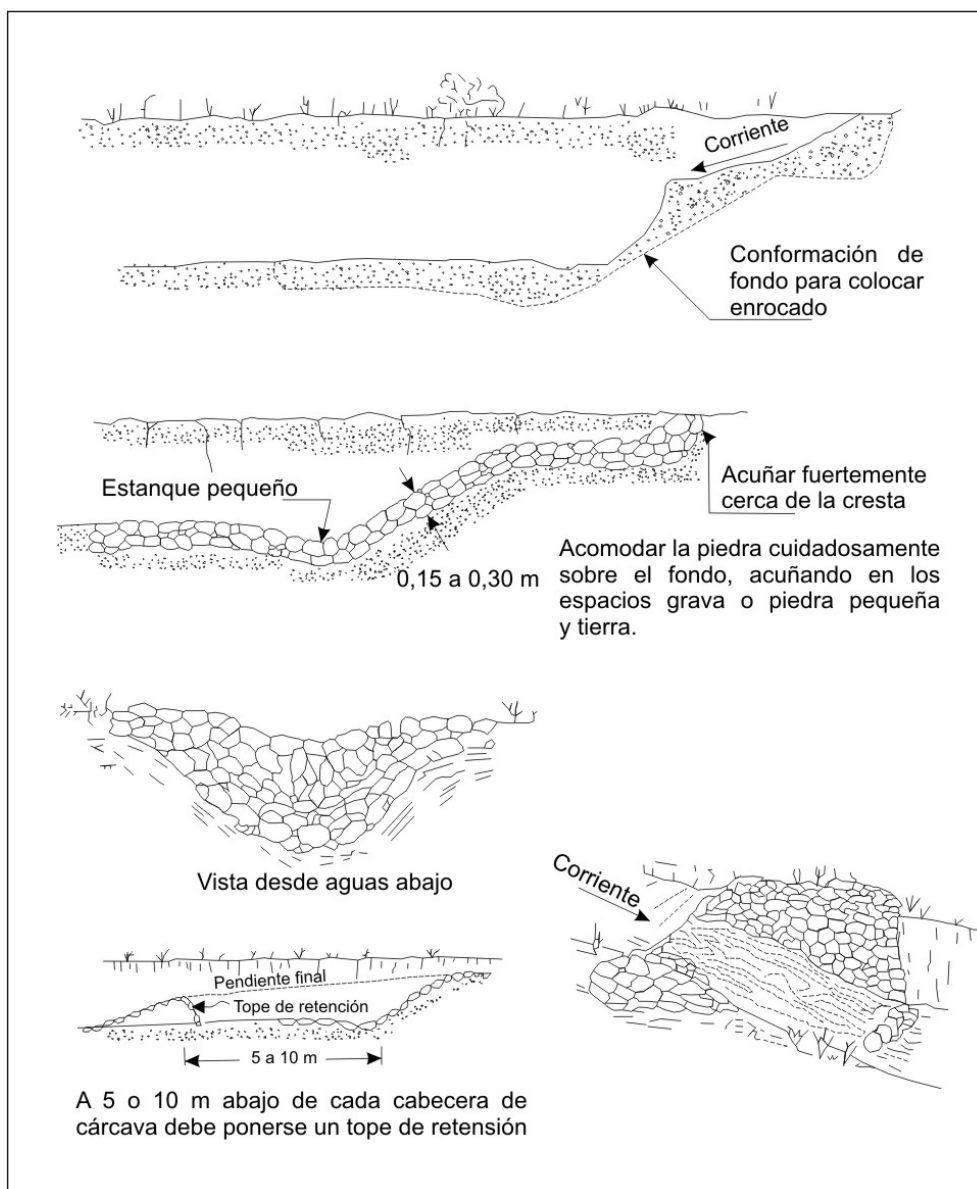


Figura 9.27 Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama et al., 1964).

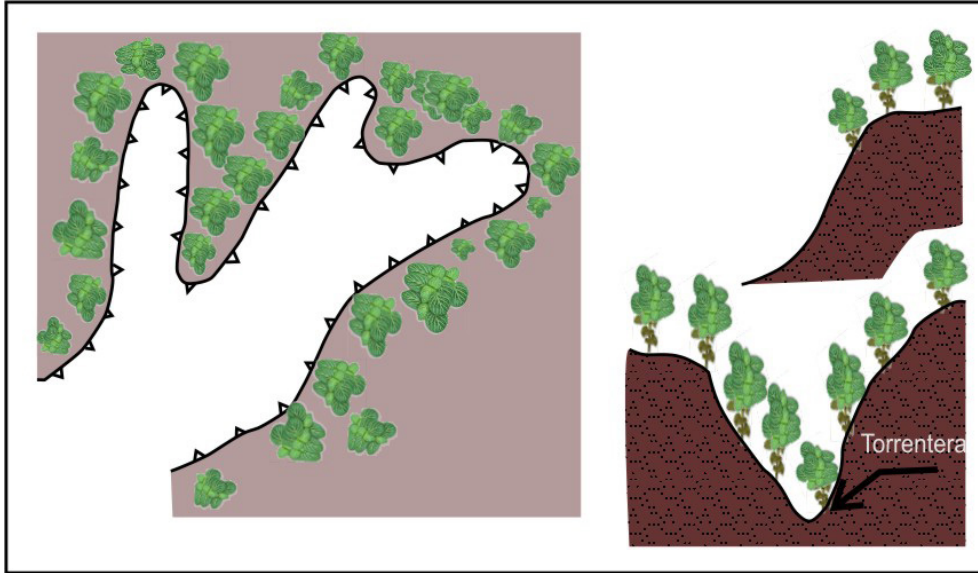


Figura 9.28 Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

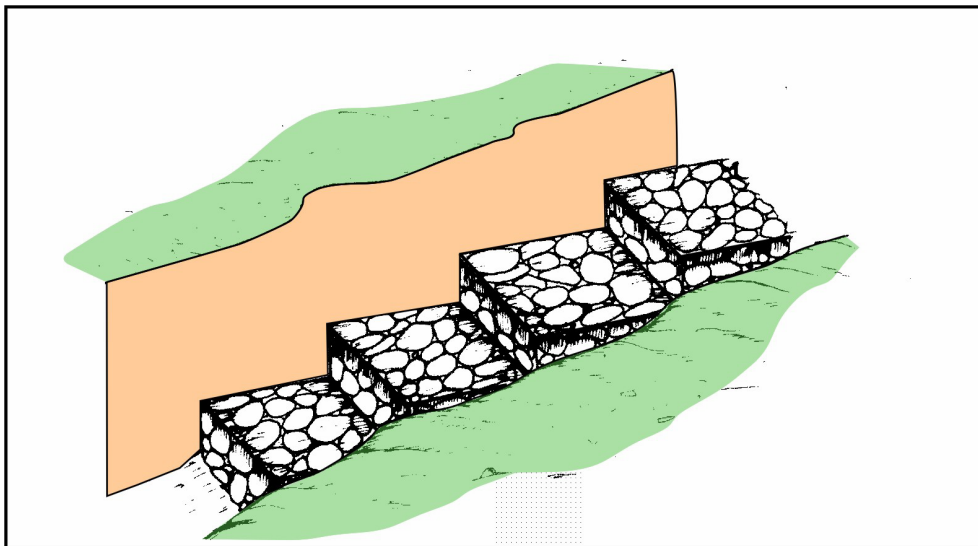


Figura 9.29 Protección del lecho de la cárcava o quebrada.

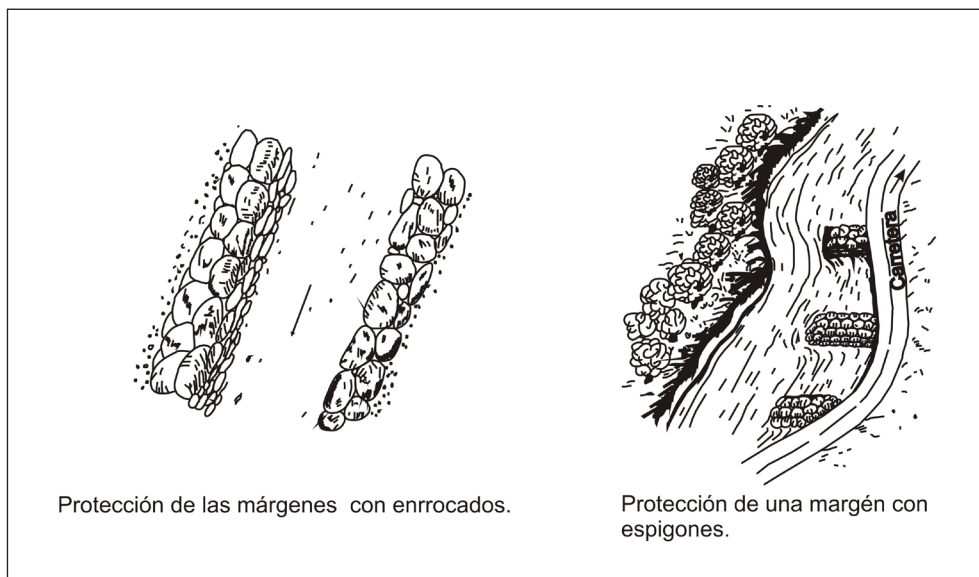


Figura 9.30 Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.

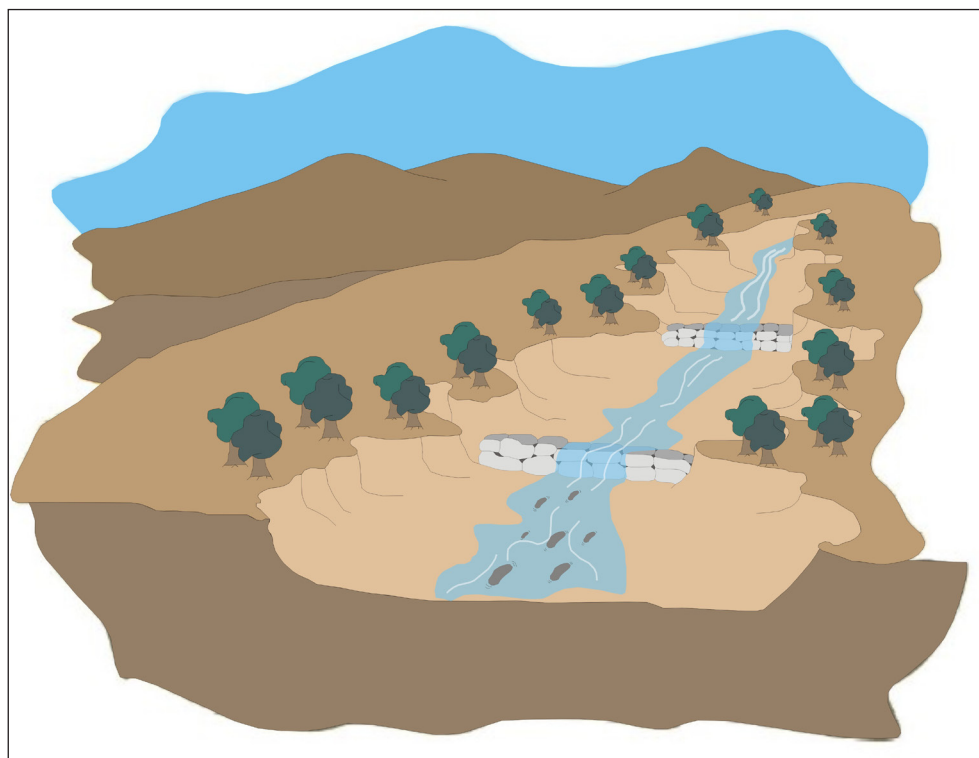


Figura 9.31 Presas transversales a cursos de quebradas.

CONCLUSIONES

1. La región Cusco tiene características particulares de geografía: climas variados como consecuencia de su heterogeneidad fisiográfica, complejidad geológico-estructural y características geomorfológicas variadas. Asimismo, presenta procesos asociados a peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos, marcados por la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos, flujos de detritos, reptación de suelos, movimientos complejos, procesos de inundación fluvial. Esto último está asociado a la erosión de riberas y, principalmente, a precipitaciones pluviales estacionales de carácter excepcional. Está estrechamente ligado a la variabilidad climática y la presencia de agua subterránea, también a las características de los materiales que conforman las laderas.
2. En la región Cusco se determinaron dos grandes grupos de unidades geomorfológicas: geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional (se diferenciaron las subunidades de montañas, colinas y lomadas, volcánicas y planicies) y geoformas de carácter depositacional y agradacional (subunidades de piedemontes, valles, planicies, depresiones y las resultantes de la actividad antrópica).
3. Según la caracterización hidrogeológica de la región Cusco, se han identificado acuíferos, acuitardos y acuicludos. Los acuíferos más importantes se componen de secuencias de conglomerados poco consolidadas, ubicadas en el extremo oriental de la región, específicamente en la faja subandina y el llano amazónico. Otros acuíferos de gran importancia también se encuentran a lo largo de los valles y están constituidos por depósitos fluvio-aluviales del Pleistoceno de características detríticas y permeables (mixturas de gravas, arenas, limos y poca arcilla), depósitos coluviales y abanicos proluvio-aluviales. Se tienen también acuíferos fisurados sedimentarios, fisurados kársticos, fisurados volcánicos y fisurados volcano-sedimentarios. Los acuitardos se dividieron en intrusivos, sedimentarios, volcánicos, volcano-sedimentarios y metamórficos. Se tienen los acuicludos de tipo metamórfico, cuya propiedad de almacenar agua, los condiciona a ser una de las principales causas que favorece la ocurrencia de movimientos en masa.
4. El trabajo de inventario de peligros (1682 ocurrencias) muestra una mayor ocurrencia de caídas (28.48 %), luego de deslizamientos (23.25 %), flujos (17.06 %), procesos de erosión de laderas (12.25 %), erosión fluvial (8.44 %), reptación de suelos (4.28 %), inundación fluvial (3.03 %), movimientos complejos (2.5 %), hundimientos (0.48 %), inundación lagunar (0.18 %) y, finalmente, vuelcos (0.05 %).
5. Solo para los movimientos en masa (1272 ocurrencias), las caídas ocupan el primer lugar (37.66 %), le siguen los deslizamientos (30.74 %), los flujos (22.56 %), reptación de suelos (5.66 %), movimientos complejos (3.3 %), y, finalmente, los vuelcos (0.08 %).
6. Del total de ocurrencias identificadas y denominadas en este estudio como “otros peligros geológicos” (de 214 eventos), los procesos de erosión de laderas (equivalente al 96.26 % del total) fueron los principales, seguidos de los hundimientos (3.74 %).
7. En lo que respecta a las 196 ocurrencias denominadas “peligros geohidrológicos” identificadas en la región, el 72.45 % corresponde a márgenes de río afectadas por procesos de erosión fluvial; el 26.02 % se refiere sectores que fueron afectados por inundaciones fluviales y, finalmente, el 1.53 % representa a zonas donde se produjeron inundaciones de tipo lagunar.
8. El mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa nos muestra un muy alto grado de susceptibilidad a los movimientos en masa en el sector central y sur-central de la región principalmente, focalizado en las laderas de los valles de la Cordillera Oriental. Su distribución mayor está sobre rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias y metamórficas, muy fracturadas y meteorizadas.
9. El mapa de susceptibilidad a inundaciones y erosión fluvial nos muestra que las áreas de alta susceptibilidad corresponden a las llanuras de inundación y terrazas bajas que se inundan de forma ocasional y excepcional en los valles de la Cordilleras Oriental (valles de los ríos Vilcanota, Urubamba, Huatanay, Mapacho, Paucartambo, Yanatile, Yavero, Salcca y Marcapata). Otras zonas de alta susceptibilidad a las inundaciones se localizan a lo largo de los valles amplios y altiplanicies sedimentarias del lado sur de la Cordillera Occidental, en la provincia de Espinar.

10. La evaluación de campo de la infraestructura y centros poblados determinó, por sus características de potencialidad de peligro y vulnerabilidad asociada, un total de 75 zonas críticas.
11. El estudio de la sismicidad en la región Cusco indica que se han producido sismos con intensidades máximas de entre IV hasta X en la escala modificada de Mercalli y con magnitudes de hasta 8.4 Ms en la escala de Richter.
12. Según el mapa de zonificación sísmica del Perú, el cual es actualmente utilizado en el nuevo reglamento peruano de la construcción con la norma técnica de edificación E-30 (Diseño "sismo resistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, actualizado al 2016), la región de Cusco se encuentra en la Zona 3, considerada de sismicidad alta y en la zona 2, de sismicidad media.
13. Según el factor detonante de sismicidad, para un 10% de excedencia en 20 años, a la región Cusco le correspondería la categoría de "moderadamente alta" (MA) a "muy alta" (AA). Se esperan aceleraciones que oscilan entre 172 a 336 gal. Para 50 años le corresponde la categoría de "moderadamente alta" (A) a "muy alta" (AA) y se esperan aceleraciones que varían de 220 a 399 gal. Para 100 años le correspondería de "alta" a "muy alta" (AA) con aceleraciones que varían entre 263 a 451 gal.

RECOMENDACIONES

1. Para realizar una buena planificación urbana, se debe tener en cuenta los mapas de susceptibilidad a los movimientos en masa y los peligros geohidrológicos. 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-geomorfológicas 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 realizar estudios a mayor detalle, aplicando metodologías que permitan hacer una zonificación del terreno cada vez más precisa; entre estas metodologías se tiene los estudios de geotecnia, estabilidad de taludes, la simulación numérica, entre otras.
3. Es necesario investigar a mayor detalle las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos, para poder elegir la mejor solución posible ya sea obras de mitigación, sistemas de alerta temprana o reubicación de viviendas. Cabe mencionar que la aplicación de las recomendaciones que se indican en este informe debe ser analizadas con especialistas.
4. Para fortalecer la capacidad local en temas de gestión del riesgo es muy importante educar a la población involucrada, a fin de que sepan cómo actuar ante eventos catastróficos, así como el conocimiento de peligros geológicos que existen dentro de su jurisdicción, para así minimizar las pérdidas de vidas humanas y económicas a causa de estos desastres.
5. 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

- Aguilar, V. & Mendoza, D. (2002) - *Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el eje cafetero, Colombia*. Tesis Ingeniero Civil, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Cali, 214 p.
- Alva, J. (1983) - *Breve historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú* (en línea). Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 4, Lima, 1983. 12 p. (consulta: 5 noviembre 2017). Disponible en: <http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis16_a.pdf>
- Alva, J. & Torres, R. (1983) - Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas en el Perú", *TECNIA (Universidad Nacional de Ingeniería)*, 2(2): 33-36.
- Alva, J.; Meneses, J. & Guzmán, V. (1984) - Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú (en línea). Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5, Tacna, 11 p. (consulta: 5 noviembre 2017). Disponible en: <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. (consulta: 5 noviembre 2017). Disponible en: <http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis18_a.pdf>
- Audebaud, E. (1973) - Geología de los cuadrángulos de Ocongate y Sicuani. *Servicio de Geología y Minería, Boletín 25*, 72 p.
- Ayala, F.J. & Olcina, J. (2002) - *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel, 1512 p.
- Ayala, F.J. & Andreu, F., dir. (2006) - *Manual de ingeniería de taludes*. 1. ed., 2. reimp. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 456 p.
- Banco Mundial (2011) - Peligros naturales, desastres evitables: La economía de la prevención efectiva. Madrid: Ediciones Gondo y Banco Mundial, 332 p.
- Benavente, C.; Delgado, F.; Taípe, E.; Audin, L & Pari, W. (2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 55, 261 p.
- Blanc, J.L.; Cabrera, J. & Sébrier, M. (1983) - Estudio microtectónico de la falla sísmica de Huaytapallana (Andes del Perú Central). *Revista Geofísica*, (18-19): 5-23.
- Blanc J.L. (1984) - *Néotectonique et sismotectonique des Andes du Pérou Central dans la région de Huancayo*. Thèse Docteur, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, Paris, 162 p.
- Cabrera, J. (1988) - *Néotectonique et sismotectonique dans la Cordillère Andine au niveau du changement de géométrie de la subduction: la région de Cusco, Pérou*. Thèse Docteur 3^{ème} cycle, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, Paris, 275 p.
- Cárdenas, J.; Carlotto, V.; Romero, D.; Jaimés, F. & Valdivia, W. (1997) - Geología de los cuadrángulos de Chuanquiri y Pacaypata. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 89, 216 p.
- Carlotto, V.; Gil W.; Cárdenas, J. & Chávez, R. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 65, 245 p.
- Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Romero, D.; Valdivia, W. & Tintaya, D. (1999) - Geología de los cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 127, 319 p.
- Carlotto, V.; Cárdenas, J. & Fidel, L. (2007) - La geología en la conservación de Machupicchu. *INGEMMET, Boletín, Serie I: Patrimonio y Geoturismo*, 1, 305 p.
- Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Fidel, L.; Oviedo, M. & Pari, W. (2011) - Geología de Choquequirao. *INGEMMET, Boletín, Serie I: Patrimonio y Geoturismo*, 4, 132 p.

- Chang, L. & Alva, J. (1991) – *Deslizamientos y aluviones en el Perú* (en línea). Lima: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres-CISMID - UNI, 175 p. (consulta: 2 noviembre 2017) Disponible en: <<http://www.jorgealvahurtado.com/files/Deslizamientos%20y%20Aluviones%20Peru.pdf>>
- Corominas, J. (1988) - Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. En: Ayala, F.J.; Durán, J.J. & Peinado, T., eds. *Riesgos Geológicos*, Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, p. 193-201.
- Corominas, J. & García Yagué, A. (1997) – Terminología de los movimientos de laderas. En: Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, 4, Granada, 1997. *Memorias*, vol. 3, p. 1051-1072.
- Cruden, D.M. (1991) – A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association for Engineering Geology*, 43: 27-29.
- 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. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 40, 93 p.
- Dávila, J. (1999) - *Diccionario geológico*, 3a. ed. Lima: INGEMMET, 1006 p.
- De La Cruz, N.; Zapata, A. & Larico, W. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Timpia, Calangato y Río Providencia. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 121, 224 p.
- Densmore, L. & Hovius, N. (2000) - Topographic fingerprints of bedrock landslides. *Geology*, 28(4): 371-374.
- Derruau, M. (1966) - *Geomorfología*. Barcelona: Ediciones Ariel, 442 p.
- Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L. & Ibsen, M. eds. (1996) – *Landslide recognition: Identification, movement and causes*. Chichester, New York: Wiley, 263 p.
- Duque, G. & Escobar, C. (2016) – Erosión de suelos (en línea). En: Duque, G. & Escobar, C. *Geomecánica*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, p. 122-135. (consulta: 10 julio 2015). Disponible en: <<http://bdigital.unal.edu.co/53252/45/erosiondesuelos.pdf>>
- Evans, S.G. & Hungr, O. (1993) – The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 30(4): 620-636.
- Ferrer, M. (1987) - Deslizamientos, desprendimientos, flujos y avalanchas. En: Instituto Geológico y Minero de España. *Riesgos geológicos*. Madrid: IGME, p. 175-192.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación, 732 p.
- Huamán, D. (1985) - *Evolution tectonique cénozoïque et néotectonique du piemont Pacifique dans la région d'Arequipa (Andes du Sud du Pérou)*. Thèse Docteur 3ème cycle, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay, 225 p.
- Hoek, E. & Bray, J.L. (1981) – *Rocks slope engineering*. 3. ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 358 p.
- Holmes, A. (1971) - *Geología física*. 6. ed. Barcelona: Ediciones Omega, 512 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.
- Hungr, O. (2005) – Classification and terminology. En: Jakob, M. & Hungr, O., eds. *Debris-flow hazards and related phenomena*. Berlin: Springer-Praxis, p. 9-23.
- Hutchinson, J.N. (1988) – General report: Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and hydrogeology. En: Bonnard, C., ed. *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, 10-15 July 1988. Lausanne, Switzerland*. Rotterdam: Balkema, p. 3-35.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2001) - *Geomorfología y susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del Magdalena: Sector Barrancabermeja – Bocas de Ceniza* (en línea). Bogotá: IDEAM, Subdirección de Geomorfología y Suelos, 68 p. (consulta: 16 junio 2015). Disponible en: <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018182/geomagdalena2.pdf>>
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (2001) - *Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Guía metodológica*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 163 p.

- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 1. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 23, 330 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2002) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja No. 2. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 27, 368 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja No. 3. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 28, 373 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geotecnia (1997) - Álbum de mapas de zonificación de riesgos fisiográficos y climatológicos del Perú, memoria descriptiva. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 17, 142 p.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (1998) - *Estadística de emergencia producidas en el Perú: 1998* (en línea). Lima: Indeci, 225 p. (consulta: 5 mayo 2016). Disponible en: <<https://www.indeci.gob.pe/listado.php?itemC=NDY=&item=MzQ2>>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2003) - *Atlas de Peligros Naturales del Perú*. Lima: INDECI, 327 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017) - *Evolución de la pobreza monetaria 2007-2016, Informe técnico* (en línea). Lima: INEI, 179 p. (consulta: 26 octubre 2018). Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1425/>
- Instituto Nacional de Vías (1998) - *Manual de estabilidad de taludes – Geotecnia Vial*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 340 p.
- Jakob, M. (2005) – Debris flow hazard analysis. En: Jakob, M. & Hungr, O., eds. *Debris-flow hazards and related phenomena*. Berlin: Springer-Praxis, p. 413-443.
- Lecarpentier, C.; Khobzi, J.; Oster, R. & Pérez, C. (1977) - *La erosión de tierras en Colombia – Con mapa de procesos dinámicos*. Bogotá: Inderena, 56 p.
- León, W. & De La Cruz, O. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Poyeni y Cutivireni. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 111, 165 p.
- León, W.; Palacios, O.; Vargas, L. & Sánchez, A. (2000) – Memoria explicativa del mapa geológico del Perú, Escala 1:1 000 000. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 136, 73 p.
- López, J.C. (1996) - Geología del cuadrángulo de Nuñoa. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 74, 169 p.
- Leureyro, J.; Macharé, J. & Sebrier, M. (1991) - Actualización del mapa neotectónico del Perú a escala 1:2'000,000. En: Congreso Peruano de Geología, 7, Lima, 1991, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, t. 1, p. 23-28.
- Macharé, J.; Benavente, C. & Audin, L. (2009) - Síntesis descriptiva del Mapa Neotectónico 2008. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 40, 103 p.
- Marocco, R. (1975) - *Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas*. Instituto de Geología y Minería, *Boletín*, 27, 51 p.
- Martín, A.; Salazar, A.; Nozal, F. & Suárez, A. (2004) - *Mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000: Guía para su elaboración*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 128 p.
- McGuire, R.K. (1976) - Fortran computer program for seismic risk analysis. *U.S. Geological Survey, Open-File Report 76-0067*, 90 p. Disponible en: <<http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/ofr/ofr7667>>
- Meinzer, O.E (1923) - *Outline of ground-water hydrology, with definitions*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 494, 71 p. También disponible en: <<http://pubs.er.usgs.gov/publication/wsp494>>
- Mendivil, S. & Dávila, D. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 52, 115 p.
- Mering, C.; Huamán, D.; Chorowicz, J.; Deffontaines, B. & Guillaude, R. (1996) - New data on the geodynamics of southern Perú from computerized analysis of SPOT and SAR ERS-1 images. *Tectonophysics*, 259(1-3): 153-169.
- Monge, R.; Valencia, M. & Sánchez, J. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Llochegua, Río Picha y San Francisco. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional* 120, 253 p.
- Mora, S. & Vahrson, W.G. (1993) - Determinación a priori de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. *Revista Tecnología ICE*, 3(1): 32-42.

- Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009) - *UNISDR Terminología sobre reducción del riesgo de desastres* (en línea). Ginebra: Naciones Unidas, 38 p. (consulta: 10 julio 2017). Disponible en: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf>
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1976) - Mapa ecológico del Perú a Escala 1:1.000.000: guía explicativa. ONERN, Lima, 146 p.
- Ortlieb, L. & Macharé, J. (1990) - Quaternary marine terraces on the Peruvian coast and recent vertical motions. En: Symposium International «Géodynamique Andine», Grenoble, 1990, *Résumés des communications*. Paris: ORSTOM, p. 95-98.
- Palacios, O. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 51, 73 p.
- Palacios, O.; Molina, O.; Galloso, A. & Reyna, C. (1996) - Geología de los Cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 81, 189 p.
- Pecho, V. (1981) - Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás (hojas 29-p, 29-q y 29-r). *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 35, 88 p.
- 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_prevencion/tsunamis_inundacion.htm>
- Perú. Ministerio de Energía y Minas (2017) - *Anuario estadístico de electricidad 2016* (en línea). Lima: Minem, Dirección General de Electricidad, 273 p. (consulta: 02 junio 2017). Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=6&idEstadistica=11738>
- 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. (consulta: 22 mayo 2017). Disponible en: <<http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>>
- Perú. Secretaría de Gestión de Riesgo de Desastres (2016) - *Compendio de normas*. 2. ed. Lima: SGRD, tomo I, 168 p.
- Pierson, T.C. (2005) - Hyperconcentrated flow – transitional process between water flow and debris flow. En: Jakob, M. & Hungr, O., eds. *Debris-flow hazards and related phenomena*. Berlin: Springer-Praxis, p. 159-202.
- Provias Nacional (2015) - *Sistema de Información Geográfica de Provias Nacional* (en línea). Lima: Provias Nacional. (consulta: 26 junio 2015). Disponible en: <<http://giserver.proviasnac.gob.pe/flexviewers/provias/>>
- 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.
- Radbruch-Hall, D.H. & Varnes, D J. (1976) – Landslides: cause and effect. *Bulletin International Association of Engineering Geology*, 13(1): 205-216.
- Restrepo, C. & Velásquez, A. (1997) - *Resiliencia de los ecosistemas tropicales de montaña frente al cambio: biodiversidad, procesos y deslizamientos de tierra*. Cali: OSSO, 62 p. Propuesta presentada por OSSO para COLCIENCIAS.
- Salas, G.; Chávez, A. & Cuadros, J. (1999) - Geología de los cuadrángulos de Quebrada Honda y Parobamba. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 128, 122 p.
- Sánchez, R.; Mayorga, R.; Urrego, L & Vargas, G. (2002) - Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. En: Simposio Latinoamericano de Control de Erosión, 1, Bucaramanga, 2002. *Memorias*. Bucaramanga: CDMB, 8 p. (consulta: 02 junio 2017). Disponible en: <<http://www.docentes.unal.edu.co/>>

- gvargasc/docs/PUBLICACIONES_RIESGOS/Modelo-pronosticoFRM.pdf>
- Sancio, R. (1996) - Vegetación y estabilidad de laderas. *Tecnología y Construcción*, 12(1): 33-37.
- Santacana, N. (2001) - *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 399 p. También disponible en: <<https://www.tdx.cat/handle/10803/6213>>
- Sébrier, M. & Macharé, J. (1980) - Observaciones acerca del Cuaternario de la costa del Perú central. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 9(1-2): 5-22.
- 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).
- Sébrier, M.; Blanc, J.L.; Bonnot, D.; Cabrera, J.; Deza, E., et al. (1985) - Observaciones acerca de la neotectónica del Perú. En: Centro Regional de Sismología para América del Sur. *Proyecto SISRA*. Lima: CERESIS, vol 14, p. 254-269.
- 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>>
- Sharma, V.K. (2010) – *Introduction to process geomorphology*. Boca Raton, FL: CRC Press, 435 p.
- Silgado, E. (1951) - The Ancash earthquake of November 10, 1946. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(2): 83-99.
- 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 Ing. Geológica*, 3, 130 p.
- Soeters, R. (1976) - *Apuntes sobre la clase de geomorfología*. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretación, 82 p.
- Strahler, A. (1976) - *Geografía Física*. Barcelona: Ediciones Omega. 550 p.
- Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995) - *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend*. Hannover: International Association of Hydrogeologists, 193 p. International Contributions to Hydrogeology, 17.
- Suárez, J. (1998) - *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2013) - *Estudio tarifario: Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la empresa de servicio de agua potable y alcantarillado SEDACUSCO S.A.*, informe interno. Lima: SUNASS, 44p.
- Tavera, H. & Buforn, E. (2001) - Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology*, 5(4): 519-539.
- 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>
- Thomas, M.F. (1994) - *Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes*. Chichester: John Wiley, 482 p.
- Thornbury, W.D. (1960)- *Principios de geomorfología*. Buenos Aires: Editorial Kapelusz, 627 p.
- Valderrama, L.; Montenegro, E. & Galindo, J. (1964) - *Reconocimiento forestal del departamento de Cundinamarca*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 86 p.
- Van Westen, C.J. & Terlien, M.T.J. (1996) - An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia). *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(9): 853-868.
- Van Zuidam, R.A. (1973) - *Guide to geomorphological photo-interpretation*. Enschede: ITC, 212 p.
- Van Zuidam, R.A. (1985) - *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. The Hague: Smits Publishers, 442 p.
- Vargas, L. & Hipolito, A. (1998) – Geología de los cuadrángulos de Río Piquén, Pilcopata y Chontachaca. *INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 116, 155 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, p. 11-33, Special Report 176.
- Verstappen, H.T. (1983) - *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*. Amsterdam: Elsevier, 437 p.
- Viers, G. (1973) – *Geomorfología: elementos de geografía*. Barcelona: Oikos-Tau, 320 p.
- Villacorta, S.; Fidel, L. & Zavala, B. (2012) - Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 69(3): 393-399.
- Villota, H. (2005) - *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras*. 2. Ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.
- Yin, K.P.; Heung, L.K. & Greenway, D.R. (1988) – Effect of root reinforcement on the stability of three fill slopes in Hong Kong. En: International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, 2, Singapore, 1988. *Proceedings*. Rotterdam: Balkema, vol. 1, p. 293-302.
- Yin, K.P. & Yan, T.Z. (1988) – Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. En: Bonnard, C., ed. *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, 10-15 July 1988. Lausanne, Switzerland*. Rotterdam: Balkema, vol. 2, p. 1269-1272.
- 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.
- Zárate, H.; Galdos, J. & Geldres, M. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Sepahua, Miaria, Unión, Quiriqueti, Camisea y Río Cashpajali. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 125, 203 p.

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

Mapa 1	Cobertura vegetal.
Mapa 2	Litológico.
Mapa 3	Hidrogeológico.
Mapa 4	Pendiente.
Mapa 5	Geomorfológico.
Mapa 6	Inventario de peligros geológicos.
Mapa 7	Susceptibilidad a los movimientos en masa.
Mapa 8	Susceptibilidad a las inundaciones y erosión fluvial.
Mapa 9	Zonas críticas.

Figuras

Figura 2.1	Ubicación temporal del desarrollo del Imperio inca.
Figura 2.2	Mapa de ubicación de la región Cusco.
Figura 2.3	Superficie en kilómetros cuadrados de las provincias de la región Cusco. (Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014).
Figura 2.4	Población a nivel de provincias en la región Cusco (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).
Figura 2.5	Distribución de la población por sexo y edad, región Cusco, 2017 (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).
Figura 2.6	Población según el sexo, región Cusco, 2017 (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).
Figura 2.7	Distribución de la población por áreas de residencia en la región Cusco (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).
Figura 2.8	Distribución de la población según el sexo por áreas de residencia en la región Cusco (INEI, Censo Nacional de 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas).
Figura 2.9	Mapa de clasificación climática del Cusco (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010).
Figura 2.10	Cuencas hidrográficas de la región Cusco. (Fuente: Elaboración propia con información de la Autoridad Nacional del Agua).
Figura 3.1	Unidades litológicas.
Figura 5.1	Montañas estructurales en roca sedimentaria (RME-rs) al este de Yaurisque, conformadas por secuencias sedimentarias de las Formaciones Soncco, Kayra, Chilca, Quilque y Puquín.

- Figura 5.2** Alineamientos de secuencias volcano-sedimentarias en el sector de Sumaro, distrito de Chinchaypujio (Google Earth).
- Figura 5.3** Montañas estructurales (línea amarilla). Facetas triangulares generadas por la presencia de una falla inversa, distritos de Kimbiri y Echarate.
- Figura 5.4** Colinas estructurales modeladas en rocas de la formación Huancane y el Grupo Maure, delimitadas por la línea amarilla; al sur de Espinar.
- Figura 5.5** Colada de lava (Ca-la) en el sector de Raqchi, correspondiente al volcánico Quinsachata.
- Figura 5.6** Cono de escorias (cerro Finahui), al sur de Santo Tomás.
- Figura 5.7** Domo volcánico en el centro arqueológico de Tipón, distrito de Oropesa.
- Figura 5.8** Complejo volcánico localizado al este de Livitaca. Es posible observar su forma elíptica y el drenaje radial.
- Figura 5.9** Colinas y lomadas ignimbríticas en el sector de Morocahua, distrito de Espinar.
- Figura 5.10** Meseta volcánica lávica en la cabecera del río Qquero, en el distrito de Coporaque, en el límite con la región Arequipa.
- Figura 5.11** Flujo piroclástico, hacia ambos márgenes del río Apurímac, en los distritos de Suykutambo y Coporaque, se señala con línea amarilla.
- Figura 5.12** Superficie con flujo piroclástico disectado en el sector del cañón de Suykutambo-río Apurímac, en los distritos de Coporaque y Suykutambo.
- Figura 5.13** Altiplanicie disectada, ubicada por encima del poblado de Cobireni, en el distrito de Echarate.
- Figura 5.14** Abanico aluvial formado por la quebrada Moccoyayse, sobre este depósito se asientan los poblados de Chasquihuasi y Puccio, en la margen izquierda del río Vilcanota, distrito Cusipata.
- Figura 5.15** Vertiente de gelifractos acumulados al pie del nevado Soray afectada por el retroceso glaciar, distrito de Mollepata.
- Figura 5.16** En la imagen de Google Earth se pueden observar el tajo abierto, los desmontes y presas de relave de la mina Tintaya, distrito de Espinar.
- Figura 6.1** Tipo de movimientos seguidos por un bloque caído desde un talud o ladera.
- Figura 6.2** (a) Esquema de la caída de rocas. (b) Corominas y García Yagué (1997) denominan a este movimiento colapso.
- Figura 6.3** Esquema del vuelco en bloques (Freitas y Waters, 1973, en Radbruch-Hall & Varnes, 1976).
- Figura 6.4** (a) y (b) Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento según Corominas y García Yagué (1997), (c) Esquema de un deslizamiento traslacional en roca en Cerchiaría di Calabria, sur de Italia, según Antronico et al. (1993), en Dikau et al. (1996) (Tomado de Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).
- Figura 6.5** Esquema de un deslizamiento traslacional.
- Figura 6.6** Partes de un deslizamiento rotacional.
- Figura 6.7** Esquema de una expansión lateral.
- Figura 6.8** Esquema donde se muestra el depósito que forma un flujo de detritos.
- Figura 6.9** Esquema de una avalancha de rocas.
- Figura 6.10** Esquema de una ladera afectada por reptación de suelos.
- Figura 6.11** Esquema de erosión de laderas en cárcavas.
- Figura 6.12** Ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, geohidrológicos y otros peligros geológicos.
- Figura 6.13** Ocurrencia de movimientos en masa en la región Cusco.

- Figura 6.14** Ocurrencia de movimientos en masa por tipo específico de la región Cusco.
- Figura 6.15** Ocurrencia de otros peligros geológicos identificados en la región Cusco.
- Figura 6.16** Ocurrencia de peligros geohidrológicos en la región Cusco.
- Figura 6.17** Grado de peligro asignado a las ocurrencias de peligros naturales inventariadas en la región Cusco.
- Figura 6.18** Grado de vulnerabilidad asignado a las ocurrencias de peligros naturales inventariadas en la región Cusco.
- Figura 6.19** Mapa de isosistas del sismo del 21 de mayo de 1950 (Cusco).
- Figura 6.20** Mapa de isosistas del sismo del 5 de abril de 1986 (Cusco).
- Figura 6.21** Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas para la región Cusco (Alva et al., 1984).
- Figura 6.22** Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la región Cusco (Fuente: Tavera, 2017).
- Figura 6.23** Distribución de isoaceleraciones (gal) para un 10 % de excedencia en 20 años en el departamento de Cusco.
- Figura 6.24** Distribución de isoaceleraciones (gal) para un 10 % de excedencia en 50 años departamento de Cusco.
- Figura 6.25** Distribución de isoaceleraciones (gal) para un 10 % de excedencia en 100 años departamento de Cusco.
- Figura 6.26** Zonificación sísmica del Perú. El Cusco se encuentra en la zona 2 que corresponde a una zona de sismicidad intermedia a alta.
- Figura 6.27** Curva de peligro anual para la ciudad del Cusco (Fuente: Tavera, 2017).
- Figura 6.28** Curva de peligro anual para la ciudad del Sicuani (Fuente: Tavera, 2017).
- Figura 6.29** Curva de peligro anual para la ciudad del Yanaoca (Fuente: Tavera, 2017).
- Figura 6.30** Falla Tambomachay.
- Figura 6.31** Foto aérea muestra la falla de Pachatusan (Servicio Aerofotográfico Nacional del Perú).
- Figura 7.1** Interacción ladera-vegetación e influencia en la estabilidad (Yin et al., 1988).
- Figura 8.1** Tipos de peligros que concurren en la generación de zonas críticas.
- Figura 8.2** Poblado de Churamuray asentado en la confluencia del río Chullamayo en el río Santo Tomás. Por el río Chullumayo discurren huaicos.
- Figura 8.3** Imagen de Google Earth con vista al suroeste donde se señala con líneas rojas los límites del deslizamiento en la localidad de Totorá.
- Figura 8.4** Cauce del río Huatanay entre los poblados de San Gerónimo y Saylla, donde se producen erosión fluvial e inundación. Se señalan con flechas color lila las quebradas por donde discurren flujos de detritos.
- Figura 8.5** Valles amplios de los ríos Hercca y Vilcanota donde se produce inundaciones y procesos de erosión fluvial.
- Figura 8.6** Imagen de Google Earth, donde se observa al poblado de Pitumarca y la quebrada que cruza por la zona media de la comunidad.
- Figura 8.7** Con línea amarilla se marcan los límites del deslizamiento en la laguna de Coñocota, sector de Laripucho.
- Figura 8.8** Vista del río Urubamba donde se encuentra la C.H de Machupicchu; también se puede observar el cauce del río Aobamba, por donde discurrió un aluvión que represo el río Urubamba y provoco daños en la central hidroeléctrica.
- Figura 8.9** Vista del río Sacsara y del poblado de Santa Teresa arrasado por un huaico en 1998.
- Figura 8.10** Vista del poblado de Kiteni asentado en la margen derecha del río Kiteni, afectado por un huaico el año 1998.
- Figura 8.11** Vista de la escarpa de deslizamiento de Pacamayo (línea roja), con un salto de 1.0 m aproximadamente, afecta cultivos de coca.

- Figura 8.12** Vista del deslizamiento de Acospata.
- Figura 8.13** Erosión en el pie del deslizamiento de Acospata.
- Figura 8.14** Vista del deslizamiento de Toccoquiuo en la margen izquierda de la quebrada Yanamayo, actualmente viene siendo monitoreado.
- Figura 8.15** Imagen de Google Earth del balneario de Sanbarae. Se ha indicado la zona de erosión, la quebrada Chaupimayo (Quebrada Sambarae) y la ubicación de los enrocados (líneas amarillas entrecortadas).
- Figura 8.16** Poblado de Ccapana, se ha señalado los deslizamientos, se tienen también erosión fluvial en la margen izquierda del río Mapocho.
- Figura 8.17** Erosión fluvial en la margen izquierda del río Mapocho a la altura del poblado de Markopata.
- Figura 8.18** Poblado de Piñipampa asentado en el cono de deyección de quebrada de corto recorrido, nuevos flujos pueden afectar al poblado.
- Figura 8.19** Tramo de la carretera entre Urcos y Mollebamba cruza varias quebradas activas por donde discurren flujos.
- Figura 8.20** Valle del río Vilcanota entre los poblados de Huasao y Oropesa, se tienen problemas de erosión fluvial en ambos márgenes del río Vilcanota; flujos de detritos discurren por varias quebradas.
- Figura 8.21** Quebrada Chullo, se han señalado con líneas de color amarillo las zonas de arranque de eventos activos en la quebrada.
- Figura 8.22** Laderas superiores del río Uchuymayu (río Llapa) donde se resalta con líneas amarillas las zonas de arranque de eventos activos.
- Figura 8.23** Imagen de Google Earth donde se indica con líneas amarillas algunas de las zonas de arranque de movimientos en masa dentro de la cuenca media de la quebrada Huarachajaja.
- Figura 8.24** Deslizamiento que produce el asentamiento de la carretera que permite el acceso a Urubamba.
- Figura 8.25** Vista del cuerpo del deslizamiento-flujo de tierra, en el fondo el poblado de Yaurisque.
- Figura 8.26** Imagen de Google Earth con vista al suroeste donde se han delineado con línea roja el límite aproximado del flujo de tierra del sector de Huallata, distrito Omacha.
- Figura 8.27** Límites aproximados de los deslizamientos activos en los sectores de Chapina e Irobamba, delineados con líneas rojas; distrito Omacha.
- Figura 8.28** Quebrada Saramayo donde se presentan derrumbes y deslizamientos reactivados que producen el asentamiento de la carretera hacia la localidad de Colcha; distrito Acos.
- Figura 8.29** Vista del flujo de tierra en los sectores de Irubamba y Tejapampa, limitados con línea roja; distrito Checca.
- Figura 8.30** Vista del deslizamiento activo de Orcoja y Caracota, localizado muy cerca de la localidad de Checca.
- Figura 8.31** Imagen de Google Earth donde se delimita con línea roja el flujo de tierra en las localidades de Salla y Tarucuyo, muy cerca de la localidad de Checca.
- Figura 8.32** Vista del mega deslizamiento en el sector de Tantabamba, limitado con línea roja; distrito de Checca.
- Figura 8.33** Imagen de Google Earth donde se delimita el flujo de tierra de Jarabamba (línea roja), en la imagen también es posible observar otros eventos de flujos de tierra de menor dimensión en el lado izquierdo de la zona demarcada.
- Figura 9.1** Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.2** Colocación de escollera (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.3** Esquema de un talud con bermas intermedias (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.4** Detalle de una canaleta de drenaje superficial (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

- Figura 9.5** Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.6** Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.7** Posición óptima de una galería de drenaje (Hoek & Bray, 1997).
- Figura 9.8** Drenaje de superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje.
- Figura 9.9** Disposición de zanjas de drenaje en un talud (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.10** Zanjas de talud (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.11** Drenaje tipo espina de pescado (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.12** Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.13** Contención de un deslizamiento mediante un muro (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.14** Relleno estabilizador sostenido por el muro (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.15** a) Muro de sostenimiento. b) Muro de contención. c) Muro de revestimiento. (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.16** A) Muros de gravedad de piedra seca.
- Figura 9.16** B) Muros de gravedad de piedra argamasada (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.17** Muros de gravedad de concreto ciclópeo (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.18** Muros de espesor máximo (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.19** Muros en L (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.20** Muros de concreto armado tipo flexión (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.21** Muro de gavión.
- Figura 9.22** Ejemplo de muros con pilotes (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.23** Ejemplo de muros de pantalla (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).
- Figura 9.24** Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas. (Instituto Nacional de Vías-Ministerio de Transporte Republica de Colombia, 1998).
- Figura 9.25** Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).
- Figura 9.26** Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).
- Figura 9.27** Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama et al., 1964).
- Figura 9.28** Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.
- Figura 9.29** Protección del lecho de la cárcava o quebrada.
- Figura 9.30** Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.
- Figura 9.31** Presas transversales a cursos de quebradas.

Fotografías

- Fotografía 3.1** Vista aguas arriba del río Patacancha en el distrito de Ollantaytambo. Se puede apreciar la terraza aluvial baja en la margen derecha sobre la cual se ha colocado un poste de transmisión eléctrica que puede ser afectado por procesos de erosión fluvial e inundaciones.
- Fotografía 3.2** Depósitos fluviales localizados dentro del valle del río Ocobamba. Estos materiales están sometidos a un transporte constante.
- Fotografía 3.3** Material proluvial (huaico) que discurrió por la quebrada Quelloccaca y formó albardones (levees). Sector de Caluyo en el distrito Layo, provincia Canas.

- Fotografía 3.4** Material proluvial acarreado por la quebrada Calaquiña, acumulado en su confluencia con el río Lúcura. Es posible observar la cantidad de grabas y bloques que acarrió el evento, sector de Huyro, distrito Huayopata, provincia La Convención.
- Fotografía 3.5** Depósitos deluviales conformados por material de grava arcillo-limosa, con clastos de esquistos. Sector de Acospata en la margen derecha del río Vilcabamba, distrito Santa Teresa, provincia La Convención.
- Fotografía 3.6** Derrumbe por erosión en la base de la ladera de la margen derecha del río Vilcanota. Forma un depósito coluvial en el sector de Huilcar, distrito Machu Picchu, provincia Urubamba.
- Fotografía 3.7** Depósito de bofedal, formado por el cierre parcial de la quebrada Aroccollo por una avalancha de detritos, en la ruta que une los poblados de Velille con Espinar, distrito Velille.
- Fotografía 3.8** Depósitos fluvio-glaciares conformados por gravas subredondeadas englobadas en una matriz arcillo-limosa, depositados por encima de unas lutitas negras alteradas del Grupo Cabanillas, sector de Titacancha, distrito Colquepata, provincia Paucartambo.
- Fotografía 3.9** Travertino que forma un puente natural sobre el río Irubamba; el río discurre cubierto por estos carbonatos por unos 300 m aproximadamente entre las localidades de Machacollo y Anguyo, distrito San Pablo, provincia Canchis.
- Fotografía 3.10** Bloque de granito proveniente de un derrumbe ocurrido en el cerro Yanaorjo en la margen derecha del río Chumpi, distrito Marcapata, provincia Quispicanchi.
- Fotografía 3.11** Tonalitas del Plutón Colquemarca, al sureste de Santo Tomás, en la ruta que la une con Velille. Es posible observar el fracturamiento que presenta la roca en el talud de corte de carretera.
- Fotografía 3.12** Ignimbritas con abundantes líticos del Grupo Tacaza, en el sector de Patacce, en la margen izquierda de la quebrada Escalera Mayo, distrito Ocoruro, provincia Espinar.
- Fotografía 3.13** Shoshonitas en el talud superior de la carretera Cusco-Limatambo, sector de Ayaviri, distrito Limatambo.
- Fotografía 3.14** Corte de carretera en secuencias del Grupo Mitu, que se presenta muy fracturada y meteorizada, sector de Pampallacta, distrito Calca.
- Fotografía 3.15** Secuencia volcánica piroclástica del Grupo Mitu, en el sector de Chiripata, distrito San Salvador, provincia Calca.
- Fotografía 3.16** Interestratificación de lodolitas, limolitas y calizas de la Formación Chonta. También se puede apreciar el grado de fracturamiento y alteración de las rocas. Talud superior de corte de la carretera Interoceánica, sector de Otorongo Chico distrito Camanti, provincia Quispicanchi.
- Fotografía 3.17** Rocas de la Formación Chonta con buzamiento en contra de la pendiente del talud de corte. Carretera Interoceánica Km. 243+100, sector San José, distrito Camanti, provincia Quispicanchi.
- Fotografía 3.18** Formación Ananéa en el talud superior de la carretera Calca-Lares, sector de Chaipapampa, distrito Calca.
- Fotografía 3.19** Lutitas de la Formación Ananea en la carretera Interoceánica, sector de Chacabamba, distrito Huancarani.
- Fotografía 3.20** Lutitas del Grupo Cabanillas, en el talud superior de corte de la carretera Paucartambo-Ccarhuayo-Ocongate, con más de 3 familias de fracturas, sector cerro Ujayoc, distrito Paucartambo.
- Fotografía 3.21** Estratos de limoareniscas, limoarcillitas y areniscas de la Formación Auzangate, en el talud superior de la carretera Limatambo-Cusco, sector de Chinllawuacho, distrito Limatambo.
- Fotografía 3.22** Secuencias de la Formación Anta, conformada por conglomerados, areniscas y limolitas, sector de Mosollacta, en la carretera Acomayo-Sangará, distrito Acomayo.
- Fotografía 3.23** Areniscas cuarzosas masivas del Grupo Oriente en el talud superior de la carretera Interoceánica Km. 218, distrito de Camanti, provincia de Quispicanchi.
- Fotografía 3.24** Areniscas y limolitas de la Formación Vilquechico en el cerro Huancarane, carretera Sicuani-Santa Bárbara, distrito de San Pablo, provincia Quispicanchi.

- Fotografía 3.25** Afloramiento de la Formación Maras, en la margen izquierda del río Vilcanota, frente a la ciudad de Urubamba.
- Fotografía 3.26** Esquistos y pizarras de la Formación Malaga en el poblado de Sullucuyoc, distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención.
- Fotografía 3.27** Pizarras y esquistos de la Formación Ollantaytambo, en el sector de Cocalmayo, distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención.
- Fotografía 5.1** Montañas modeladas en granitos y granodioritas (cerros Condorsenja y Mesapelada). Vista hacia el norte por encima del poblado de Huyro, en el distrito de Huayopata.
- Fotografía 5.2** Laderas de montañas modeladas en pizarras, esquistos y cuarcitas del Grupo San José. Vista aguas arriba de la cuenca de la quebrada Garabito.
- Fotografía 5.3** Montañas modeladas en rocas sedimentarias (Grupo Cabanillas), denominado cerro Conchayoc, ubicado frente al poblado de Palmareal, margen izquierda del río Urubamba.
- Fotografía 5.4** Montañas modeladas en rocas del Grupo Mitu, sector quebrada Pucamarca, frente al poblado de Lamay
- Fotografía 5.5** Montañas estructurales sedimentarias ubicadas al este de Yaurisque (cerro Mashca). Es posible observar los alineamientos que forman los estratos en la ladera.
- Fotografía 5.6** Nevado Verónica mostrando su cobertura glaciar. Vista hacia el suroeste desde el Abra Málaga.
- Fotografía 5.7** Colinas intrusivas (Plutón Colquemarca) hacia ambos márgenes del río Chillorolla, entre los distritos de Chamaca y Velille, provincia Chumbivilcas.
- Fotografía 5.8** Colinas sedimentarias de baja altura en los alrededores de Sangarará
- Fotografía 5.9** Colinas y lomadas (cerro Huanacaure), modeladas en roca sedimentarias de las formaciones Maras y Auzangate, que se levanta unos 300 m por encima de la planicie. Sector de Laguna Huaypo en el distrito de Anta.
- Fotografía 5.10** Vista hacia el este donde se puede apreciar la planicie sedimentaria. Allí se encuentra asentada la ciudad de Espinar.
- Fotografía 5.11** Planicie sedimentaria de Zurite (vista hacia el suroeste)
- Fotografía 5.12** Talud de detritos en el talud superior de la carretera Ollantaytambo-Ocobamba, a la altura del Km. 7+800
- Fotografía 5.13** Vertiente con depósitos de deslizamiento del cerro Chinchana, que afectó lutitas, limolitas y areniscas del Grupo Ananea. El poblado de Huallje se asienta sobre el cuerpo del deslizamiento. Margen izquierda del río Mapacho, distrito Colquepata, provincia Paucartambo.
- Fotografía 5.14** Depósitos coluvio-deluviales acumulados al pie del cerro Pucaccasa en la margen izquierda del río Vilcanota, distrito de Andahuaylillas.
- Fotografía 5.15** Piedemonte aluvial cerca del poblado de Sangarará. Estos depósitos se encuentran cortados por una falla activa.
- Fotografía 5.16** Flujo de detritos en la quebrada Livincay, tributario del río Vilcanota por la margen derecha. El material acarreado formó un abanico aluvio-torrencial, distrito de Sicuani.
- Fotografía 5.17** Material de morrena removilizado por corrientes de agua que provienen del deshielo glaciar y las precipitaciones pluviales. Depositán un nuevo cono glacio-fluvial, sector Pichupata, distrito de Ocongate.
- Fotografía 5.18** Morrenas laterales en la quebrada Queuesera, que baja desde el nevado Alcamarinayoc, visto desde la carretera Interoceánica que conduce de Ocongate a Quincemil, distrito de Ocongate.
- Fotografía 5.19** Vista del cañón formado por el río Apurímac en el sector de Suyckutambo
- Fotografía 5.20** Valle glaciar de la quebrada Aroccollo, distrito de Velille, carretera Yauri-Velille.
- Fotografía 5.21** Laguna glaciar Sibinacocha, en el distrito de Pitumarca

- Fotografía 5.22** Terrazas en la margen izquierda del río Vilcanota, cerca del distrito de Urcos
- Fotografía 5.23** Llanura inundable y terrazas bajas, en la vista agua abajo del valle del río Salcca, sector de Huallatayre, que pertenece al distrito de San Pablo, provincia de Canchis.
- Fotografía 5.24** Estructura de forma cónica, con apariencia de cono volcánico, formado por la emanación y precipitación desde un punto central de agua rica en carbonato de calcio, sector de Pabellones, distrito de Pampamarca.
- Fotografía 5.25** Bofedales en la cabecera del río Huacahuata, en el distrito de Pitumarca
- Fotografía 5.26** Laguna de Languilayo. Vista hacia el noroeste, distritos Langui y Layo.
- Fotografía 6.1** Escarpe de la falla de Tamboray (Benavente, 2013).
- Fotografía 6.2** Ruptura de la superficie producto de la reactivación de la Falla Qoricocha en 1986 (Benavente, 2013).
- Fotografía 8.1** Río Velille produce erosión en ambas márgenes, también inundaciones con subidas del Caudal.
- Fotografía 8.2** Quebrada Ccanco Ccala corta la carretera a Velille. En la foto se puede observar la socavación que se produce actualmente en el badén.
- Fotografía 8.3** Vista panorámica del deslizamiento de Huamancharpa en la margen izquierda del río Cachona-Huancaro, distrito de Santiago-Cusco.
- Fotografía 8.4** Sector de Chuquicahuana, puente sobre el río Vilcanota, que permite el paso de vehículos hacia Acomayo, destruido por efectos de la erosión fluvial.
- Fotografía 8.5** Paso provisional de vehículos y personas que van hacia Acomayo.
- Fotografía 8.6** Asentamiento en la plataforma de la carretera, cerca del abra Málaga.
- Fotografía 8.7** Huaico de la quebrada Quellomayoc. Puede afectar el poblado de Quellouno, asentado en el abanico proluvial.
- Fotografía 8.8** Erosión fluvial en la margen izquierda del río Yanatile. Puede afectar viviendas asentadas cerca de su cauce.
- Fotografía 8.9** Destrucción de viviendas asentadas cerca del cauce de la quebrada Calquiña en Huyro.
- Fotografía 8.10** Puente que cruza el río Lúcumá, cubierto por el flujo de detritos de la quebrada Calquiña en Huyro.
- Fotografía 8.11** Derrumbe activo de Cocalmayo produce la obstrucción de la carretera; también hay asentamientos en la plataforma de carretera.
- Fotografía 8.12** Flujo de detritos en la quebrada de Puentemayo, sector de Mesacancha
- Fotografía 8.13** Vivienda agrietada en el sector de Sullucuyoc
- Fotografía 8.14** Deslizamiento en el sector de Naranjal, produce asentamientos en la plataforma de la carretera que conduce a Vilcabamba y al poblado de Socospata; el río Vilcabamba produce erosión en el pie del deslizamiento. Se construye muro de concreto para controlar la erosión.
- Fotografía 8.15** Superficie de ruptura cóncava del deslizamiento de Ocobamba, que produjo la destrucción de 30 viviendas en el poblado de Ocobamba.
- Fotografía 8.16** Flujo de detritos que corta la carretera a Ocobamba, cerca de Chinganilla.
- Fotografía 8.17** Deslizamientos y erosión fluvial en la base de la ladera en el sector de San Lorenzo, compromete el poblado y carretera.
- Fotografía 8.18** Asentamiento de casi un metro en la plataforma de la carretera que lleva a Yanatile.
- Fotografía 8.19** Erosión fluvial e inundación producida por el río Yanatile. Puede afectar los poblados de Santiago y Campanayoc.
- Fotografía 8.20** Derrumbes en el talud superior de la carretera, Km. 136+900, material caído obstruye la cuneta.
- Fotografía 8.21** Km. 130+900 de la carretera a Santa Ana-Quillabamba, tramo sin asfaltar, material caído del talud superior se acumula al pie y obstruye la carretera.

- Fotografía 8.22** Sector de Mandor, afectado por erosión fluvial.
- Fotografía 8.23** Quebrada Yuracmayo, vista tomada el 14 de febrero, se observa la magnitud del evento, socavó y erosionó su cauce.
- Fotografía 8.24** Sector de La Balsa, espigones rehabilitados después del último evento del periodo lluvioso 2008.
- Fotografía 8.25** Derrumbe en talud superior de carretera, cortó el tránsito hacia Echarati. Se vienen realizando trabajos de banqueteados en el talud de corte.
- Fotografía 8.26** Flujo de detritos de la quebrada Altarmayo corta la carretera.
- Fotografía 8.27** Quebrada con derrumbe activo en la cabecera de cuenca. El material caído es acarreado como huaico en el sector de Puente Paccha.
- Fotografía 8.28** Quebrada Huachibamba corta el tránsito hacia Lares. Es necesario construir un badén.
- Fotografía 8.29** Erosión fluvial en ambos márgenes del río Yanatile en el sector de Mesada
- Fotografía 8.30** Asentamiento en plataforma de la carretera en el Km. 14+560 de la carretera Calca-Yanatile, substrato de filitas y pizarras.
- Fotografía 8.31** Deslizamiento que cortó toda la plataforma de la carretera en el Km. 3+630 de la carretera Calca-Yanatile, substrato de areniscas, limolita roja e ignimbritas.
- Fotografía 8.32** Confluencia del río Ccochoc en el río Vilcanota. Se observa la ausencia de protección en la margen derecha del río Vilcanota.
- Fotografía 8.33** Sector de Coya, ladera del cerro Bandera cortada por quebrada con derrumbes activos en su cabecera, materiales sueltos son acarreados en forma de huaicos. Se pueden observar los muros de gaviones destruidos.
- Fotografía 8.34** Flujo de detritos que discurre por la calle en el sector de Huaynapata en Coya.
- Fotografía 8.35** Deslizamiento-flujo de tierra de Cuyo Chico
- Fotografía 8.36** Asentamientos y pérdida de la plataforma entre el Km. 4+100 al km 4+900 de carretera de acceso a Písac y Paucartambo.
- Fotografía 8.37** Agrietamientos en paredes de las viviendas en la comunidad de Cuyo Chico.
- Fotografía 8.38** Trabajos de encauzamiento del río Vilcanota con muros de concreto aguas abajo del poblado de Písac.
- Fotografía 8.39** Puente tipo bailey colocado sobre el río Vilcanota para dar pase a la localidad de Písac; el puente antiguo fue destruido por el caudal del río.
- Fotografía 8.40** Tramo encauzado del río Vilcanota con gaviones.
- Fotografía 8.41** Km. 143+500 de la carretera Interoceánica, altura del talud de corte de hasta 250 m, se han cortado varias banquetas para estabilizar la zona; hay caída de cantos de roca.
- Fotografía 8.42** Dos desarrollos de la carretera Interoceánica cerca de la localidad de Marcapata, se presentan taludes inestables por trabajos de ampliación de la carretera.
- Fotografía 8.43** Detritos caídos obstaculizan el tránsito por la carretera Interoceánica en el Km. 148+500.
- Fotografía 8.44** Derrumbe en talud superior de la carretera cerca del sector de Villanuvia, material caído bloqueó el paso por varios días.
- Fotografía 8.45** Derrumbe en talud superior de la carretera compromete secuencia de areniscas y conglomerados, sector del puente Media Luna.
- Fotografía 8.46** Derrumbes en talud superior de la carretera, sector del puente Limonchayoc. Se han construido banquetas en el talud para estabilizarlo.
- Fotografía 8.47** Derrumbe en el talud superior de la carretera en el Km. 115+950 de la carretera Interoceánica, se ha tenido que hacer banquetas en el talud para estabilizar la zona.

- Fotografía 8.48** Talud superior inestable por trabajos de ampliación de la carretera Interoceánica, compromete substrato de pizarras, filitas y depósitos coluviales, a la altura del Km. 109+900.
- Fotografía 8.49** Derrumbes y deslizamientos en el talud superior e inferior de la carretera, compromete secuencia de pizarras negras, produce pérdida de plataforma de la carretera, Km. 104+900 de la Interoceánica.
- Fotografía 8.50** Talud superior de carretera sostenido con muro de gaviones en el cerro Pucaloma; el substrato comprometido es de pizarras y lutitas.
- Fotografía 8.51** Trabajos de estabilización en zona de derrumbes de la carretera Interoceánica, sector de Cerro Morallaqui.
- Fotografía 8.52** Taludes superiores inestables de la carretera Interoceánica en el sector de Cotaña, se han colocado cunetas de coronación en la zona.
- Fotografía 8.53** Talud de corte con baquetas que buscan estabilizar la zona afectada por el deslizamiento de Huayllopampa.
- Fotografía 8.54** Vista panorámica del deslizamiento de Huayllopampa a la altura del Km. 50 de la carretera Interoceánica.
- Fotografía 8.55** Deslizamiento en talud inferior de la carretera Interoceánica, sector de Jillicunca, cuneta se encuentra rota y desplazada.
- Fotografía 8.56** Caída de bloque de roca por mecanismo de falla en cuña, Km. 52+400 de la carretera Interoceánica.
- Fotografía 8.57** Deslizamiento que produce asentamientos en la plataforma de la carretera Interoceánica en el cerro Josjohuarina.
- Fotografía 8.58** Plataforma de la carretera asfaltada, agrietada y con asentamientos. en el sector de Chapiri, margen derecha de la quebrada Collpamayo.
- Fotografía 8.59** Asentamiento de la plataforma de la carretera Interoceánica en el km 10+380, se están realizando trabajos de estabilización.
- Fotografía 8.60** Deslizamiento-flujo de detritos en el sector de Chapiri, margen derecha de la quebrada Collpamayo.
- Fotografía 8.61** Talud superior subvertical de la carretera, entre el Km. 1048+800 al Km. 1049+100, se producen derrumbes y caídas de clastos.
- Fotografía 8.62** Erosión fluvial en el sector de Cusipata, afecta la carretera.
- Fotografía 8.63** Flujo de detritos que baja por quebrada activa, el cauce se presenta colmatado, el poblado de Ccolcca se asienta en el cono deyeectivo de la quebrada, la carretera hacia Sicuani cruza este depósito también.
- Fotografía 8.64** Asentamiento de plataforma y pérdida de asfalto en el Km. 898 de la vía Abancay-Cusco.
- Fotografía 8.65** Erosión fluvial en la margen derecha del río Colorado, afectó la carretera Abancay-Cusco.
- Fotografía 8.66** Torrentera sin nombre que pasa por el poblado de Limatambo, encausada con muros de roca.
- Fotografía 8.67** Derrumbes y flujo de detritos en el valle del río Ancayfana produjeron el relleno del valle y erosión aguas abajo.
- Fotografía 8.68** Erosión fluvial en el talud inferior de carretera, margen derecha del río Apurímac, cerca al puente Cunyac.
- Fotografía 8.69** Cabecera de la quebrada Qenqo donde se originó el deslizamiento flujo de detritos que afectó el poblado de Zurite.
- Fotografía 8.70** Cauce colmatado de la quebrada Qenqo, el material transportado superó la capacidad de carga del canal produciéndose desbordes y la formación de albardones. El flujo de detritos afectó viviendas y calles de Zurite.
- Fotografía 8.71** Desarrollo hacia el Abra Málaga, presenta problemas de derrumbes y deslizamientos en sus taludes superiores por obras de ampliación de la plataforma.
- Fotografía 8.72** Derrumbes en el talud superior de carretera entre los Km. 119+500 al 121+500; vista de la quebrada Pillanicancha, tributaria de la quebrada Tanjac.
- Fotografía 8.73** Tributario de la quebrada Tanjac, donde se inició el evento del 9 de febrero del 2013.
- Fotografía 8.74** Efectos del huaico de la quebrada Tanjac, erosionó varios tramos de la carretera que conduce a Quillabamba.

- Fotografía 8.75** Erosión de las márgenes de la quebrada Tanjac en el sector de Phiri pudo afectar viviendas y tramo de carretera.
- Fotografía 8.76** Quebrada Tanjac, material que acarreó el huaico del 9 de febrero del 2013, sobrepasó la capacidad de carga del cauce, produciendo reboses que formaron albardones, vivienda del Phiri y Tanjac fueron destruidas con este huaico.
- Fotografía 8.77** Erosión fluvial en la margen derecha del río Patacancha afecta el talud inferior de carretera.
- Fotografía 8.78** Huaico en el río Patacancha se desbordó y afectó terrenos de cultivo y viviendas en el sector de Huilloc.
- Fotografía 8.79** Materiales del flujo de detritos del río Patacancha se depositaron en un valle de represamiento, de esta forma no llegó hasta la localidad de Ollantaytambo.
- Fotografía 8.80** Asentamientos en la carretera producidos por reactivación de deslizamiento flujo en el sector de Huyloc.
- Fotografía 8.81** Derrumbes en el talud superior de la carretera Ollantaytambo-Ocobamba, compromete conos de talus.
- Fotografía 8.82** Cuenca alta de la quebrada Chicón.
- Fotografía 8.83** Tramo encausado de la quebrada Chicón en la localidad de Urubamba.
- Fotografía 8.84** Derrumbe-flujo de detritos en el talud superior de la carretera que conduce de Paucartambo a Challabamba.
- Fotografía 8.85** Población que ocupa terrenos de la hacienda Llaychu, asentada sobre una terraza baja en la margen derecha del río Paucartambo, puede ser afectada por procesos de erosión e inundación fluvial.
- Fotografía 8.86** Flujo de detritos que baja por la quebrada Mecllaypata en la margen izquierda del río Paucartambo, puede afectar viviendas del poblado de Mecllaypata.
- Fotografía 8.87** Vista aguas arriba de la quebrada Quencomayo, tramo encauzado con muros de concreto en la localidad de Paucartambo.
- Fotografía 8.88** Deslizamiento en ladera del cerro Llama, margen izquierda del río Huilluca.
- Fotografía 8.89** Carretera a Challabamba cortada por flujo de detritos que baja por la quebrada Cumurumiyoc.
- Fotografía 8.90** Talud superior de la carretera conformado de filitas y pizarras, bloques caen por falla planar.
- Fotografía 8.91** Secuencia de la Formación Huancané que se inclina a favor de la pendiente de la ladera, caída de bloques por falla planar entre el Km. 12+100 al 16+100 de la carretera a Huancarane.
- Fotografía 8.92** Taludes de más de 40 m de altura en la vía a Huancarani, material caído obstruye la vía.
- Fotografía 8.93** Deslizamiento rotacional antiguo reactivado en el cerro Jachi, produce asentamientos en la plataforma de la carretera.
- Fotografía 8.94** Derrumbe-flujo de detritos cerca al poblado de Jaqira, zona de arranque inicia en el talud inferior de la carretera.
- Fotografía 8.95** Escarpa del deslizamiento-flujo de tierra de Ranraccasa.
- Fotografía 8.96** Carretera Cusibamba Bajo-Huaro Bamba trazada en la margen izquierda del valle del río Apurímac, en una ladera que supera los 40° de inclinación.
- Fotografía 8.97** Talud de corte vertical de casi 40 m de altura, muy inestable, desde donde se produce la caída de bloques de roca y suelo.
- Fotografía 8.98** Valle del río Paruro y del poblado de Cusibamba bajo asentado en su margen izquierda cerca a la desembocadura en el río Apurímac, afectado por procesos de erosión fluvial y huaicos, se han colocado espigones con gaviones para evitar que el poblado sea afectado.
- Fotografía 8.99** Carretera Acomayo-Pitumarca, zona donde se presenta asentamiento en el talud superior de la carretera por efectos de un deslizamiento activo.
- Fotografía 8.100** Km. 24 de la carretera Acomayo-Pitumarca, con taludes de corte subverticales en capas rojas. Las caídas de material están controladas por la estratificación de las capas de roca, la familia de fracturas y la dirección del trazo de la carretera.

Fotografía 8.101 Derrumbe en el talud superior entre el Km. 14+300 y el 15+900 de la carretera Sicuani-El Descanso-Espinar.

Fotografía 8.102 Huaico que corta la cruza la carretera por medio de badén, sector de Antaimarca.

Fotografía 8.103 Flujo de detritos en el sector de Porvenir, Km. 19 de la carretera Sicuani-Espinar.

Fotografía 8.104 Flujo de detritos en el sector de Caluyo formo albardones, carretera Langui-Layo.

Cuadros

- Cuadro 2.1** Provincias y distritos de la región Cusco.
- Cuadro 2.2** Distribución de la población a nivel de provincias de la región Cusco.
- Cuadro 2.3** PEA total y ocupada según sexo en la región Cusco.
- Cuadro 2.4** Nivel de instrucción en la región Cusco.
- Cuadro 2.5** Tipo de vivienda en la región Cusco.
- Cuadro 2.6** Distribución de viviendas de la región Cusco por tipo de área donde se localizan.
- Cuadro 2.7** Distribución de viviendas de las provincias de la región Cusco por tipo de área donde se localizan.
- Cuadro 2.8** Material de construcción usado en las paredes de viviendas particulares de la región Cusco.
- Cuadro 2.9** Alumbrado eléctrico por tipo de vivienda en la región Cusco.
- Cuadro 2.10** Tipo de abastecimiento de agua en las viviendas de la región Cusco.
- Cuadro 2.11** Tipo de servicio higiénico en las viviendas de la región Cusco.
- Cuadro 2.12** Tipo de energía que usan para cocinar los hogares en la región Cusco.
- Cuadro 2.13** Estado de la red vial de la región Cusco.
- Cuadro 2.14** Aeródromos, aeropuertos y helipuertos de la región Cusco.
- Cuadro 2.15** Servicio ferroviario de la región Cusco.
- Cuadro 2.16** Centrales eléctricas en la región Cusco.
- Cuadro 2.17** Porcentaje de la población económicamente activa ocupada, según ramas de actividad, para el año 2016.
- Cuadro 2.18** Valor agregado bruto 2011 de la región Cusco, valores a precios constantes 1994 (miles de nuevos soles).
- Cuadro 2.19** Accidentes geográficos de la región Cusco.
- Cuadro 2.20** Clasificación climática del Cusco, según el método de Thornthwaite.
- Cuadro 2.21** Principales lagunas de la región Cusco.
- Cuadro 3.1** Valores de resistencia a la compresión y tracción en algunas rocas sedimentarias.
- Cuadro 6.1** Cronología de peligros geológicos ocurridos en la región Cusco.
- Cuadro 6.2** Datos macrosísmicos de la región Cusco y alrededores.
- Cuadro 6.3** Valores del factor Z en las zonas sísmicas de la región Cusco.
- Cuadro 6.4** Clasificación del factor detonante (sismicidad).
- Cuadro 6.5** Movimientos en masa detonados por sismos.
- Cuadro 6.6** Zonas afectadas por licuación de suelos en el Cusco.
- Cuadro 7.1** Factores o variables y pesos en porcentajes de su influencia en la susceptibilidad.
- Cuadro 7.2** Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a los rangos de pendientes.
- Cuadro 7.3** Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades litológicas.
- Cuadro 7.4** Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades geomorfológicas.

Cuadro 7.5	Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades hidrogeológicas.
Cuadro 7.6	Influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes (Yin et al., 1988).
Cuadro 7.7	Pesos y grado de susceptibilidad a los movimientos en masa asignados a las unidades de cobertura vegetal.
Cuadro 7.8	Ponderación de variables en el análisis de la susceptibilidad a las inundaciones.
Cuadro 7.9	Pesos y grado de susceptibilidad a las inundaciones asignados a las unidades geomorfológicas.
Cuadro 7.10	Pesos y grado de susceptibilidad a las inundaciones asignados a los rangos de pendiente.
Cuadro 7.11	Susceptibilidad a las inundaciones.
Cuadro 8.1	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Chumbivilcas.
Cuadro 8.2	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Cusco.
Cuadro 8.3	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Canchis.
Cuadro 8.4	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de La Convención.
Cuadro 8.5	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Calca.
Cuadro 8.6	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Quispicanchi.
Cuadro 8.7	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Anta.
Cuadro 8.8	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Urubamba.
Cuadro 8.9	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Paucartambo.
Cuadro 8.10	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Paruro.
Cuadro 8.11	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Acomayo.
Cuadro 8.12	Zonas críticas por peligros geológicos en la provincia de Canas.