

REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

BOLETÍN N° 27
Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica

ESTUDIO DE RIESGOS GEOLÓGICOS DEL PERÚ FRANJA N° 2

**POR:
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL**



Lima - Perú
Mayo, 2002

REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

BOLETÍN N° 27
Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica

ESTUDIO DE RIESGOS GEOLÓGICOS DEL PERÚ FRANJA N° 2

Por:
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

 **INGEMMET**

Lima - Perú
Mayo - 2002



INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

JAIME QUIJANDRÍA SALMÓN
Ministro de Energía y Minas

CÉSAR POLO ROBILLIARD
Viceministro de Minas

RÓMULO MUCHO MAMANI
Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET

ALBERTO MANRIQUE POSTIGO
ROLANDO CARRASCAL MIRANDA
PEDRO HUGO TUMIALÁN DE LA CRUZ
ISAAC RÍOS QUINTEROS
VÍCTOR BENAVIDES CÁCERES
Consejo Directivo

HUGO RIVERA MANTILLA
Director Ejecutivo

FUNCIONARIOS TÉCNICOS RESPONSABLES

ANTONIO GUZMÁN MARTÍNEZ
Director de Geología Ambiental

FRANCISCO HERRERA ROMERO
Director de Sistemas de Información

Primera Edición, INGEMMET 2002
Coordinación, Revisión y Edición
Dirección de Sistemas de Información, INGEMMET
Lima - Perú
Se terminó de imprimir el 24 de junio del año 2002 en los talleres del INGEMMET

Hecho el Depósito Legal N° 1501302002-2975
Razón Social : Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio : Av. Canadá 1470, San Borja - Lima-Perú

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN	3
Capítulo I	9
INTRODUCCIÓN	9
1.1 ANTECEDENTES	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.3 METODOLOGÍA	10
1.4 BASE CARTOGRÁFICA	11
1.5 TRABAJOS ANTERIORES	11
Capítulo II	13
ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	13
2.1 ÁMBITO DE ESTUDIO, UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	13
2.2 POBLACIÓN Y VIVIENDA	13
2.2.1 Algunas Características de la Población	16
Departamento de Arequipa	16
Departamento de Puno	17
Departamento de Cusco	17
Departamento de Apurímac	18
Departamento de Ayacucho	18
Departamento de Ica	18
2.3 INFRAESTRUCTURA	19
2.3.1 Infraestructura Vial	19
Redes viales principales	19
Redes viales secundarias	20
Aeropuertos y Aeródromos	20
Puertos	21
2.3.2 Infraestructura Agrícola	21
Proyecto Especial Majes (PEM)	21
Principales obras construidas:	22
Principales obras por ejecutar	22
Proyecto Especial Lago Titicaca (PELG)	22
Ámbito del proyecto	22
Principales obras ejecutadas	23

Obras por ejecutar	23
2.3.3 Infraestructura Energética	24
Centrales hidroeléctricas y térmicas, y subestaciones	24
Líneas de transmisión eléctrica	27
2.3.4 Minería	28
Capítulo III	31
ASPECTOS HIDROLÓGICOS	31
3.1 METEOROLOGÍA	31
3.1.1 Precipitaciones	31
3.1.2 Temperatura	31
3.1.3 Fenómeno Oceanográfico del Pacífico Sur (El Niño y La Niña)	32
3.2 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	34
3.3 HIDROLOGÍA	36
3.3.1 Aguas Superficiales	36
Vertiente del Pacífico	36
Vertiente del Atlántico	36
Vertiente del Titicaca	36
3.3.2 Aguas Subterráneas	38
Acuíferos	38
3.3.3 Lagos y Lagunas	40
3.3.4 Fuentes Termales	41
Flanco Andino Oriental	42
Zona del Altiplano	43
Cordillera Oriental	43
3.3.5 Balance Hídrico	48
3.4 FORMACIONES ECOLÓGICAS Y ZONAS DE VIDA	49
Capítulo IV	57
GEOMORFOLOGÍA	57
4.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	57
4.1.1 Faja Litoral (FL)	57
4.1.2 Cordillera de la Costa (CC)	58
4.1.3 Planicie Costanera (PC)	58
Terrazas aisladas (TA)	59
Depósitos eólicos (DE)	59
Depresión tectónica (DT)	59
Abanicos aluviales (Ab)	60
4.1.4 Valles (V)	60
Valle inundable (Vi)	60
Valle cañón (Vc)	61
4.1.5 Cordillera Occidental	62
Flanco Andino Occidental (FAOC)	62
Flanco Andino Oriental (FAOR)	62

Colinas disectadas (Cold)	62
Llanura intramontana (LL)	63
Superficie de flujos piroclásticos (Sfp)	63
4.1.6 Arco Volcánico	63
Complejos volcánicos (Com)	64
Conos volcánicos (Cov)	64
Colinas volcánico-sedimentarias (Colvs)	64
Lomadas (Lo)	64
Montaña (Mo)	65
Caldera volcánica (Cal)	65
Domos (Do)	65
Morrenas (Mor)	66
Áreas glaciadas (Np)	66
4.1.7 Altiplano	66
Altiplanicie (PA)	66
Colinas altiplánicas (Col-alt)	66
Mesetas (Me)	67
Valle inundable altiplánico (Vi-alt)	67
Valles glaciares y morrenas (Vgm)	67
Bofedales y pampas (Bof-Pam)	67
Depresión del lago Titicaca	68
4.1.8 Cordillera Oriental	68
4.1.9 Faja Subandina	68
4.2 MAPA DE PENDIENTES	69
Capítulo V	85
ASPECTOS LITOLÓGICOS-ESTRUCTURALES	85
5.1 UNIDADES LITOLÓGICAS	85
5.1.1 Unidad I: Depósitos Superficiales	85
Depósitos eólicos	85
Depósitos fluvio-glaciares y depósitos glaciares	85
Depósitos piroclásticos	86
Depósitos aluviales y fluviales	86
Depósitos proluviales, coluviales y lacustres	86
Depósitos marinos	87
Depósitos antropogénicos	87
Relaves	87
5.1.2 Unidad II: Rocas Intrusivas	87
5.1.3 Unidad III: Rocas Volcánicas	88
Lavas y tufos (III-1)	88
Tufos (III-2)	88
5.1.4 Unidad IV: Rocas Volcánico-Sedimentarias	89
5.1.5 Unidad V: Rocas Sedimentarias	89
Areniscas cuarzosas, limolitas, limoarcillitas y carbón (V-1):	89

	Pizarras, limoarcillitas, areniscas cuarzosas y carbón (V-2):	90
	Limolitas, limoarcillitas, areniscas rojas, yeso (V-3):	90
	Calizas (V-4):	90
5.1.6	Unidad VI: Rocas Metamórficas	90
Capítulo VI		93
	PELIGROS GEOLÓGICOS DE REMOCIÓN EN MASA	93
6.1	CARTOGRAFIADO DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES (CPGM) Y BASE DE DATOS GEOREFERENCIADA (BDG)	93
6.2	FACTORES PRINCIPALES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES QUE PROPICIAN LA OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS	94
6.3	DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PELIGROS GEOLÓGICOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA FRANJA N° 2	95
6.3.1	Caídas (desprendimientos de rocas)	98
6.3.2	Caídas (derrumbes)	99
6.3.3	Vuelcos	107
6.3.4	Deslizamientos	107
6.3.5	Flujos	113
	Peligros por huaycos	113
	Peligros por reptación de suelos	114
	Peligros por aluviones	114
	Peligros por flujos de lodo	115
6.3.6	Movimientos Complejos	122
6.4	OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS	125
6.4.1	Arenamientos	125
6.4.2	Erosión de Laderas	126
6.4.3	Erosión Fluvial	126
6.4.4	Hundimientos	136
6.4.5	Aludes o Avalanchas	136
6.5	PELIGROS HIDROLÓGICOS Y ATMOSFÉRICOS	137
6.5.1	Inundaciones	137
6.5.2	Desertificación	142
6.5.3	Sequías	143
6.5.4	Heladas	145
6.5.5	Granizadas	145
Capítulo VII		185
	EVALUACIÓN DEL PELIGRO VOLCÁNICO EN LA FRANJA N° 2	185
7.1	ESTADO DE LOS VOLCANES EN LA FRANJA N° 2	186
	Volcanes activos	186
	Volcanes fumarólicos	186
	Volcanes latentes	186
	Volcanes dormidos	186
	Volcanes inactivos o extintos	186

7.2	ACTIVIDAD VOLCÁNICA PLIO-CUATERNARIA EN LA FRANJA N° 2	190
7.2.1	Actividad Eruptiva en la Franja N° 2 sucedida desde el Plioceno hasta el Holoceno	190
7.2.2	Actividad Eruptiva Histórica en la Franja N° 2	191
7.3	EVALUACIÓN DE LAS AMENAZAS VOLCÁNICAS EN LA FRANJA N° 2 ...	192
7.3.1	Amenazas Reconocidas en la Estratigrafía	197
	Caída de tefras	197
	Flujos piroclásticos	198
	Lahares	199
	Avalanchas de escombros	199
	Flujos de lava y domos	200
7.3.2	Amenazas No Reconocidas dentro de la Estratigrafía	201
	Oleadas piroclásticas	201
	Explosiones laterales dirigidas ("blast")	202
	Emisiones de gases	202
	Sismos volcánicos	203
	Ondas de choque	203
7.4	MAPAS DE AMENAZAS VOLCÁNICAS	211
7.5	ASPECTOS PETROGENÉTICOS DEL VULCANISMO PLIO-CUATERNARIO	211
7.6	ASPECTOS POSITIVOS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA	212
7.7	RECOMENDACIONES PARA MINIMIZAR LAS AMENAZAS VOLCÁNICAS	213
Capítulo VIII		219
PELIGRO SÍSMICO		219
8.1	SÍSMICIDAD	219
8.2	HISTORIA SÍSMICA DE LA FRANJA N° 2	220
8.2.1	Intensidades	223
8.2.2	Mapa de Distribución de Sismos Destruyentes	223
8.2.3	Mapa de Distribución de Máximas Intensidades	223
8.2.4	Mapa de Zonificación Sísmica del Sur del Perú (Reglamento Nacional de Construcciones 1982)	224
8.3	SISMOTECTÓNICA DE LA REGIÓN	224
8.3.1	Falla de Huambo-Cabanaconde:	229
8.3.2	Falla de Quilcapunco	229
8.4	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISMOS	229
8.4.1	Estudio Sísmico Probabilístico	231
8.5	DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO	233
8.6	ACELERACIÓN Y PERÍODOS DE RETORNO	233
8.7	TSUNAMIS	240
8.7.1	Importancia del Estudio Histórico de los Tsunamis	240
8.7.2	Posibles Efectos de Tsunamis en la Franja N° 2	242

Capítulo IX	251
ZONIFICACIÓN DEL RIESGO Y ÁREAS CRÍTICAS	251
9.1 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN	251
9.2 MAPAS DE OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE ACUERDO CON LA BASE DE DATOS GEOREFERENCIADA	252
9.3 MAPA DE PELIGROS MÚLTIPLES (MPM)	252
9.3.1 Mapa de Áreas Sujetas a Deslizamientos, Movimientos Complejos, Caídas (desprendimientos de rocas, derrumbes), Aludes y Hundimientos	253
9.3.2 Mapa de Áreas Sujetas a Flujos y Arenamiento	253
9.3.3 Áreas Sujetas a Arenamiento	254
9.3.4 Mapa de Áreas Sujetas a Erosión de Laderas	254
9.3.5 Mapa de Áreas Sujetas a Inundaciones y/o Erosión de Riberas	256
9.3.6 Áreas Sujetas a Hundimientos	256
9.3.7 Áreas Sujetas a Peligros Volcánicos	260
9.3.8 Zonificación Sísmica	260
9.4 MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES E INSTALACIONES CRÍTICAS	260
9.5 INSTALACIONES CRÍTICAS	261
Capítulo X	275
CONSIDERACIONES GEOLÓGICO AMBIENTALES	275
10.1 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	281
Pampa Galeras-Bárbara D'Achile:	282
Reserva Nacional del Titicaca	282
Reserva Nacional Salinas-Aguada Blanca	284
Reserva Nacional de Paracas	284
10.2 PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO	285
10.2.1 Departamento de Arequipa	285
Descubrimiento de la Dama de Ampato	285
Cuevas de Sumbay	286
Puerto Inca	286
10.2.2 Departamento de Cusco	287
Raqchi	287
Kañamarca	287
Mauk'a Livitaca	287
Chullpas de Chiñisiri	287
10.2.3 Departamento de Puno	288
Kaluyo	288
Tiahuanaco	288
Complejo Arqueológico de Sillustani	288
Pucará	288
Quilli Quilli	288
Cancha Cancha	288

Huaraconi	289
Maucallajta	289
Maucallajta de Cuchopujio de Nuñoa	289
Necrópolis de Ulunku y Huancarani (Moho)	289
Fortaleza de Quequerani	289
Keñalata (Vilquechico)	289
10.2.4 Departamento de Ica	290
Líneas de Nasca	290
Líneas de Palpa	290
10.2.5 Departamento de Ayacucho	290
Andamarca	290
Chipao	291
10.2.6 Departamento de Apurímac	291
Templo de Pampamarca	291
Bosque de Queuñas de Lancaqui	292
Templo de Huayllaripa	292
Templo de Chuquinga	292
Templo de Pairaca	292
Andenería de Caraybamba	293
Bosque de titankas o puyas de Raimondi	293
Baños termomedicinales de Pincahuacho	293
10.3 ÁREAS GEOLÓGICAS TURÍSTICAS (PARQUES, MONUMENTOS Y ÁREAS NATURALES)	293
Parque Natural Volcanes de Andahua, Orcopampa y Sora	294
Monumento Natural de Warari	294
Monumento Natural Valle del río Colca	295
Monumento Natural Valle del río Cotahuasi-Huarcaya	296
Parque Natural de Tinajani	296
Monumento Natural de Pachapupo	297
Monumento Paleontológico de Sacaco	297
Monumento Natural Cañón del río Apurímac	298
Monumento Natural de Imata	298
Parque Natural Volcanes de Huambo	298
Monumento Natural Volcán Nevado Coropuna	299
Parque Natural Ccarhuaraso-Andamarca-Pucacocha	299
Capítulo XI	325
MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O CORRECTIVAS	325
11.1 CÓMO PUEDEN IDENTIFICARSE ZONAS AMENAZADAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	325
11.2 CÓMO DEBE EFECTUARSE LA EVACUACIÓN	325
11.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	326
11.3.1 Para Áreas con Deslizamientos	326
Medidas de Protección	327

11.3.2 Para Inundaciones y Flujos Rápidos (aluviones y huaycos)	327
Medidas de Protección	327
Permanentes:	327
De emergencia:	327
Sistemas de Protección contra las Inundaciones	328
11.3.3 Para otros Fenómenos de Remoción en Masas	329
11.3.4 Para Sismos y Tsunamis	330
11.3.5 Para Peligros Geovolcánicos	331
11.4 MEDIDAS CORRECTIVAS	332
11.4.1 Vegetación	332
Selección de especies vegetales	336
11.4.2 Bioingeniería	338
Construcciones vivas	343
Construcción inerte	348
Componentes estructurales–mecánicos de la estabilización biotécnica.	
Estructuras de contención	349
Aspectos generales	349
Estructuras porosas de contención	349
Revestimientos	350
CONCLUSIONES	357
BIBLIOGRAFÍA	361

Relación de mapas

Mapa N° 1	Mapa Satelital del área de Estudio
Mapa N° 2	Mapa de Población Censada
Mapa N° 2a	Mapa de Población Económicamente Activa
Mapa N° 3	Mapa de Densidad Poblacional
Mapa N° 4	Mapa de Ubicación de Obras de Infraestructura
Mapa N° 5	Mapa de Clasificación Climática
Mapa N° 6	Mapa de Cuencas Hidrográficas
Mapa N° 7	Mapa Ecológico
Mapa N° 8	Mapa Geomorfológico
Mapa N° 9	Mapa de Pendientes
Mapa N° 10	Mapa Litológico
Mapa N° 11	Mapa de Inventario de Peligros Geológicos (MIPG)
Mapa N° 12	Mapa de Amenazas Volcánicas por Fenómenos de Caída de Tefras y Explosiones Laterales Dirigidas de Volcanes Plio-Cuaternarios
Mapa N° 13	Mapa de Amenazas Volcánicas por Fenómenos de Lahares, Flujos de Lava y Flujos Piroclásticos de Volcanes Plio-Cuaternarios
Mapa N° 14	Mapa de Isosistas del Terremoto de Nasca del 24 de agosto de 1942
Mapa N° 15	Mapa de Isosistas del Terremoto de Nasca del 12 de noviembre de 1996
Mapa N° 16	Mapa de Isosistas del Terremoto de Arequipa del 23 de junio del 2001
Mapa N° 17	Mapa de Distribución de Sismos Destruidores (1555-2001)
Mapa N° 18	Mapa de Intensidades Máximas
Mapa N° 19	Mapa de Zonificación Sísmica
Mapa N° 20	Mapa de Áreas Sujetas a Deslizamientos, Movimientos Complejos, Caídas, Vuelcos, Alud o Avalancha y Hundimientos
Mapa N° 21	Mapa de Áreas Sujetas a Flujos (huaycos) y Arenamiento
Mapa N° 22	Mapa de Áreas Sujetas a Erosión de Laderas
Mapa N° 23	Mapa de Áreas Sujetas a Inundaciones y Erosión de Riberas
Mapa N° 24	Mapa de Ocurrencia de Peligros Geológicos Múltiples (MPGM)
Mapa N° 25	Mapa de Peligros Geológicos Múltiples e Instalaciones Críticas (MPGM-MIC).
Mapa N° 26	Mapa de Áreas Naturales Protegidas y Patrimonio Arqueológico.

PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

Jefe del Proyecto

Antonio Guzmán Martínez

Lionel Fídel Smoll

Bilberto Zavala Carrión

Germán Valenzuela Ortiz

Segundo Núñez Juárez

Marco Rivera Porras

Walter Pari Pinto

PREFACIO

El 19 de febrero de 2001 fue dado a conocer en Ginebra un documento titulado «Cambio Climático 2001: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad», en el cual un grupo internacional de expertos pone al día un informe anterior de 1995, basado en la más avanzada tecnología existente en materia de mediciones y pronósticos sobre este problema mundial.

El documento en mención, concluye que no hay cambios en la caracterización global del fenómeno de calentamiento que sufre el planeta por acción humana, que en lo esencial continuará a lo largo del siglo XXI, en el que se espera una elevación de temperaturas que va desde 1,4°C hasta 5,8°C según los modelos aplicados, que prevén un aumento en el nivel de los océanos de entre 9 a 88 centímetros.

«Nuestro informe no es más catastrófico que el de 1995, lo que deja en claro es que el calentamiento del planeta ya está en curso y que afecta a un cierto número de sistemas geográficos. El más notorio es sin duda el de los glaciares, cuyo volumen en un 98% de los casos se encuentra en disminución», afirma el experto Michel Petit.

Los expertos se concentran en la tarea de medir los impactos que este cambio climático tendrá en los diferentes ecosistemas, con el fin de diseñar un Atlas de las regiones más vulnerables a este fenómeno, que abarca la desaparición de glaciares, deshielo del permafrost, alargamiento de los ciclos de crecimiento de los vegetales, migración de ciertas plantas y animales a zonas más propicias, floraciones precoces y aumento de las inundaciones y sequías que han afectado a ciertas regiones del planeta, incluyendo nuestro país.

En el capítulo de efectos negativos, además de ciclones, nuevas epidemias, erosión de suelos, deslizamientos y huaycos, se menciona una reducción potencial de las cosechas en la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales (región en la que está ubicado nuestro país) y la disminución de las reservas de agua en las zonas áridas (hecho que tendrá una implicación muy grave) y aumento del llamado «stress hídrico» que afecta hoy a 1 700 millones de seres humanos, los que podrían llegar a los 5 000 millones en el año 2025.

También se menciona, un incremento del número de poblaciones expuestas al paludismo y al cólera, el riesgo de sufrir inundaciones para decenas de millones de perso-

nas debido a la abundancia de lluvias y a la subida del nivel del mar, y lo último, pero no lo menor, un aumento en el consumo de energía debido a la necesidad de ambientes climatizados en verano.

El informe asegura que ciertas sociedades podrán reducir los efectos negativos del fenómeno, por medio de variadas formas de adaptación, pero que ellas serán costosas. En cambio otras, con recursos más reducidos, verán aumentar su vulnerabilidad. Lo que hay que interpretar, es cómo serán los cambios que afectarán a los países subdesarrollados, ya que ellos llevarán la peor parte.

Estamos ante un informe que refleja todo lo que se puede decir sobre el recalentamiento planetario en el estado actual del conocimiento humano. Pocos científicos cuestionan ya el hecho de que este fenómeno es producido por el lanzamiento a la atmósfera de emisiones de gases que causan el fenómeno "Efecto Invernadero", cuya responsabilidad corresponde en un 80% a los países desarrollados. Lo más grave aún, es que EEUU se ha negado a firmar los acuerdos de las Negociaciones de Kyoto 1997 (Japón) sobre la reducción del volumen de emisiones de gases a la atmósfera (La República 13/3/2001).

La interrogante que se plantea, ¿están las ciudades y las obras de infraestructura de hoy y del futuro pendientes de que suceda una catástrofe?. Todos los días leemos noticias sobre ciudades y obras de infraestructura afectadas por desastres naturales. Probablemente esta tendencia continuará y empeorará, a menos que cambiemos nuestras políticas y acciones sobre el medio ambiente y el desarrollo.

Las ciudades y obras de infraestructura están en peligro, porque cada vez, más de ellas se asientan en zonas vulnerables a los desastres, también porque el crecimiento acelerado de la población y de la migración dificultan la labor de las autoridades para proteger a todos de las catástrofes, así como porque las urbanizaciones y obras de infraestructura están creando desequilibrios en los ecosistemas, que provocan desastres.

RESUMEN

La Franja N° 2, se localiza entre los paralelos 14° a 16° de latitud sur, con un territorio de 148 100 km² y comprende parte de los departamentos de Arequipa, Puno, Cusco, Apurímac, Ayacucho e Ica.

Presenta una población de aproximadamente 1,80 millones de habitantes, los que viven principalmente en áreas urbanas (ciudades de Juliaca, Puno, Ica, Nasca, Sicuani, Espinar, Ayaviri, Puquio, Coracora y numerosos distritos y pueblos). La población rural se halla más desarrollada en la zona del Altiplano (Puno) y en los pueblos del interior. Los idiomas principales son el español, quechua y aymara, éste último solamente en la zona altiplánica.

La principal actividad de los pobladores es la agricultura, siguiendo el comercio, la industria y la minería. La educación es impartida desde el nivel inicial hasta el universitario pasando por la educación secundaria y superior. Las principales universidades son las nacionales de El Altiplano y San Luis Gonzaga de Ica. La vivienda de las poblaciones en la zona costera, es predominantemente de material noble, ladrillo y concreto, en la altoandina y rural predomina el adobe y la quincha.

En infraestructura vial, la franja cuenta con vías asfaltadas como la Panamericana Sur, las carreteras Nasca-Puquio-Chalhuanca-Abancay-Cusco (gran parte asfaltada), Juliaca-Puno, Juliaca-Ayaviri-Sicuani-Cusco; numerosas carreteras afirmadas: Arequipa-Santa Lucía-Juliaca (en construcción), Arequipa-Tintaya-Sicuani-Cusco, Tintaya-Santo Tomás-Cusco, Cusco-Antabamba-Chalhuanca, Aplao-Chuquibamba-Cotahuasi, Aplao-Viraco-Andahua-Orcopampa, Arequipa-Chivay-Cailloma-Arcata e innumerables trochas carrozables y caminos rurales que entrelazan las diversas ciudades y pueblos de la franja. Las líneas férreas Arequipa-Juliaca y Puno-Juliaca-Cusco constituyen un importante medio para el transporte en la región.

La energía eléctrica necesaria para el desarrollo de la región, es producida por mini centrales hidroeléctricas locales, la reciente interconexión Transmantaro, línea Chalhuanca-Cotaruse-Huambo-Socabaya, las centrales hidroeléctricas de San Gabán (Puno) y Machu Picchu (Cusco). Esta energía es conducida por las líneas de transmisión que interconectan la zona y los sistemas eléctricos centro-sur y sur.

Los recursos hídricos superficiales son escasos en la Franja N° 2, sobre todo en la zona sur hacia la vertiente pacífica, por lo que se han construido obras de embalse y regulación, para su mejor aprovechamiento, en la agricultura, el uso energético, poblacional e industrial, como en el caso de las represas de Condoroma y Pañe, en la cuenca alta del río Colca, Arequipa. Los ríos Arma y Apurímac, fuentes de caudales importantes, han sido estudiados para efectuar obras de almacenamiento, regulación y trasvase (en el caso de éste último), cuyas aguas serán utilizadas en los Proyectos de Ocoña (río Arma) y Majes (presa Angostura), en los cuales ya se han efectuado algunos trabajos de acondicionamiento, carreteras de acceso y obras como canales, a la espera de su ejecución y puesta en marcha.

En lo que respecta a los recursos hídricos subterráneos, en la zona del Altiplano se extrae agua subterránea tanto para uso agrícola, como industrial y poblacional, explotando acuíferos libres en depósitos aluviales y fluvio-glaciares, y acuíferos confinados en rocas sedimentarias detríticas como areniscas, limolitas y calizas. En el sector de la Costa, Ica tiene la más alta concentración de pozos en un valle, con más de 1 200 en total, incluyendo la zona de Calango al océano, principalmente para uso poblacional, agrícola e industrial. En las demás áreas de la franja se tiene poco conocimiento del potencial hídrico subterráneo.

Las aguas termales y minerales de la Franja N° 2, constituyen otro recurso inexplorado hasta el presente. Existen áreas geotermales que pueden desarrollarse como complejos turísticos, tanto para uso como baños termales, termomedicinales (locales o regionales), como también para uso geoturístico, paisajístico por su relación a las ocurrencias de minerales polimetálicos, oro y estaño asociado a ellas.

La Franja N° 2 presenta una geomorfología dominada por procesos internos y externos, que dan origen a morfologías variadas. Las geoformas presentes, van desde angostos espacios costeros, lomadas con acumulaciones eólicas, vertientes, laderas, colinas y montañas cortadas por valles fluviales de corto y gran recorrido, planicies, estructuras volcánicas, montañas glaciares (volcán-nevados y nevados) en las divisorias intercuenas y divisorias de aguas continentales, hasta espacios plano-ondulados a plano-depresionados extensos, que constituyen la superficie altiplánica, con una gran depresión de origen tectónico, el lago Titicaca. La zona nororiental de la franja, adyacente al Altiplano, la constituyen la Cordillera Oriental y la Faja Subandina.

Los procesos de geodinámica externa que afectan a la zona, son variados, habiéndose inventariado un total de 1 496 ocurrencias de peligros geológicos, referidos sobre todo a fenómenos de **remoción en masas** (huaycos, derrumbes, deslizamientos movimientos complejos, reptación de suelos, erosiones fluviales, erosión de laderas, etc.), **peligros hidrológicos** (inundaciones fluviales, lacustres, desertificación y sequía) y **peligros atmosféricos** (heladas y granizadas). Estos, afectan a laderas, terrazas y quebradas con áreas agrícolas, redes viales como carreteras y ferrovías, áreas pobladas, centros mineros y obras de infraestructura. Son importantes los deslizamientos de Lari, Madrigal y Maca (valle de Chivay); el derrumbe de Carigua (cañón del Colca), cerro Jollevirca (Andahua-Chachas),

sector Huarío (vía Aplao-Chuquibamba), sector Capiza (vía Aplao-Viraco), derrumbes y deslizamientos del sector Lucanas-Puquio, Puquio-Coracora y Coracora-Incuyo, derrumbes en la carretera Antabamba-Abancay; el arenamiento de Tanaka en la Panamericana Sur, las inundaciones y erosiones fluviales de los ríos Ica, Grande-Nasca, Vilcanota (áreas de Sicuani, San Pedro y San Pablo), los ríos Huancané, Ramis, Coata e Ilpa y áreas circundantes al lago Titicaca; huaycos periódicos, ocasionales y excepcionales que se producen en las quebradas y valles de la vertiente occidental, Cordillera Oriental y algunos valles interandinos.

La Franja N° 2, desde el punto de vista de la geodinámica interna, está influenciada por la subducción de las placas de Nasca con la Continental, con un ángulo de 30°, lo que se ha manifestado con los procesos volcánicos y sísmicos que han ocurrido en su territorio, que le dan una característica especial de compresión.

El hidrotermalismo manifiesto en las zonas Andina, Altiplánica y en la Cordillera Oriental de la franja, nos permite deducir que la actividad volcánica reciente, todavía consta de focos magmáticos activos que están directamente relacionados con la mineralización moderna del área. El territorio ha estado afectado por una intensa actividad volcánica, la que actualmente se manifiesta en los volcanes o complejo de volcanes activos, latentes y/o dormidos del: Ampato-Sabancaya-Hualca Hualca, Coropuna, Solimana, Firura y el valle de los volcanes de Huambo, Andahua y Sora (Arequipa), Sara Sara y Ccarhuaraso (Ayacucho), volcanes de Santo Tomás y volcán Quinsachata (Cusco).

La actividad sísmica, ha generado terremotos, que han afectado a los pueblos y ciudades, ocasionando una alta cantidad de víctimas y daños a la agricultura, a las obras de infraestructura, a las redes viales y a la minería. Son recientes los sismos destructores ocurridos en Nasca (12-11-1996), Arequipa (23-06-2001) y Antabamba (09-08-2001). En el sector costero, la generación de tsunamis ha afectado parte del litoral, puertos, caletas y playas.

Al comparar y/o combinar el Mapa de Instalaciones Críticas (MIC) con el Mapa de Peligros Múltiples (MPM), en la Franja N° 2, se han localizado 33 instalaciones críticas, ubicadas en la zona de muy alta amenaza por peligros geológicos/hidrológicos, que merecen especial atención.

Desde el punto de vista geológico-económico, la Franja N° 2 consta de ingentes recursos minerales del tipo pórfido, skarn, vetas o mantos y disseminados, los que son explotados por la gran y mediana minería, caso Tintaya (BHP-Billiton), Marcona (Shougun), Orcopampa (Buenaventura), San Rafael (Minsur), Cailloma, Arcata y Ares (Hoschield); pequeña minería (Arirahua, San Antonio de Poto, mina Calpa (Caravelí), mina Santa Rosa (Misti Gold)); y minería artesanal (Yanaquihua, Cerro Rico-La Central, La Rinconada, Ananea, y cerca de 40 comunidades en la franja Nasca-Ocoña). En proceso de prospección y exploración se hallan varios prospectos como: Los Chancas (Southern Peru), Las

Bambas (BHP Tintaya). Minerales no metálicos son explotados en pequeña escala, destacando la explotación de rocas calcáreas (Caracoto-Puno).

Los recursos agrícolas, están desarrollados principalmente a lo largo de los valles principales de la Costa, Sierra y el Altiplano (en laderas, terrazas, abanicos, conos aluviales, colinas, pampas altas, etc.), sin embargo, existen extensas áreas (pampas costaneras) que podrían aprovecharse para la explotación agrícola, pero que por escasez de aguas superficiales suficientes como para emprender obras de irrigación, no puedan aprovecharse, aplicando técnicas modernas de riego (goteo, aspersión, microgoteo, etc). En las cuencas medias a altas de los ríos principales, en sus laderas y márgenes, los peligros de erosión fluvial, de laderas (cárcavas y surcos) y de reptación de suelos (en las cabeceras de los valles), afectan a dichos recursos, disminuyendo considerablemente la superficie cultivable. Se ha observado este problema en la cuenca del río Vilcanota. Asimismo, inundaciones fluviales (asociadas a erosiones fluviales) y lagunares, destruyen muchas áreas cultivadas, en el Altiplano. En algunos sectores las técnicas de riego aceleran procesos de remoción en masa, como derrumbes y/o deslizamientos, destruyendo grandes áreas de cultivo, tal es el caso del valle del río Colca, donde se ha encontrado la mayor cantidad de ocurrencia de estos fenómenos.

La Franja N° 2 cuenta con cuatro reservas nacionales: Lago Titicaca, Salinas-Aguada Blanca, Pampa Galeras-Bárbara D'Achille y Paracas; sin embargo existen muchas otras áreas donde destacan monumentos geológicos y restos arqueológicos, que por su belleza paisajística, interés científico e histórico, deberían ser considerados e incorporados como áreas naturales intangibles, y diseñar la gestión y uso adecuado para su explotación como recursos geoturísticos, incluyéndoseles en «paquetes turísticos», como atractivos adicionales al turismo conocido, contribuyendo de esa forma al desarrollo socio-económico de las poblaciones de su entorno. Se destacan las áreas de Tinajani (Ayaviri), valle de los volcanes de Andahua, Huambo y Sora (Andahua-Orcopampa y Huambo), cañón y cascada de Sipia (río Cotahuasi), cañón del Colca y fuentes termales del área de Cabanaconde, cañón del río Apurímac, áreas geotermales y arqueológicas entre Puquio-Andamarca-Chimpao, grutas de Warari (Livitaca), Sillustani y Pucará (Puno), Raqchi (Cusco), líneas y geoglifos de Nasca y Palpa (Ica), son ejemplos de restos arqueológicos importantes en la Franja N° 2.

En la relación geológica ambiental, podemos manifestar que los problemas de contaminación que afectan a la franja, son de tipo natural y antrópico. La contaminación natural, se manifiesta por las fumarolas que arrojan al espacio los volcanes, el lavado natural de las rocas volcánicas por las aguas de precipitación pluvial y escorrentía superficial, los efectos de las aguas termales, etc. La contaminación antrópica, ocurre por el empleo de plaguicidas y abonos en la agricultura; la sanguaza de la actividad pesquera; los relaves y botaderos expuestos a la acción eólica y fluvial; drenajes ácidos de socavones de pequeñas minas y tajos abandonados; la minería aurífera artesanal extendida en Nasca-Ocoña-Cerro Rico-Yanaquihua y Ananea-La Rinconada-Sandia; la apertura de carreteras; que han alterado el entorno ecológico. Otros problemas ambientales lo cons-

tituyen el estado actual de muchas carreteras de penetración, utilizadas para el transporte pesado y el abastecimiento a centros mineros, que ocasionan el levantamiento de polvo al paso de los vehículos, la ausencia de rellenos sanitarios en la mayoría de ciudades y centros poblados, la contaminación por los gases de combustión de vehículos automotores en mal estado, como ocurre en las ciudades de Juliaca, Puno, Ica y Nasca, principalmente.

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En el marco del Plan de Trabajo del INGEMMET, se ha contemplado realizar el estudio de riesgos geológicos de todo el Perú, para lo cual se ha dividido al país en siete (7) franjas, de sur a norte.

El presente informe es el resultado del estudio de la Franja N°2, que se ubica entre los paralelos 14° y 16°, e involucra parte de los departamentos de Arequipa, Puno, Cusco, Apurímac, Ayacucho, Ica y Huancavelica. Con este estudio se completa el departamento de Arequipa (estudiado en parte en la franja N°1), y se empiezan a trabajar los departamentos de Cusco, Apurímac, Ayacucho, Ica, Huancavelica, el departamento de Puno se completará, con el estudio de la Franja N° 3.

La franja comprende altitudes que van desde los 0 msnm hasta los 6 733 msnm (volcán nevado Coropuna), entre las ciudades importantes están la de Puno (3 940 msnm), Juliaca (3 880 msnm) e Ica (439 msnm).

Esta franja presenta zonas climáticas, que varían de muy seca a muy húmeda, desértica (Palpa, Nasca, etc.), a muy lluviosa (Sandía, San Juan del Oro, etc.), y lluviosa en período estacional (verano) todo el año.

Han ocurrido una serie de fenómenos de geodinámica interna y externa; entre los primeros destacan los terremotos de Maca (1991), Nasca (1997), Antabamba (2001), y Arequipa (2001), este último, aunque su epicentro estuvo fuera del área, sus efectos llegaron hasta esta franja. Todos ellos destructivos, afectaron principalmente obras de infraestructura. Destacan también, la actividad volcánica reciente del volcán Sabancaya (1991-1994), con caída de cenizas, decayendo su actividad en el año 1997, afectó a diversos poblados que se encuentran en su área de influencia. La actividad volcánica en el Holoceno está representada por la formación de los valles volcánicos de Andahua, Soras, los volcanes de Santo Tomás; las emanaciones de lavas de los centros volcánicos de Sara Sara, Ampato, Coropuna, y Firura, los cuales indican que hubo una fuerte actividad volcánica, que en la actualidad es muy tenue.

Entre los fenómenos de geodinámica externa de grandes dimensiones, tenemos el deslizamiento de Maca, el represamiento del río Colca que posiblemente tuvo lugar después de la época holocénica, al igual que el del río Cuyocuyo, etc.

Otros fenómenos hídricos han dado lugar a inundaciones por el desborde de los lagos: Titicaca, Arapa, y Umayo; ríos como el Coata, Ramis, etc. que afectaron seriamente algunos poblados y terrenos de cultivo ubicados cerca a sus orillas o márgenes.

Esta área tiene una población aproximada de 1 773 793 habitantes (proyección a 1995 – INEI, 1996) y representa el 7,65 % de la población peruana.

1.2 OBJETIVOS

- Realizar el inventario de los fenómenos geodinámicos y antropogénicos que afectan el área de estudio, actualizando la base de datos.
- Realizar zonaciones preliminares de riesgos geológicos, para centros poblados, áreas de cultivo, centros mineros, puertos, etc.
- Análisis de la vulnerabilidad de la zona de trabajo.

1.3 METODOLOGÍA

En el presente trabajo se han contemplado tres fases:

a) Fase de Gabinete I

- Recopilación de información y su respectiva evaluación
- Adquisición de mapas aerofotogramétricos a escala 1:100 000
- Evaluación de la base de datos de geodinámica existente.
- Interpretación de imágenes satelitales y de fotografías aéreas.
- Plasmar la información adquirida en los mapas aerofotogramétricos.

b) Fase de campo

- División del área de trabajo en tres bloques, para su mejor desarrollo.
- Inventario en lo posible de todos los fenómenos de riesgo geológico.
- Evaluación e interpretación de los fenómenos geológicos inventariados.
- Recolección de muestras de rocas y aguas de interés.

c) Fase de Gabinete II

- Depuración de la información obtenida en el campo
- Elaboración de la base de datos de fenómenos geodinámicos e hidrológicos que afectan el área de la Franja N° 2.
- Análisis e interpretación de la información emitida por los laboratorios con respecto a las muestras enviadas (rocas y aguas).
- Análisis e interpretación de la información obtenida.
- Elaboración de mapas y figuras.
- Preparación y elaboración del informe final

1.4 BASE CARTOGRÁFICA

Se han usado:

- 52 Mapas aerofotogramétricos a escala 1:100 000 editados por el IGN, de los cuales 31 estaban con el Datum Provisional de Sudamérica 56, y 21 con el Word Geodetic System 1984 (WGS-84).
- Mapas de la Carta Geológica Nacional a escala 1:100 000.
- Imágenes satelitales a escala 1:100 000, y mosaicos a escala 1:500 000 y 1:75 000. Ver Mapa N°1.
- Mapas ecológicos, climatológicos, etc. de diversas instituciones públicas.

1.5 TRABAJOS ANTERIORES

En la Franja N°2 se han realizado varios estudios, entre los cuales destacan los estudios de geodinámica externa de las cuencas, realizados por el INGEMMET:

- Estudio Geodinámico de las cuencas de los ríos Quilca, Sigvas y Vitor (1997)
- Estudio Geodinámico de la cuenca del río Camaná-Majes (Colca) (1994)
- Estudio Geodinámico de la cuenca del río Ica (1994)

También se han realizado anteriormente los siguientes estudios de peligro volcánico:

- Riesgo volcánico en el sur del Perú. INGEMMET (1997)
- Inventario de volcanes del Perú. INGEMMET (1997)
- Estudio del riesgo volcánico del volcán Sara Sara. INGEMMET (1997)
- Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán nevado Coropuna. INGEMMET (1997)

Otros estudios realizados anteriormente son los siguientes:

- Estudio geodinámico del área de Llacas (1973)
- Deslizamiento del cerro Qeshuisa , distritos de Lari y Madrigal (1963)
- Deslizamiento de tierras en el distrito de Livitaca (1967)

El INGEMMET ha culminado el Estudio de Riesgos Geológicos en la Franja N°1, el cual está publicado y a disposición de los interesados.

Capítulo II

ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 ÁMBITO DE ESTUDIO, UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio está ubicada entre los paralelos 14°00' y 16°00' de latitud sur (Figura N° 1), comprende un área aproximada de 148 100 km², involucra parte de los departamentos de Arequipa, Puno, Cusco, Apurímac, Ayacucho, Ica y Huancavelica.

Es accesible por vía aérea desde Lima a las ciudades de Arequipa, Cusco y Juliaca, las cuales cuentan con aeropuertos internacionales. Por vía terrestre la vía principal es la Carretera Panamericana Sur, que cruza los departamentos de Ica y Arequipa, carreteras de penetración como Nasca-Puquio-Chalhuanca-Cusco, y la de Puno-Cusco, todas asfaltadas, otra vía importante es la carretera Arequipa-Juliaca en proceso de construcción. De estas carreteras, salen otras vías de penetración, las cuales conducen hasta el interior de la franja.

2.2 POBLACIÓN Y VIVIENDA

Según el compendio estadístico del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), proyectado al año 1995, el área de estudio cuenta con una población de 1 773 793 habitantes, los cuales representaban el 7,65 % de la población peruana. Ver Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
Distribución poblacional por departamentos comprendido dentro
de la Franja N° 2

	Departamento	Habitantes	Porcentaje (*)
1	AREQUIPA	121 321	0,522
	PUNO	865 475	3,725
3	CUSCO	288 172	1,240
4	APURIMAC	76 776	0,331
5	AYACUCHO	103 527	0,445
6	ICA	315 620	1,359
7	HUANCAVELICA	2 902	0,013
	TOTAL	1 773 793	7,6535

(*) Porcentaje tomado con respecto al total de la población peruana proyectada a 1995. (23 531 701 hab.)

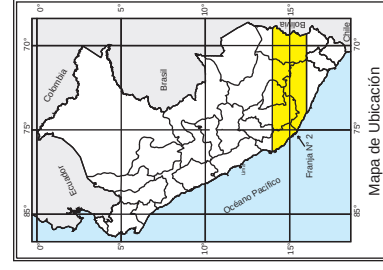
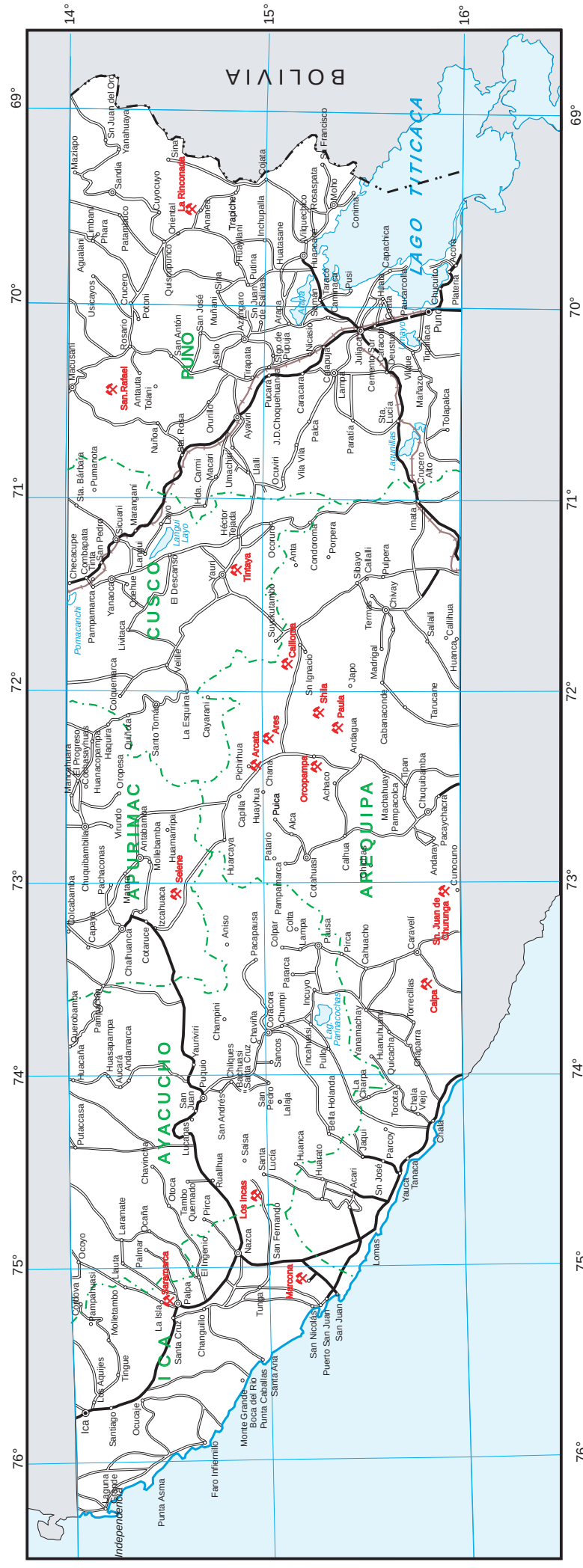


Fig N° 1

Según el censo de 1993 del INEI, la población económicamente activa (PEA) de la Franja N° 2 es de 522 317 habitantes, cuya distribución se muestra en el Cuadro N° 2:

Cuadro N° 2
Distribución de la población económicamente activa (PEA) de
la Franja N° 2 por departamentos

	Departamento	Habitantes	Porcentaje (**)
1	AREQUIPA	37 269	0,524
2	PUNO	263 215	3,702
3	CUSCO	78 936	1,11
4	APURÍMAC	22 492	0,316
5	AYACUCHO	28 634	0,403
6	ICA	90 711	1,276
7	HUANCAVELICA	1 060	0,014
	TOTAL	522 317	7,346

(**) Porcentaje tomado respecto al total de población económica activa peruana según el censo 1993 (7 109 527 habitantes).

En el Cuadro N°3, se presenta el total de la población a nivel provincial, población económicamente activa (PEA) y el número de viviendas en la Franja N° 2, cuyos datos han sido tomados del Banco de Información Distrital del INEI (Base del Censo Nacional IX de Población y IV de Vivienda-1993, con proyecciones poblacionales a 1995), de los departamentos de Arequipa, Puno, Cusco, Apurímac, Ica y Huancavelica.

Cuadro N° 3
Población, PEA y número de viviendas a nivel provincial de la Franja N° 2

Dpto.	Provincia	Población(*)	PEA(**)	N° de vivi. ocup. (**)
AREQUIPA	CARAVELI	25 420	9 101	6 589
	CASTILLA	21 656	6 239	6 922
	CAILLOMA	34 661	10 832	11 353
	UNIÓN	17 636	4 859	6 412
	CONDESUYOS	21 948	6 238	6 299
	TOTAL	121 321	37 269	32 811
PUNO	PUNO	201 514	57 052	56 978
	LAMPA	45 913	11 412	14 914
	AZÁNGARO	146 348	41 449	42 565
	MELGAR	76 268	20 230	20 312
	SAN ANTONIO DE PUTINA	29 713	8 660	8 230
	CARABAYA	21 148	7 250	5 619
	MOHO	34 678	11 804	11 943
	SANDIA	47 838	21 065	18 102
	SAN ROMÁN	177 248	53 747	37 414
	HUANCANÉ	84 771	30 546	26 529
	TOTAL	865 439	263 215	242 606

Dpto.	Provincia	Población(*)	PEA(**)	N° de vivi. ocup. (**)
CUZCO	CANCHIS	94 094	25 296	23 689
	ACOMAYO	12 850	3 816	3 920
	CHUMBIVILCAS	74 509	17 486	16 606
	CANAS	42 209	13 877	10 992
	ESPINAR	58 609	16 913	14 384
	PARURO	5 901	1 548	1 389
	TOTAL	288 172	78 936	70 980
APURÍMAC	AYMARAE	20 682	5 123	7 995
	ANTABAMBA	13 168	3 981	4 687
	COTABAMBA	17 124	6 758	4 660
	GRAU	19 144	5 431	6 196
	ANDAHUAYLAS	6 658	1 199	2 741
	TOTAL	76 776	22 492	26 279
AYACUCHO	PAUCAR DEL SARA SARA	10 659	2 874	4 487
	PARINACOCAS	24 003	7 003	8 365
	LUCANAS	58 734	16 251	21 954
	SUCRE	9 604	2 368	3 655
	VICTOR FAJARDO	527	138	252
	TOTAL	103 527	28 634	38 713
ICA	ICA	245 218	69 589	53 113
	NASCA	56 061	16 643	15 588
	PALPA	14 341	4 479	3 965
	TOTAL	315 620	90 711	72 666
HUANCA-VELICA	HUAYTARA	2 902	1 060	1 260
	TOTAL	2 902	1 060	1 260

(*) Datos proyectados a 1996, según el INEI

(**) Datos del censo de 1993, según el INEI

2.2.1 Algunas Características de la Población

En el Mapa N° 2 se presenta gráficamente a la población censada en la Franja N° 2 (INEI, 1995). A continuación analizaremos estas cifras por departamentos.

Departamento de Arequipa

El departamento de **Arequipa**, presenta una tasa de crecimiento poblacional anual (1981-1993) de 2 %. Las provincias que están dentro de la Franja N°2, son Cailloma, parte de Caravelí, Condesuyos, Castilla y La Unión, de las cuales la primera cuenta con la mayor población (34 661 habitantes) y la última, la de menor población (17 636 habitan-

tes). La mayor parte está concentrada en las márgenes y laderas de los valles principales como Colca, Cotahuasi, etc., otros sectores son los cercanos al litoral (Atico, Chala, Lomas), y en menor proporción en los sectores altoandinos.

Según el censo de 1993, la densidad poblacional a nivel distrital, en la Franja N° 2, es menor a 5 hab./km².

La provincia con mayor concentración de viviendas es Cailloma.

Departamento de Puno

Las provincias involucradas dentro del área de estudio son, parte de Puno (con excepción de los distritos de San Antonio y Pichacani), San Román, Azángaro, Huancané, Melgar, Sandia, Lampa, Moho, San Antonio de Putina, y parte de Carabaya (distritos de Macusani, Crucero, Usicayos, y Ajoyani).

La población urbana, se concentra principalmente en los distritos de Juliaca y Puno con densidades poblacionales de 299,64 y 228,35 hab./km² respectivamente.

Las ciudades importantes de Juliaca y Puno que están catalogadas como las ciudades más pobladas del Perú, cuya tasa de crecimiento promedio anual es de 5,3 y de 2,6 respectivamente (datos obtenidos por el INEI, de los censos de 1981 y 1993).

En estas dos ciudades importantes también hay un mayor número de viviendas con 56 978 y 37 414, para Juliaca y Puno respectivamente.

Departamento de Cusco

Dentro del área de estudio están involucradas las provincias de Espinar, Canas, Chumbivilcas, Canchis y parte de Acomayo (distritos de Pomachiri, Acopia, Mosoc Llacta) y Paruro (distrito de Omacha).

Las provincias de mayor concentración poblacional son Canchis (Sicuani) y Canas (Yanaoca) con 25,24 y 20,67 Hab. /km².

Sicuani tiene una tasa de crecimiento intercensal 1981-1993 de 1,60% y Yanaoca de 1,50%, según los datos obtenidos por el INEI.

Las provincias con mayor población son Yauri, Santo Tomás, Yanaoca y Sicuani, donde los centros poblados se ubican a lo largo de los valles.

El mayor número de viviendas ocupadas se presenta en el distrito de Sicuani con un total de 12 588.

Departamento de Apurímac

En la Franja N° 2 se encuentran las provincias de Antabamba, Grau (a excepción de los distritos de Gamarra, Palpacachi y Huayllati), Aymaraes (a excepción de los distritos de Lucre, Pochuanca, San Juan de Chacña y Tintay) y Cotabamba (distritos de Huaquirá y Mara).

Los distritos de mayor concentración poblacional son Vilcabamba y Santa Rosa (provincia de Grau) con 114,29 hab./km² y 24,06 hab./km² respectivamente. En la provincia de Aymaraes los distritos de mayor concentración poblacional son Soraya y Pochuanca con 19.49 y 16.83 hab./km².

La mayor concentración de población se ubica en los distritos de Chuquibambilla (provincia de Grau), Huaquirá (provincia de Cotabamba) y Chalhuanca (provincia de Aymaraes), generalmente distribuida a lo largo de los valles.

En lo que se refiere a la vivienda, la mayor cantidad se encuentra en la provincia de Aymaraes.

Departamento de Ayacucho

Dentro de los límites de la Franja N°2 se encuentran las provincias de Páucar de Sara Sara, Parinacochas, Lucanas y parte de Sucre y Víctor Fajardo.

Los distritos con mayor concentración poblacional son Santiago de Paucaray, Paico (provincia de Sucre), Santa Ana de Huaycahuacho, San Juan y Puquio (provincia de Lucanas).

Pero donde existe un mayor número de habitantes son los distritos de Puquio (provincia de Lucanas), Coracora (provincia de Parinacochas) con poblaciones de 12 628 y 12 268 hab. Esta población generalmente se distribuye a lo largo de sus valles interandinos.

Departamento de Ica

En la Franja N°2 se encuentran las provincias de Nasca, Palpa e Ica (a excepción de los distritos de San José de los Molinos y Salas).

La mayor concentración poblacional se encuentra en los distritos de Parcona y Subtanjalla (provincia de Ica), con 2 479,41 y 346,91 hab./km². Los distritos con mayor concentración poblacional son Ica, Parcona y Nasca con 113 865, 46 117 y 24 939 hab. respectivamente.

La población urbana está concentrada en el distrito de Ica, el cual cuenta casi con un 97,5 % de este tipo de población. Es una de las ciudades más pobladas del Perú, cuenta con una tasa de crecimiento anual de 2,9 %.

El distrito de Ica presenta un total de viviendas ocupadas de 24 551, mayormente distribuidas en la zona urbana.

En el Mapa N° 3 se presenta la densidad poblacional de la Franja N°2 a nivel distrital según INEI, 1995.

2.3 INFRAESTRUCTURA

Se tratarán sobre las redes viales, aérea y marítima que existe dentro del área de estudio, así como también los proyectos de irrigación, líneas de transmisión eléctrica y principal actividad minera. Ver Mapa N° 4.

2.3.1 Infraestructura Vial

En el área de estudio existen carreteras, asfaltadas, afirmadas y trochas, así como algunas en construcción.

Redes viales principales

Se tienen un total aproximado de 1 600 km de vías asfaltadas, sin contar la nueva vía Juliaca–Arequipa, en proceso de asfaltado.

Entre las vías principales se tienen la Carretera Panamericana Sur, que atraviesa los departamentos de Ica hasta Arequipa, con una longitud aproximada de 373 km.

Otra carretera importante es la vía Nasca–Puquio–Chalhuanca–Abancay–Cusco–Juliaca–Puno (faltando parte del trecho Chalhuanca–Abancay), tiene una longitud aproximada de 1 350 km.

Se está construyendo la carretera asfaltada Arequipa-Juliaca, la cual atraviesa parte del área de estudio, en la actualidad se encuentra en trabajo de asfaltado, va a tener un recorrido menor a 400 km.

Existe otra vía antigua que conecta Arequipa con Juliaca, la cual en gran parte de su recorrido está en mal estado, siendo el tramo Santa Lucía (Puno), Salinas (Arequipa), casi intransitable en períodos lluviosos.

Redes viales secundarias

Las carreteras secundarias de la franja son aquellas que se inician en las vías principales hasta el interior del país, son carreteras afirmadas y trochas carrozables, se incluye en esta categoría los caminos de herradura.

Entre las principales vías tenemos: Chala-Cháparra-Quicacha, Atico-Caravelí-Cahuacho-Pausa-Lampa, Puquio-Chaviña-Coracora-Pausa, Arequipa-Chivay-Cailloma-Orcopampa, Aplao-Chuquibamba-Cotahuasi, Chalhuanca-Mollebamba-Antabamba-Oropesa, Antabamba-Chuquibambilla, Sicuani-Yanaoca-Santo Tomás, Putina-Ananea-Cuyocuyo-Sandia-San Juan del Oro, Juliaca-Azángaro-Crucero-Limbani, Lampa-Paratia, Huancané-Vilque-Moho, Santa Rosa-Nuñoa-Macusani, Ayaviri-Yauri-Santo Tomás, etc.

Aeropuertos y Aeródromos

En el área de estudio se localizan un aeropuerto y seis aeródromos, cuyas características se muestran en el Cuadro N°4.

Cuadro N° 4
Aeropuertos y Aeródromos y ubicados en la Franja N° 2

Nombre	Tipo	Ubicación			Tipo de Super.	Altitud (msnm)	Largo de Pista (m)
		Dpto.	Prov.	Dist.			
Manco Cápac	Aeropuerto	Puno	San Román	Juliaca	Asfalto	3 880	4 000
Ventilla	Aeródromo	Puno	Puno	Puno	Arcilla-Arena	4 100	1 950
Yauri	Aeródromo	Cusco	Espinar	Yauri	Arena	3 900	
Orcopampa	Aeródromo	Arequipa	Castilla	Orcopampa	Arena	3 700	
San Rafael	Aeródromo	Puno	Carabaya	Macusani	Arena	4 400	
La Primavera	Aeródromo	Ica	Nasca	Vista Alegre	Asfalto	580	
Porona	Aeródromo	Ica	Nasca	Vista Alegre	Asfalto	589	

Puertos

En el litoral marino y en borde del lago Titicaca del área de estudio existen puertos, los cuales se describen en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
Descripción de Puertos ubicados en la Franja N° 2

Puerto	Ubicación			Categoría	Tipo de Puerto	Observaciones
	Departamento	Provincia	Distrito			
Puno (*)	Puno	Puno	Puno	Mayor	Puerto lacustre	Puerto que permite intercambio comercial entre Puno y Bolivia.
Chucuito (*)	Puno	Puno	Chucuito	Menor	Puerto lacustre	
Charcas	Puno	Puno	Ácora	Caleta	Caleta lacustre	
Chala (*)	Arequipa	Caravelí	Chala	Caleta	Caleta marítima	
Lomas (*)	Arequipa	Caravelí		Mayor	Caleta marítima	
San Nicolás (*)	Ica	Nasca	Marcona	Mayor	Puerto marítimo	Es uno de los puertos más importantes del Perú, permite que anclen barcos de hasta 500 000 TM.
San Juan (*)	Ica	Nasca	Marcona	Menor	Puerto marítimo	

(*) Fuente: Compendio Estadístico 2001 - INEI

2.3.2 Infraestructura Agrícola

En el área de trabajo se ubican dos grandes Proyectos Especiales, el de Majes, y el del Lago Titicaca, entre otros tenemos las presas Yaurihuire, Ancascocha, Pacchaya. A continuación se exponen algunas características de los proyectos principales:

Proyecto Especial Majes (PEM)

Fue creado por el Decreto Supremo N° 252-73-AG del 21 de febrero de 1973. Con la Ley N° 23350 del 29 de diciembre del año 1981 artículo 171, se creó la Autoridad Autónoma del Proyecto Especial Majes, como organismo encargado de normar y ejecutar el desarrollo del proyecto.

Posteriormente con la Ley 23740 del año 1984, se transfieren las tierras del Proyecto Majes a favor de AUTODEMA.

Principales obras construidas:

- Represa de Condoroma (285 MMC*).
- Infraestructura hidráulica: Canal madre (14,5 km), vasos reguladores y redes de tubería de presión (68,88 km). Canal lateral (6,5 km), vasos reguladores y redes de tubería de presión (40,50 km).
- Infraestructura hidráulica: Canal lateral (3,8 km), vasos reguladores y redes de tubería de presión (51,10 km).
- Minicentral hidroeléctrica Sigüas «I» 1,6 Mw. (Franja N° 1).
- Ejecución de obras en la sección Pampa Baja: Canal madre (3,8 km), conductor forzado, vaso regulador (60 000 m³), canal principal (7,8 km) y vaso pulmón de 60 000 m³ (Franja N° 1).
- Afianzamiento del río Chili: estabilización de la quebrada El Cazador (595 800 m³) y rehabilitación del canal Zamacola en 7,3 km (Franja N° 1).
- Afianzamiento del río Arma: explanación de la plataforma del panal principal en 20,5 km y mejoramiento de riego del canal Andaray-Yanaquita en 4,35 km y canal Charco-Ispacas en 2,95 km.
- Construcción de carretera de acceso a la presa de Angostura (17,7 km). Construcción de sistema de drenaje en el sector Maca (1,4 km).

Principales obras por ejecutar

- Presa de Angostura (1000 MMC*).
 - Derivación Angostura-Colca 16,5 km.
 - Derivación Sigüas - pampa de Sigüas y sus redes de distribución. (Franja N° 1)
 - Obras de infraestructura hidroenergética: Centrales Hidroeléctricas Lluta (382 Mw).
 - Afianzamiento del río Arma: mejoramiento de riego con canales laterales (75,0 km) y ampliación de la frontera agrícola (162,6 km de canales).
- MMC* = millones de metros cúbicos.

Proyecto Especial Lago Titicaca (PELG)

Fue creado por Decreto Supremo N° 023 - 87-MIPRE del 27 de octubre de 1987. Calificado como proyecto binacional mediante Decreto Supremo N° 008-90-RE.

Ámbito del proyecto

La región del proyecto abarca las cuencas hidrográficas del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y salar de Coipasa, con una superficie total de 143 900 km²

(Perú-Bolivia), y comprende la parte altiplánica del departamento de Puno (Perú) y de los departamentos de La Paz y Oruro (Bolivia).

Las provincias beneficiadas con este proyecto en el Perú son: Puno, Azángaro, Huancané, Lampa, Melgar, Moho, San Antonio de Putina, San Román, Yunguyo, Chucuito y El Collao.

Se consideran lo siguiente: Proyecto Integral Lagunillas y Proyecto Integral Ilave-Huenque, de los cuales el primero está enteramente desarrollado dentro de la Franja N° 2 y el segundo proyecto se ubican en la Franja N° 1.

Principales obras ejecutadas

- Presa Lagunillas (500 MMC) para irrigar 31 040 ha.
- Bocatoma Cabana Mañazo.
- Canal de derivación Cabana Mañazo (17 km de canal revestido).
- Construcción de canales de la Irrigación Huataquita (18,15 km), sistema de drenaje de la irrigación Huataquita (10,2 km).
- Instalación de la planta de bombeo, canal de empalme y secundario de la irrigación Camicachi. Canales (20,66 km) y sistema de drenaje de la irrigación Camicachi (4,38 km).
- Canal de derivación Chihuane (7 km de plataforma de canal y 1,40 km de canal revestido).(Franja N° 1).
- Mejoramiento de carreteras comunales (71,21 km).
- Construcción de defensas ribereñas (31,4 km) y control de erosión.
- Reconstrucción de 1 751 ha y desarrollo agrícola de 4 180 ha con tecnología Waru Waru.
- Actualización y perfeccionamiento del Plan Director Global Binacional del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS).
- Producción y repoblamiento de especies ícticas nativas de 7 224 027 alevinos.
- Implementación de módulos piscícolas de truchas.
- Estudio integral para la descontaminación y el desarrollo de la bahía de Puno.
- Repoblamiento y recuperación de 2 734 ha de totorales.

Obras por ejecutar

- Construcción de canal de riego de 14 km (módulo Cabana-Vilque Mañazo).
- Estudio de Proyecto Integral Ilave-Huenque (módulo Ácora). (Franja N° 1).
- Desarrollo rural sustentable (reconstrucción y desarrollo agrícola en Waru Waru en 1024 ha).

- Elaboración de 4 estudios regionales y locales: agrometeorología, estudio preliminar del sistema Huancané, hidráulica fluvial e isotopía.
- Desarrollo de tecnologías, promoción y comercialización de la actividad pesquera. Desarrollo ecoturístico de las áreas inundables de la ciudad de Puno. Monitoreo de la contaminación de la bahía de Puno.

A continuación se describen el proyecto Integral Lagunillas y el Módulo Vilque Mañazo.

En el Cuadro N° 6 se exponen la ubicación de las presas que se ubican dentro de la Franja N° 2.

Cuadro N° 6
Principales Presas ubicadas en la Franja N° 2

Presa	Ubicación			Embalse MMC (*)	Observaciones
	Dpto.	Provincia	Distrito		
Condoroma	Arequipa	Cailloma	Tisco	285	Funcionando
Pañe	Cusco	Espinar	Condoroma	85	Funcionando
Dique de Los Españoles	Arequipa	Cailloma	San Antonio de Chuca		Funcionando
Lagunillas	Puno	Lampa	Santa Lucía	500	Funcionando
Umayo	Puno	Puno	Atuncolla		Funcionando
Pacchaya	Ayacucho	Lucanas	Puquio		
Anascocha	Ayacucho	Lucanas	Puquio		

(*)Millones de metros cúbicos

2.3.3 Infraestructura Energética

Centrales hidroeléctricas y térmicas, y subestaciones

En los Cuadros N° 7, 8 y 9 se presentan las características de las principales centrales hidroeléctricas, térmicas, subestaciones y líneas de transmisión.

Cuadro N° 7
Centrales Hidroeléctricas

N°	Central Hidroeléctrica	Situación	Ubicación			P.I. (MW)
			Dpto.	Provincia	Distrito	
1	VILCABAMBA	MENOR A 500 KW	APURIMAC	GRAU	VILCABAMBA	0,400
2	CHALHUANCA	MENOR A 500 KW	APURIMAC	AYMARAES	CHALHUANCA	0,120
3	AUCARA CABANA	SIN REGULARIZACIÓN	AYACUCHO	LUCANAS	AUCARA	0,240
4	HERCA	AUTORIZACIÓN	CUSCO	SICUANI	CANCHIS	0,820
5	ANTABAMBA	MENOR A 500 KW	APURIMAC	ANTABAMBA	ANTABAMBA	0,060
6	LANGUI	AUTORIZACIÓN	CUSCO	CANAS	LANGUI	8,000
7	LARAMATE	MENOR A 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	LARAMATE	0,220
8	ANDAMARCA	MENOR A 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	CARMEN SALCEDO	0,090
9	CHIPAO	MENOR A 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	CHIPAO	0,040
10	CHAVIÑA	MENOR 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	CHAVIÑA	0,090
11	CORACORA	MENOR 500 KW	AYACUCHO	PARINACOCHAS	CORACORA	0,280
12	CHOCOCO	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	LA UNIÓN	ALCA	0,670
13	HI-1	SIN REGULARIZAR	AREQUIPA	CAILLOMA	CAILLOMA	0,280
14	HI-2	SIN REGULARIZAR	AREQUIPA	CAILLOMA	CAILLOMA	0,620
15	HUANCARAMA	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CASTILLA	ORCOPAMPA	3,900
16	INCUYO	MENOR 500 KW	AYACUCHO	PARINACOCHAS	PUYUSCA	0,320
17	HI-3	SIN REGULARIZAR	AREQUIPA	CAILLOMA	CAILLOMA	0,650
18	PAUSA	MENOR 500 KW	AYACUCHO	PAUCAR DEL SARA SARA	PAUSA	0,200
19	VIRACO – MACHAGUAY	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CASTILLA	VIRACO	0,180
20	MISAPUQUIO	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CONDESUYOS	CAYARANI	4,600
21	ONGORO	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CAILLOMA	CAILLOMA	0,520
22	PAMPACOLCA	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CASTILLA	PAMPACOLCA	0,100
23	CHUQUIBAMBA	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CONDESUYOS	CHUQUIBAMBA	0,200

* (MW) Potencia Instalada a diciembre 1999.

Fuente : ATLAS MINERÍA Y ENERGÍA EN EL PERÚ 2000

Cuadro N° 8
Centrales Térmicas

N°	Central Térmica	Situación	Ubicación			P.I. (MW)
			Dpto.	Provincia	Distrito	
1	CÓRDOBA	MENOR 500 KW	HUANCAVELICA	HUAYTARÁ	CÓRDOBA	0,050
2	SAN JUAN DEL ORO	MENOR 500 KW	PUNO	SANDIA	SAN JUAN DEL ORO	0,100
3	SANDIA	MENOR 500 KW	PUNO	SANDIA	SANDIA	0,400
4	MINSUR	AUTORIZACIÓN	PUNO	MELGAR	ANTAUTA	8,500
5	TANTARÁ	SIN AUTORIZACIÓN	AYACUCHO	LUCANAS	CABANA	0,140
6	ANDAMARCA	MENOR 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	LUCANAS	0,298
7	ANTABAMBA	MENOR 500 KW	APURÍMAC	ANTABAMBA	ANTABAMBA	0,200
8	CHIPAO	MENOR 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	CHIPAO	0,100
9	SELENE	AUTORIZACIÓN	APURÍMAC	AYMARAES	COTARUSE	0,960
10	LUCANAS	MENOR 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	LUCANAS	0,100
11	PUQUIO	AUTORIZACIÓN	AYACUCHO	LUCANAS	PUQUIO	1,800
12	CHANGUILLO	MENOR 500 KW	ICA	NASCA	CHANGUILLO	0,300
13	TAMBO QUEMADO	MENOR 500 KW	AYACUCHO	LUCANAS	LEONCIO PRADO	0,100
14	NASCA	SIN REGULARIZACIÓN	ICA	NASCA	NASCA	2,950
15	PUTINA	SIN REGULARIZACIÓN	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	PUTINA	0,480
16	CORACORA	MENOR 500 KW	AYACUCHO	PARINACOCAS	CORACORA	1,000
17	COTAHUASI	MENOR 500 KW	AREQUIPA	LA UNIÓN	COTAHUASI	0,160
18	HUANCANÉ	SIN REGULARIZACIÓN	PUNO	HUANCANÉ	HUANCANÉ	0,270
19	SAN NICOLÁS	AUTORIZACIÓN	ICA	NASCA	MARCONA	62,500
20	HUANCANÉ	MENOR 500 KW	PUNO	HUANCANÉ	HUANCANÉ	0,192
21	BELLA UNIÓN	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CARAVELÍ	BELLA UNIÓN	0,400
22	ARCATA	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CONDESUYOS	CAYARANI	6,000
23	HUAYLLACO-CAILLOMA	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CAILLOMA	CAILLOMA	4,360
24	ORCOPAMPA	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CASTILLA	ORCOPAMPA	3,976
25	PAUSA	MENOR 500 KW	AYACUCHO	PÁUCAR DEL SARA SARA	PAUSA	0,200
26	ACARÍ	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CARAVELÍ	ACARÍ	0,460
27	ARES 2	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CASTILLA	ORCOPAMPA	5,100
28	SHILA	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CASTILLA	CHACHAS	2,440
29	LOMAS	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CARAVELÍ	LOMAS	0,080
30	TAPARACHI	AUTORIZACIÓN	PUNO	SAN ROMÁN	JUALIACA	7,800
31	YAUCA	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CARAVELÍ	YAUCA	0,130
32	CHUQUIBAMBA	MENOR 500 KW	AREQUIPA	CONDESUYOS	CHUQUIBAMBA	0,340
33	ARIRAHUA	AUTORIZACIÓN	AREQUIPA	CONDESUYOS	YANAQUIHUA	2,410
34	PAMPACOLCA	SIN REGULARIZACIÓN	AREQUIPA	CASTILLA	PAMPACOLCA	0,200
35	CHALA	MENOR 50 KW	AREQUIPA	CARAVELÍ	CHALA	0,420
36	BELLAVISTA	AUTORIZACIÓN	PUNO	PUNO	PUNO	7,850
37	CARAVELÍ	MENOR A 500 KW	AREQUIPA	CARAVELÍ	CARAVELÍ	0,200

* (MW) Potencia Instalada a diciembre 1999.

Fuente : ATLAS MINERÍA Y ENERGÍA EN EL PERÚ 2000

Cuadro N° 9
Subestaciones

N°	Subestación	Ubicación		
		Dpto.	Provincia	Distrito
1	COMBAPATA	CUSCO	CANCHIS	COMBAPATA
2	LIVITACA	CUSCO	CHUMBIVILCAS	LIVITACA
3	ICA NORTE	ICA	ICA	ICA
4	CHUQUIBAMBILLA	APURÍMAC	GRAU	CHUQUIBAMBILLA
5	PARCONA	ICA	ICA	PARCONA
6	CHALHUANCA	APURÍMAC	AYMARAES	CHALHUANCA
7	CHAMACA	CUSCO	CHUMBIVILCAS	CHAMACA
8	SAN RAFAEL	PUNO	MELGAR	
9	SICUANI	CUSCO	CANCHIS	SICUANI
10	SANTA MARGARITA	ICA	ICA	
11	LLUSCO	CUSCO	CHUMBIVILCAS	LLUSCO
12	ANTAUTA	PUNO	MELGAR	ANTAUTA
13	PUQUIO	AYACUCHO	LUCANAS	PUQUIO
14	ANANEA	PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	ANANEA
15	AZÁNGARO	PUNO	AZÁNGARO	AZÁNGARO
16	PALPA (LLIPATA)	ICA	PALPA	PALPA
17	AYAVIRI	PUNO	MELGAR	AYAVIRI
18	NASCA	ICA	NASCA	NASCA
19	CORACORA	AYACUCHO	PARINACOCAS	CORACORA
20	TINTAYA	CUSCO	ESPINAR	YAURI
21	HUANCANÉ	PUNO	HUANCANÉ	HUANCANÉ
22	MARCONA	ICA	NASCA	MARCONA
23	COTAHUASI	AREQUIPA	LA UNIÓN	COTAHUASI
24	S.E. CAILLOMA	AREQUIPA	CAILLOMA	CAILLOMA
25	SAN NICOLÁS	ICA	NASCA	SAN NICOLÁS
26	BELLA UNIÓN	AREQUIPA	CARAVELI	BELLA UNIÓN
27	JULIACA	PUNO	SAN ROMÁN	JULIACA
28	CALLALLI	AREQUIPA	CAILLOMA	CALLALLI
29	S.E. CHALA	AREQUIPA	CARAVELI	CHALA
30	CHUQUIBAMBA	AREQUIPA	CONDESUYOS	CHUQUIBAMBA
31	MAÑAZO	PUNO	PUNO	MAÑAZO
32	PUNO 60 KW	PUNO	PUNO	PUNO

Fuente : ATLAS MINERÍA Y ENERGÍA EN EL PERÚ 2000

Líneas de transmisión eléctrica

El Sistema Interconectado del Sur y parte del centro del Perú, según el Atlas de Minería y Energía en el Perú 2000, en lo que respecta a la Franja N° 2, se tienen ocho líneas de transmisión eléctrica importantes, las cuales se mencionan en el Cuadro N° 10.

Cuadro N° 10
Líneas de Transmisión Actuales en la Franja N° 2

N°	Nombre de línea	Tensión (kV)	Long. real de cada línea (km)
1	S.E. Tintaya - S.E. Ayaviri	138	82,5
2	S.E. Ayaviri - S.E. Azángaro	138	42,4
3	S.E. Azángaro - S.E. Juliaca	138	78,2
4	C.H. Quencoro (*) - S.E. Combapata	138	87,5
5	S.E. Combapata - S.E. Tintaya	138	101,9
6	S.E. Santuario (*) - S.E. Tintaya	138	179,5
7	S.E. Ica – S.E. Marcona	220	155,0
8	S.E. Ica – S.E. Independencia (*)	220	55,2

(*) S.E. ubicadas dentro de la Franja N° 3

Las líneas de transmisión proyectadas para el año 2002 se detallan en el Cuadro N° 11

Cuadro N° 11
Líneas de transmisión para ser construidas
el año 2002 en la Franja N° 2

Nombre de línea	Tensión (kV)	Descripción
Puno–Montalvo(**)	220	Reforzamiento de sistema
Puno–Juliaca	138	Cambio de tensión de 60 Kv a 138 Kv
Tintaya–Azángaro	138	Proyecto San Gabán
Azángaro–San Gabán	138	Proyecto San Gabán
Puno–Azángaro	138	Reforzamiento de sistema.

2.3.4 Minería

En la Franja N°2, la mayor producción minera ocurre en la mina San Rafael, primera productora nacional de estaño, que coloca al Perú como el principal productor de estaño nacional y ha conllevado también que el Perú esté dentro de los primeros productores a nivel mundial, destaca la mina de Marcona que es la primera productora de hierro en el Perú, seguidamente la mina de Tintaya que explota cobre, Cailloma con polimetálicos, Arcata (polimetálica), Ares (oro y plata) y Paula 49 (oro y plata). También se encuentran otras pequeña minas que están laborando en forma artesanal (informales).

En el Cuadro N° 12 se mencionan algunas minas metálicas que están en actividad y en el Cuadro N° 13 se presentan algunos de los proyectos de inversión y prospectos en estudio ubicados en la Franja N° 2 .

Cuadro N° 12
Principales minas metálicas

N°	Mina	Sustancia	Ubicación			Observaciones
			Dpto.	Prov.	Distrito	
1	Mina San Rafael	Estaño	Puno	Carabaya	Macusani	Funcionando formalmente
2	Minas Marcona	Hierro	Ica	Nasca	Marcona	Funcionando formalmente
3	Tintaya	Cobre	Cusco	Espinar	Yauri	Paralizada en enero del 2002
4	Cailloma	Plomo, plata, zinc y cobre	Arequipa	Cailloma	Cailloma	Funcionando formalmente
5	Arcata	Plata, plomo y oro	Arequipa	Condesuyos	Cayarani	Funcionando formalmente
6	Ares	Oro, plata	Arequipa	Castilla	Orcopampa	Funcionando formalmente
7	Rinconada	Oro	Puno	San Antonio de Putina	Ananea	Funcionando formalmente
8	Selene	Oro, Plata	Apurímac	Aymaraes	Cotaruse	Funcionando formalmente
9	Shila	Oro	Arequipa	Castilla	Cachas	Funcionando formalmente
10	Paula 49	Oro, plata	Arequipa	Castilla	Orcopampa	Funcionando formalmente
11	Saramarca	Oro	Ica	Palpa	Santa Cruz	Funcionando formalmente
12	Los Incas	Oro, cobre	Ayacucho	Lucanas	Santa Lucía	Funcionando formalmente
13	Sol de Oro	Oro	Ica	Nasca	Vista Alegre	Trabajada por informales
14	Chimpihuato	Plata y oro	Ayacucho	Lucanas	San Pedro	Trabajada por informales
15	Zorro Plateado	Plomo, zinc, cobre	Ayacucho	Lucanas	Otoco	Trabajada por informales
16	Vicuñita	Oro, plomo, zinc, cobre	Ayacucho	Lucanas	Puquio	Trabajada por informales
17	Jellonillas	Oro, plata, y plomo	Ayacucho	Lucanas	Puquio	Trabajada por informales
18	Piruacho	Oro, plomo, zinc.	Arequipa	Castilla	Uñon	Trabajada por informales
19	El Cofre	Zinc, plomo, plata y oro	Puno	Lampa	Paratia	Trabaja formalmente

Fuente: Dirección de Geología Económica y Prospección Minera (2001)

Cuadro N° 13
Proyectos de Inversión y Prospectos en Estudio

N°	Proyecto	Sustancia a explotar	Ubicación		
			Dpto.	Prov.	Distrito
1	Agua Verde	Oro, cobre	Apurímac	Aymaraes	Turpay
2	Aucapampa	Oro	Apurímac	Aymaraes	Sañayca
3	Pacapausa	Plata, oro	Apurímac	Aymaraes	Chalhuanca
4	Quenamari	Plata, cobre, zinc, plomo, estaño	Puno	Carabaya	Ajoyani
5	Jarhuarazo	Oro	Ayacucho	Lucanas	Chipao
6	Huanzo	Oro	Apurímac	Antabamba	Oropesa
7	Livi	Oro, cobre	Cusco	Chumbivilcas	Livitaca
8	Winicocha	Oro	Cusco	Chumbivilcas	Livitaca
9	Katanga	Cobre	Cusco	Chumbivilcas	Chamaca
10	San Juan de Lucanas	Plata	Ayacucho	Lucanas	Lucanas
11	Ingenio	Oro	Ica	Nasca	El Ingenio
12	Leviatán	Cobre	Cusco	Chumbivilcas	Velille
13	Títán	Oro	Arequipa	La Unión	Puyca
14	Chalhuane	Oro, cobre	Ica	Nasca	Nasca
15	Corimayo	Oro	Ayacucho	Lucanas	Chaviña
16	Antapacay	Cobre, oro	Cusco	Espinar	Yauri
17	Huayllura	Oro	Arequipa	La Unión	Huaynacotas
18	Quechua	Cobre	Cusco	Espinar	Espinar
19	Colpar	Oro	Ayacucho	Páucar del Sara Sara	Marcabamba
20	Pararapa	Oro	Arequipa	La Unión	Huaynacotas
21	Luicho	Oro	Ayacucho	Páucar del Sara Sara	Colta
22	El Dorado	Oro	Arequipa	Condesuyos	Salamanca
23	Tonalita Nahuira	Cobre, oro	Puno	San Román	Juliacá
24	Luky	Cobre	Puno	Lampa	Santa Lucía
25	Cachas-Antacota	Oro, cobre	Arequipa	Castilla	Choco
26	Paracota	Oro	Arequipa	Castilla	Andahua
27	Minera Jaquí	Oro	Arequipa	Caravelí	Jaquí
28	Tuyumina	Oro, cobre	Arequipa	Cailloma	Tapay
29	Marcahui	Oro	Arequipa	Caravelí	Quicacha
30	Minera Paula	Plata, oro	Arequipa	Castilla	Choco
31	Jaquí	Oro	Arequipa	Caravelí	Jaquí
32	Monteoro	Oro, cobre	Arequipa	Caravelí	Cahuacho
33	Paucaray	Oro	Arequipa	Caravelí	Huanuhuanu
34	La Ventana	Oro, molibdeno	Arequipa	Castilla	Choco
35	Tereniso	Oro, cobre	Arequipa	Caravelí	Cahuacho
36	Tacaza	Cobre, oro	Puno	Lampa	Santa Lucía
38	Jarahuali	Oro	Arequipa	Caravelí	Quicacha
39	Santa Lucía	Plata, plomo, cobre, zinc.	Arequipa	San Román	Cabana
40	Pallacochas	Oro	Arequipa	Condesuyos	Andaray
41	Esperanza 21	Oro, cobre	Arequipa	Condesuyos	Yanaquihua
42	Arirahua	Oro	Arequipa	Condesuyos	Yanaquihua
43	Tinoray	Oro	Arequipa	Caravelí	Caravelí
44	Bombón	Oro	Arequipa	Caravelí	Atico
45	Los Rosales	Oro, cobre	Puno	Puno	Vilque
46	Achanizo	Oro, cobre	Arequipa	Caravelí	Cahparra
47	Ishihuinka	Oro	Arequipa	Caravelí	Caravelí
48	Don Jerónimo	Oro	Arequipa	Caravelí	Chala
49	Belén	Oro	Arequipa	Caravelí	Chala
50	Berengela	Cobre, plata	Puno	San Román	Cabanillas
51	Repartición	Oro	Arequipa	Caravelí	Atico
52	San Juan de Churunga	Oro	Arequipa	Condesuyos	Chuquibamba
53	Mishki	Oro	Arequipa	Caravelí	Caravelí

Fuente : Dirección General de Minería (2000)

Capítulo III

ASPECTOS HIDROLÓGICOS

3.1 METEOROLOGÍA

3.1.1 Precipitaciones

Como en la mayor parte de la costa peruana, las neblinas se generan mar adentro y se trasladan hacia el desierto, disipándose entre los 700 y 1000 metros de altura debido al fenómeno de la inversión térmica. En las colinas, lomadas, pampas costaneras, montañas de la Cordillera de la Costa y valles finales expuestos en el sector occidental de la franja, donde reciben directamente los vientos alisios, se produce el interesante fenómeno climatológico conocido con el nombre de «neblinas advectivas». Estas al estrellarse contra los cerros, humedecen el desierto y dan origen a las lomas costeras, a manera de oasis de vida en medio de la aridez del desierto circundante, como refugio de una abundante y variada flora y fauna silvestre, de carácter esporádico o temporal.

La humedad en el desierto del Pacífico Sur es intensa en el invierno y llega con frecuencia en muchos sectores al 100%, lo que genera persistentes lloviznas y garúas conociéndoseles con el nombre de «camanchacas».

La distribución de precipitaciones en el territorio peruano es irregular en la vertiente del Pacífico y el Altiplano. En la zona costera de la franja las precipitaciones son inferiores a 150 mm, siendo mayores a partir de los 2 000 msnm, con isoyetas entre 200 y 600 mm anuales (sectores de la Cordillera Occidental, valles y montañas de la Sierra), presentándose a partir de los 3 500 msnm en forma de nieve; en la zona del Altiplano puneño-arequipeño (vertiente del Titicaca, sobre los 4 000 m) se registran promedios de precipitaciones entre 600 y 1 000 mm anuales.

En la vertiente Atlántica se registran los mayores valores de precipitación, específicamente en el sector nororiental de la Franja N° 2 (Cordillera Oriental y Faja Subandina), con valores mayores de 1 000 mm y hasta de 4 000 mm.

3.1.2 Temperatura

La Franja N° 2, comprende un territorio que, de oeste a este presenta altitudes con variaciones desde los 0 m hasta más de 5 000 msnm.

La temperatura promedio anual en el área costera, entre el nivel del mar y aproximadamente 2 000 m, es superior a los 20 °C

Las temperaturas entre los 2 000 a 4 000 m, son moderadas con registros anuales que se mantienen generalmente entre 8 °C y 14 °C.

En la zona altiplánica que se encuentra a partir de los 4 000 m de altitud, el clima es frío de alta montaña, las temperaturas diurnas son siempre positivas, pero a la sombra así como en las noches, a lo largo del año y durante todos los meses las temperaturas bajan de 0 °C, originando la congelación de los charcos que se forman por la fusión del hielo nocturno, la nieve y la escarcha.

La temperatura anual en este piso altitudinal está entre 2 °C y 5 °C, con máximas entre 15 °C y 20 °C y las mínimas nocturnas oscilan entre -5 °C a 10 °C. De abril a noviembre las temperaturas promedios son inferiores y bajan a valores negativos de junio a agosto.

Las diferencias térmicas entre el sol y la sombra son también muy acentuadas y la presencia de nubes hace descender rápidamente la temperatura.

En alturas superiores a los 4 500 m y hasta los 5 200 m, sus características son parecidas a las existentes en las muy altas mesetas: temperaturas positivas durante el día y negativas durante la noche. El hielo nocturno es más abundante y las mínimas absolutas descienden más.

En altitudes superiores a los 5 200 m las temperaturas son positivas durante el mediodía, aún en las cumbres más altas, y muy bajas (gélidas) durante la noche.

3.1.3 Fenómeno Oceanográfico del Pacífico Sur (El Niño y La Niña)

El fenómeno meteorológico “El Niño” es un fenómeno global que ocurre con un lapso de recurrencia periódica, irregular, estimándose en los últimos tiempos de 4 a 7 años, y cuando ocurre, el clima del norte se tropicaliza y llueve. Se le conoce como ENSO por las siglas en inglés de El Niño-Southern Oscillation (Oscilación del Sur o El Niño-Oscilación Austral). Mientras El Niño se refiere a la parte oceanográfica, la Oscilación del Sur se refiere a un fenómeno meteorológico global del que sólo recientemente se ha descubierto su relación con el anterior. Se trata de una oscilación de las presiones atmosféricas entre dos lugares del Pacífico caracterizada por las mediciones hechas entre Darwin (Australia) y Tahití. Las teleconexiones están más relacionadas al segundo fenómeno que el primero.

Asimismo, cuando ocurre el fenómeno meteorológico El Niño, en algunos lugares con lluvias torrenciales, en otras partes del país se producen simultáneamente sequías, pero para llegar a conclusiones científicas válidas que nos permitan predecir en qué sentido va a variar el clima (si lo hace) necesitamos un estudio estadístico que tenga en cuenta toda la historia pasada del clima en estos lugares y de cómo fue afectada por Niños anteriores.

Los niños más intensos en los dos últimos siglos han ocurrido en 1891, 1925, 1983 y 1997-98. En la costa de la Franja, los efectos de este fenómeno sólo se sienten en época de ocurrencia de los Niños intensos y excepcionales como los de 1925, 1983 y 1997-98, llegando a llover con intensidad entre los 1 000 y 3 000 m de altura de la vertiente occidental de los Andes, convirtiéndose en la región con mayor riesgo, que encuentran zonas hiperáridas desprovistas de vegetación y donde el lavado de material suelto genera flujos de lodo y/o huaycos que amenazan a los pobladores, la propiedad y la infraestructura.

Las **lluvias torrenciales y las inundaciones subsecuentes**, producidas por el proceso océano-atmosférico del Pacífico Sur, se han intercalado con **períodos de sequía**, de muy diversa área de impacto en la Costa peruana, éstos últimos, menos estudiados, producen la existencia del largo desierto costero peruano.

En los últimos años la ciencia ha empezado a hablar del fenómeno al que se ha dado en denominar «**La Niña**», o también «**ENSO-fase fría**». Según la National Oceanographic and Atmospheric Agency de los Estados Unidos - NOAA, «La Niña está caracterizada por inusuales temperaturas bajas en el océano Pacífico Ecuatorial, presentándose inmediatamente después del «**ENSO-fase caliente**» (**El Niño**). Entonces se dice que al cesar los efectos de la fase caliente, empieza a comportarse «normalmente» el océano costero sudamericano bajo los efectos del enfriamiento conocido como «Fenómeno Humboldt», en el área. Según los expertos, el «ENSO- fase fría» no sería solo un retorno a la normalidad, sino sería un enfriamiento aún más pronunciado, con temperaturas superficiales del mar de hasta 2 °C por debajo de lo normal en las costas del Perú.

Como se ha visto para el caso de «El Niño», y aparentemente también en el caso de «La Niña», dependiendo del momento (mes o estación) en que se den las primeras manifestaciones de crecientes valores en el IOS (Índice de Oscilación del Sur), de cuán altos alcancen a ser esos valores y de cuán largo se prolongue el episodio, será más o menos grande el impacto del fenómeno (sequías en el este e inundaciones en el oeste), y más o menos grande el área geográfica del globo que resulta afectada, pudiendo incluso llegar a ser también un fenómeno de impacto mundial.

Entre tanto, todo parece indicar que tanto «El Niño» como «La Niña» tienen estrechísima relación con las anomalías de presión medidas entre Darwin y Tahití; así cuando las anomalías de presión atmosférica son mayores en Darwin (IOS negativos), se produce «El Niño», y cuando son mayores en Tahití (IOS positivos), se produce «La Niña», despla-

zándose en este caso las grandes masas de aguas calientes hacia el extremo occidental del océano Pacífico.

Por otro lado, en la jerga estadística utilizada en los análisis hidrológicos, meteorológicos u oceanográficos, es común emplear los términos «normal» o «anormal», «estadísticamente normal» o «estadísticamente anormal», que son expresiones explícitamente correctas. Así, para el análisis de un parámetro como la precipitación pluvial, por citar un ejemplo, se dice que son «anormales», por defecto, las sequías que se presentan generalmente durante «La Niña», y, por exceso, las lluvias torrenciales que se presentan por lo general durante «El Niño». Quizá hasta inconscientemente subyace la también errónea expectativa de que dicha «anormalidad» algún día desaparecerá. Con el antecedente de miles de años de recurrencia periódica aunque irregular, debemos por el contrario internacionalizar la idea que lo normal entre nosotros es precisamente la presencia del fenómeno y, consecuentemente, deben considerarse normales las tremendas variabilidades hidrológicas, meteorológicas y todas las otras manifestaciones naturales que dan lugar «El Niño» y «La Niña», llámense en sus peores extremos: sequías, lluvias torrenciales, huaycos, etc. (Tomado de el Libro «**El Niño y La Niña**» - **El Fenómeno océano-atmosférico del Pacífico Sur, un reto gigantesco**, de ALFONSO KLAUER; (www.nautigalia.com/elninoylanina).

3.2 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Para la clasificación climática del territorio de la Franja N° 2, se ha tomado como referencia el «Mapa de Clasificación Climática del Perú», elaborado por SENAMHI, el cual ha sido realizado con información de 20 años de datos meteorológicos (1965-1984), utilizando el sistema de clasificación de climas de Werren Thornthwaite.

El Cuadro N° 14 resume las características principales de las zonas climáticas diferenciadas y sectorizadas en el Mapa de Clasificación Climática en la Franja N° 2. Mapa N° 5.

Cuadro N° 14
Zonación climática en la Franja N° 2

Zona climática	Altitud (msnm)	Descripción	Lugares representativos
PAMPAS COSTANERAS, VERTIENTE OCCIDENTAL, VALLES INTERANDINOS, CORDILLERA OCCIDENTAL Y ALTIPLANO			
$E_{(o)}B'_1H_3$	0-2 000	Zona desértica semicálida; deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año; húmeda.	Ocucaje, Palpa, Nasca, Ica
$C_{(o, i, p)}B'_2H_3$		Zona semiseca, templada, deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera; húmeda.	Yauca del Rosario
$D_{(o, i, p)}B'_2H_2$	2 000-3 000	Zona de clima semiárido, templado; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera; seca.	Cotahuasi, Chuquibamba
$C_{(o, i)}B'_2H_3$		Zona semiseca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno; húmeda.	
$C_{(o, i, p)}C'H_3$		Zona de clima frío, semiseco; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera; húmeda.	Laramate
$C_{(o, i, p)}C'H_2$	3 000-4 000	Zona de clima frío, semiseco; deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera; seca.	Puquio, Parinacochas, Coracora, Sibayo, Chivay.
$B_{(o, i)}C'H_3$		Zona de clima frío, lluvioso; deficiencia de lluvias en otoño e invierno; húmeda.	Querochamba, San Pedro de Larcaj
$B_{(o, i)}D'H_3$	4 000-5 000	Zona de clima semifrío lluvioso; deficiencia de lluvias en otoño e invierno; húmeda.	Pañe, Imata, Macusani, Lagunillas, Cailloma, Ananea.
$C_{(o, i)}C'H_2$		Zona de clima semiseco, frío; deficiencias de lluvias en otoño e invierno; seca.	Sicuani, Ayaviri, Yauri, Azángaro, Huancané, Chuquibambilla, Antabamba, Juliaca, Puno.
$B_{(i)}F'H_2$	>5 000	Zona de clima polar, lluvioso; deficiencia de lluvia en invierno; seca.	Lugares de nieve perpetua
CORDILLERA ORIENTAL Y FAJA SUBANDINA			
$A_{(o)}A'H_4$	0-1 000	Zona de clima cálido muy lluvioso; precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año; muy húmeda.	
$A_{(o)}B'_1H_4$	1 000-2 000	Zona de clima semicálido muy lluvioso; precipitaciones abundantes todas las estaciones del año; muy húmeda	San Juan del Oro.
$B_{(o)}B'_2H_3$	2 000-3 000	Zona de clima templado, lluvioso; precipitación abundante en todas las estaciones del año.	Sandia
$B_{(o)}C'H_3$	3 000-4 000	Zona de clima frío, lluvioso; precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año.	Limani, Cuyocuyo, Patambuco

Fuente: Mapa de Clasificación Climática del Perú – SENAMHI-1988

3.3 HIDROLOGÍA

3.3.1 Aguas Superficiales

La región de la Franja N° 2 es ocupada por 12 cuencas de la vertiente del Pacífico, 5 cuencas principales de la vertiente Atlántica y 5 cuencas principales de la vertiente del Titicaca. Ver Mapa N° 6.

Una de las principales características de los ríos que conforman las tres vertientes, es el régimen temporal e irregular de sus caudales, con avenidas máximas entre diciembre y mayo y un prolongado período de estiaje (7 a 9 meses, mayo a diciembre), situación no favorable a las necesidades hídricas de la franja para diferentes fines, por lo que ha sido necesario ejecutar obras complementarias en las cuencas o transvases para lograr el afianzamiento hídrico de ellas.

Vertiente del Pacífico

Los ríos de la vertiente del Pacífico se originan por los deshielos de la Cordillera de los Andes, las precipitaciones pluviales estacionales de la cuenca alta, el desagüe de lagunas y el alumbramiento de manantiales de aguas permanentes, en su mayoría son de régimen irregular, corto recorrido, caudal variable, carácter torrencioso y máximas avenidas en el verano (diciembre a mayo con 60-70 % de la masa anual) y prolongado período de estiaje (meses de mayo a diciembre). Los ríos de mayor escurrimiento superficial y con caudal promedio anual son los de Camaná, Majes, Colca y Ocoña con 90,1 y 85,0 m³/s, respectivamente.

Vertiente del Atlántico

Los ríos de la vertiente del Atlántico tienen como colector principal al río Amazonas; siendo uno de los mayores afluentes de la Franja N° 2, el río Urubamba, con un caudal promedio de 2 234,0 m³/s, y otros cuatro ríos importantes, caudalosos y de régimen permanente: Inambari y Tambopata al este, que nacen en la cordillera suroriental, y Apurímac y Pampas al oeste.

Vertiente del Titicaca

Los ríos de la vertiente del Titicaca también son de corto recorrido, caudal variable, con máximas avenidas de diciembre a mayo y mínimas entre mayo y diciembre; el río Suches aunque en parte recorre territorio peruano, nace y vierte sus aguas en territorio

boliviano, el río Ramis es el más caudaloso, su caudal promedio calculado en estudios realizados por ELECTROPERÚ (1975), ONERN (1980) y el CEDEX (1990) es de 88,2 m³/s.

En el Cuadro N° 15, se observa la disponibilidad hídrica de los ríos en las vertientes: Pacífica, Atlántica y del Titicaca.

Cuadro N° 15
Disponibilidad hídrica en las cuencas de las vertientes
Pacífico, Atlántica y Titicaca

Cuenca	Electroperu M³/s	Onern M³/s	Cedex M³/s	Promedio M³/s
VERTIENTE PACÍFICO				
ICA	13,1	11,3	8,3	10,9
GRANDE-NASCA*	17,1	19,4	13,3	16,6
ACARÍ*	22,7	20,6	13,6	19,0
YAUCA*	21,1	7,6	20,0	16,2
CHALA*	1,7	0,1	0,2	0,7
CHÁPARRA*	2,6	0,3	0,5	1,1
ATICO	1,6	0,1	0,1	0,6
CARAVELÍ	3,2	0,8	0,2	1,4
OCOÑA	90,0	66,6	98,3	85,0
CAMANÁ-MAJES-COLCA	90,0	82,5	97,7	90,1
QUILCA-CHILI-VÍTOR	38,7	23,2	15,6	25,8
TAMBO	39,9	39,7	39,1	39,6
VERTIENTE ATLÁNTICA				
PAMPAS	242,0	229,0	214,0	228,3
APURÍMAC	924,0	1 148,0	1 078,1	1 050,0
URUBAMBA	1 194,0	2 890,0	2 618,0	2 234,0
INAMBARÍ	934,0	1 710,0	957,3	1 200,4
TAMBOPATA	415,0	1 168,0	1 814,7	1 132,6
VERTIENTE DEL TITICACA				
ILAVE	34,8	41,6	44,0	40,1
ILLPA*	7,5	8,0	7,0	7,5
COATA*	40,8	31,2	46,0	39,3
RAMIS*	83,9	103,1	77,5	88,2
HUANCANÉ*	26,8	23,9	20,3	23,7
SUCHES	9,0	9,3	6,9	8,4
NINANTAYA				

Fuente: CEDEX 1990

* Cuencas cubiertas en su totalidad, dentro de la Franja N° 2

3.3.2 Aguas Subterráneas

Acuíferos

Estudios efectuados en el área de Arequipa han determinado la existencia de recursos hídricos en sedimentos del Grupo Yura y la Formación Moquegua, cuyas características hidrogeológicas se pueden extender hacia el norte, así como a unidades estratigráficas correlacionables. Asimismo, por las características petrológicas, en la Franja N° 2 se asumen acuíferos en las formaciones sedimentarias: Formación Camaná, Formación Pisco (la mina Marcona se abastece de aguas subterráneas en el orden de los 100 l/s), Grupo Puno, calizas de las formaciones Ferrobamba y Arcurquina; conglomerados y areniscas de la Formación Huanca; formaciones volcánicas fracturadas del Paleógeno-Neógeno de la Cordillera Occidental (grupos Tacaza y Barroso y formaciones San Pedro y Puquio) y formaciones volcanoclásticas y lacustrinas del Plio-Cuaternario: Colca, Yauri.

En la zona costera de la Franja N° 2, los acuíferos se localizan en los conos de deyección de los ríos Ica, Grande-Nasca, Acarí y Caravelí, principalmente, en formaciones aluvionales y son predominantemente libres; el basamento se halla entre los 400 y 500 metros de profundidad y su recarga se realiza a través de las filtraciones de la cordillera, el retorno de las aguas de riego y en menor grado por las precipitaciones pluviales en sus cuencas media y alta. Son explotados mediante pozos y sondajes de hasta 100 m de profundidad, con caudales que varían entre 12 y 100 litros, tanto para uso agrícola como doméstico e industrial (minas Calpa y Caravelí).

Según los datos obtenidos del trabajo «Groundwater Resources of the Ica Departament», elaborado por Tahal Consulting Engineers Ltda (En: Estudio Geodinámico de la cuenca del río Ica; OLIVARES, P. y CASTRO, S.), el acuífero en el valle de Ica, está compuesto de sedimentos aluviales que yacen sobre rocas ígneas (38-48 m y en algunos casos de 60-70 m de profundidad) y el manto grueso impermeable del Paleógeno, donde la columna de agua por lo general se encuentra en horizontes de cascajo y arena gruesa, con una altura que en algunos casos llega a 14 m, pero que en general presenta una altura promedio de 7 a 8 m. El área del acuífero en el valle de Ica es de aproximadamente 335 km², en adición, existen $\pm$ 115 km² de áreas menos favorables, pero también con presencia de aguas subterráneas, en la quebrada de Cancas y en la Pampa de los Castillos. El valle de Ica concentra la mayor cantidad de pozos en el Perú, con más de 1 200 en el valle, incluyendo la zona de Callango al Océano. Del total inventariado, 880 son tubulares (150 abandonados), 120 son pozos a tajo abierto, (44 abandonados) y 12 son cochas (4 están abandonadas). En los últimos años, muchos pozos tubulares privados han sido abandonados y otros se han secado y destruido.

El flujo del agua subterránea sigue la dirección del valle, este-noreste en la parte alta a sur-sureste aguas abajo cerca de Guadalupe, con cierta tendencia a dirigirse hacia el noreste. Notándose un flujo del valle de Ica a las pampas de Villacuri y una concentración de bombeo muy densa (al sur de los Piscontes), hecho que merece destacarse, ya que este

centro de bombeo no está lejos de las pampas de los Castillos, donde muchos pozos se secaron durante la última década.

En el Cuadro N° 16 se presenta la explotación de aguas subterráneas para diferentes usos en la vertiente del Pacífico.

En la cuenca del Titicaca, aunque se conoce la existencia de acuíferos en depósitos principalmente cuaternarios y pliocénicos (formaciones Azánagaro y Huancané), su explotación es baja y se estima como no significativa. La depresión Crucero-Ananea, ubicada en el valle superior del río Grande (cuenca alta del río Ramis), rellena por depósitos sedimentarios y volcanoclásticos del Cuaternario (tufos Picotani; sedimentos de la Formación Arco Aja y depósitos morrénicos, fluvio-glaciares y aluviales), pueden constituir un buen acuífero.

En trabajos efectuados en la cuenca del río Coata, PASTRANA, M., (1989) reconoce la presencia de dos acuíferos: 1) Acuífero confinado Ayabaca, con una extensión de 320 km², constituido por rocas carbonatadas y margas, y estructuralmente se ubica en un eje sinclinal de dirección andina con dirección de flujo al SE, manifestándose la napa por presencia de manantiales y fuentes artesianas y 2) Acuífero libre Coata, con una extensión de 906 km² constituido por depósitos fluvio-aluviales, cuya fuente de alimentación principal son las aguas de los ríos Lampa y Cabanillas y manantiales existentes en sus cabeceras, con una profundidad de la napa entre 2 y 4,5 m (sector Isla Jarán), 3,5 y 4,0 (próximos al río Cabanillas), y 3,0 en los alrededores del aeropuerto de Juliaca.

Otras unidades existentes en el sector oriental de la franja, que por sus características geológicas pueden albergar aguas subterráneas (Huamaní, 2001) las constituyen las areniscas y conglomerados (grupos Puno y Formación Cotacucho); areniscas con intercalación de pizarras (Formación Sandia); areniscas, conglomerados y volcánicos (grupos Mitu, Barroso y Tacaza).

Cuadro N° 16
Explotación de aguas subterráneas para diferentes usos en vertiente
del Pacífico (miles de m³)

Cuenca	Poblacional	Agrícola	Pecuario	Industrial
ICA	15 186	113 574	109	354
GRANDE-NASCA	2 172	51 452	60	----
ACARI	288	109	36	----
YAUCA	----	----	----	----
CHALA	----	----	----	----
CHÁPARRA	----	----	----	----
ATICO	----	----	----	----
CARAVELI	----	96	----	180
OCOÑA	----	----	----	----
CAMANÁ-MAJES-COLCA	----	----	----	----
QUILCA-SIGUAS-VÍTOR	24	72	12	828

Fuente: CEDEX 1990

3.3.3 Lagos y Lagunas

Constituyen otras fuentes disponibles de recurso hídrico de la franja, ya sea como depósitos de agua de régimen temporal o permanente, de tamaño variable, ubicadas generalmente sobre los 4 000 msnm en la Cordillera de los Andes y el Altiplano. Su recarga principal es la precipitación estacional, así como el deshielo de nevados de la Cordillera del Barroso o Volcánica del Sur y Cordillera Oriental, filtraciones, oconales u bofedales de las vertientes superiores, escurrimiento superficial, etc.

El **lago Titicaca**: Con una superficie de 8 300 kilómetros cuadrados, una longitud máxima de 195 km, 285 m de profundidad máxima y un ancho promedio entre 50 y 65 km, es el lago navegable más alto del mundo (a 3 808 msnm). Una de las características de este lago, que es compartido por Perú y Bolivia, es la temperatura bastante cálidas de sus aguas para esa altura -10 °C a 12 °C, lo que permite la existencia de una rica flora y fauna acuática. La totalidad de los totorales existentes en las bahías de Puno y Huancané, están protegidos por la Reserva Nacional del Titicaca.

A través del lago se realiza transporte lacustre, uniendo el puerto de Puno con el puerto boliviano de Guaqui, donde se moviliza gran cantidad de embarques que ingresan por los puertos marítimos de Mollendo y Matarani, con destino a la república de Bolivia, así como intercambio comercial entre estos dos países.

En el área de la franja, las lagunas más importantes con almacenamiento artificial de la vertiente Pacífica son: Condoroma, Pañe-Viscachane y Presa Dique de Los Españoles; que son aprovechadas para uso agrícola y energético en las partes bajas de los valles de los ríos Camaná-Majes-Colca y Quilca-Siguas-Vítor, respectivamente. Otras en importancia son las lagunas de Orconcocha (Yaurihuiri), que drenan al río Yaurihuiri con aprovechamiento de uso agrícola y doméstico en la cuenca alta del río Acarí. Se mencionan también las lagunas de Vacoscocha (Chaviña) y la de Pacchaya (río Geronta, Puquio); la presa de la laguna Arcata utilizada por la mina Arcata, como depósitos de relaves. Las lagunas de Umayo, Lagunillas-Saracocha, Suches, Pararani y Caybas, que forman parte del diagrama hídrico de la vertiente del Titicaca, son empleadas para diferentes fines (doméstico, agrícola). Las aguas de las lagunas Sillacunca, Huicha y Chulpacocha han sido utilizadas para la explotación y lavado de mineral de los depósitos auríferos de San Antonio de Poto (uso minero), y las de La Rinconada, por la Cia. Minera Ananea y los mineros artesanales de Cerro Lunar y Rinconada

Las lagunas de Langui-Layo, Pomacanchi, Pampamarca-Tungasuca y Sutunta de la vertiente Atlántica, se emplean para diversos usos (doméstico, turístico, agrícola), algunas de ellas reguladas; la laguna de Parinacochas a un lado del volcán Sara Sara, que en quechua significa «Laguna de las Pariguanas» constituye un lugar turístico del departamento de Ayacucho.

El Cuadro N° 17 muestra el Inventario de Lagunas realizado por la ONERN (1980).

Cuadro N° 17
Inventario de lagunas ubicadas en la Franja N° 2

N°	Cuenca	Número de lagunas		Represamientos o embalses	
		Total	Mayor de 4 km²	En explotación	En estudio
VERTIENTE PACÍFICA					
1	ICA	19	1		5
2	GRANDE-NASCA	6			2
3	ACARÍ	46	6	1	5
4	YAUCA	17	3		2
5	CHALA				
6	CHÁPARRA				
7	ATICO				
8	QUILCA-CARAVELÍ				
9	OCOÑA	344	19		2
10	CAMANÁ-MAJES-COLCA	364	26	2	3
11	QUILCA-SIGUAS-VÍTOR	106	3		2
12	TAMBO	198	12		8
VERTIENTE ATLÁNTICA					
I	PAMPAS	924	52		17
II	APURÍMAC	747	40		1
III	URUBAMBA	280	11		
IV	INAMBARI	171	11		
V	TAMBOPATA				
VERTIENTE DEL TITICACA					
A	ILAVE	120	4		2
B	ILLPA	6	1		
C	COATA	146	17		
D	RAMIS	410	29		2
E	HUANCANÉ	59			
F	SUCHES	12	1		
G	NINANTAYA				

Tomado y modificado de INRENA, 1995

3.3.4 Fuentes Termales

Se han inventariado aproximadamente 100 manifestaciones de aguas termales (STEINMULLER, K. & ZAVALA, B. 1996; STEINMULLER, K. & NÚÑEZ, S., 1997 y HUAMANÍ, A., 2001), las cuales están relacionadas con la Cordillera Volcánica del Sur, la Cadena Occidental de los Andes, Flanco Andino Oriental, Altiplano y Cordillera Oriental, a zonas magmáticas, no muy profundas, de modo tal que el agua de lluvia que se infiltra, al penetrar en estos terrenos, aumenta su temperatura y al ascender a la superficie,

lo hace con temperaturas altas (gradiente geotérmico). Sus reservorios y surgencias están controladas por fracturas y fallas profundas.

Evaluando la totalidad de las aguas termales en la Cordillera Volcánica del Sur, se define que en el sur, la cantidad de fluidos profundos con altas temperaturas y altos contenidos de cloruro es mucho mayor que en el norte.

Entre las principales áreas geotermales tenemos: (Ver Cuadro N° 18)

Cordillera Volcánica del Sur: (Volcanes Ampato-Sabancaya-Hualca Hualca - Coropuna - Solimana - Sara Sara - Ccarhuaraso)

- Sector Chivay-Cabanaconde-río Colca utilizadas como baños termales (La Calera, Yanque, El Inca) y otras fuentes ubicadas a lo largo del río Colca (Pinchollo, Sangalle y Géiser de Paclla en Cabanaconde, sectores de Cotaña y Acopiñata).
- Sector Cailloma: Baños Coñicmayo, baños Cencuyo y Pusa Pusa.
- Sector Orcopampa: Baños Huancarama, Humaroco y baños Paraíso (Maripujo).
- Sector aledaño al volcán Coropuna: Viques, Ccollpa y Acopallpa.
- Sector del valle del río Cotahuasi: Andapampa, baños Luicho y Lucha, Puica, quebrada Velinga, Yanque (nevado Solimana), baños Josla (Pampamarca).
- Sector Ocuvi (Cordillera de Sillapaca): Agua termal Ocuvi, Vila Vila, Coline y Chupahuito, Jarpaña.
- Fuentes Termales aisladas: San Antonio de Chuca, Alja Victoria (Cayarani), Huarcaya, Chaqueylla (Ocoruro) y Aguas Calientes-río Jaruma.
- Área de Puquio: Baños Geronta y Tincua.
- Sector de Parinacochas: Baños Santa Clara, Paila del Diablo, Sangata, Chuchuhuanca, río Pararca, Chacaray, Huacuya, Colpar y río Mirmaca.
- Sector Antabamba: Ccocho y Lapaca; Sihucani (Qda. Ampacho) y Quilcata (río Totorá-Oropesa).
- Sector del Volcán Ccarhuaraso: Fuentes termales de Larcay (flanco este del volcán) y Mayobamba (flanco suroeste del volcán).
- Zona hidrotermal de Pachapupo: Fuente termal en el C° Tullasca (Cuadrángulo de Santa Ana)

Flanco Andino Oriental

- Sector Livitaca: Pucpoca

- Fuentes termales en la cuenca del río Vilcanota: Aguas Calientes-La Raya, Uyurmiri, agua medicinal San Pablo, Yanaoca-Uccurmina, Comopuquio, Marcani, Ccaylla; Callanca y Collpa (río Sallca),.
- Cuadrángulo de Nuñoa: Ácora, Aguas Calientes, Bolognesi y Qatsile.

Zona del Altiplano

- Azángaro: Quilca Punku, Pasanocollo, Putina Punku-San José, Untu Uma-San Luis, Fraylima, agua mineral Qanqari, San Pedro de Buena Vista.
- Ayaviri: Agua mineral Huamanruro, Macarí, Andaymarca, Balneario Pojcpoquella.
- Juliaca: Ozoco, Chimpa Jarán, Tacamani, Comermocco y Sequén-Chullunquiani.
- Putina: Chacatira, Putina Punku-Alvarizani, Sasabin Punko-Huayllatoc, Huayna Putina, Libertad, W. Molina, El Ruedo, Vidal Lama, Infiernillo, Cachichupa.
- Huancané: Paqcha, Putina Cuyo, Juriruni, Pirín.
- Ácora: Ácora-Chiuchire.

Cordillera Oriental

- Limbaní: Cuyo Cuyo, Hatun Phutina y Huchuy Sicsi.
- La Rinconada: Orcco Putina, Qotini y Choque Chambe.

Cuadro N° 18
Principales características de las fuentes termales en la Franja N° 2

Área	Nombre de la fuente	Caudal (l/s)	Tipo de sugerencia	Uso	Parámetros físicos			Temperatura del reservorio °C *	Gases	Tipo de agua
					Temp. Fuente °C	pH	C.E. µS/cm			
CORDILLERA VOLCÁNICA DEL SUR (VOLCANES AMPATO-SABANCAYA-HUALCA-COROPUNA-SOLIMANA-SARA SARA-CARHUARASO)										
CHIVAY	La Calera	2,0	Manantial (2)	Complejo turístico de baños termales (piscinas, sauna)	68,0	6,3	6 500	110 - 120	H ₂ S	Cloruro-sódica
	Baños El Inca	0,3	Manantial	Baños (2 piscinas)	44,0	6,6	7 000			
	Baños Chiacapi-Yanque	1,0	Manantial	Baños (piscina)	> 45,0	7,4	1 800	85		Bicarbonato-sulfato-sódica
		< 0,1	Manantial (2)	Ninguno	77,0	6,4	6 200			
		< 0,1	Manantial	Pozza rústica	80,0	6,5	6 500			
		< 0,1	Manantial	Ninguno	64,0	6,4	6 200			
	0,1	Manantial	Ninguno	80,0	6,5	6 500				
	Pinchollo		Manantiales	Ninguno	> 65,0	6,3	300		H ₂ S	Sulfato-cálcica
CAILLOMA	Baños Conicmayo	1,0	Manantial	Baños	84,0	6,0	1 500	95		Cloruro-sódica
	Baños Cencuyo	0,3	Manantial		37,0	7,0	5 800			
	Pusa Pusa	0,5	Manantial	Baño rústico	54,0	7,8	2 200			Cloruro-sódica
		< 0,1			50,0	7,8	2 500			
		< 0,1			55,0	7,7	2 400			
		0,3			57,0	7,8	2 300			
	0,5			57,0	7,8	2 300				
	0,6			56,0	7,8	2 300				
ORCOPAMPA	Baños Huancarama	1,5	Manantial	Baño rústico (infraestructura nueva en construcción: mina Orcopampa)	55,0	9,1	700			Cloruro-sulfato-sódica
	Humaroco	0,5	Manantial	Pozza rústica	42,0	9,4	600			Cloruro-sódica
	Baños Paraiso (Maripujio)	0,4	Manantial	Baño	30,0	9,3	400			Bicarbonato-cloruro-sódica
	Viques	0,5	Manantial	Baño rústico	39,0	101,0	200			Sulfato-cálcico-sódica
COROPUNA	Ccollpa	1,0	Manantial	Baño	25,0	3,5	1 200		H ₂ S	Sulfato-sódico-cálcica
	Acopallpa	0,6	Manantial	Ninguno	29,0	4,6	2 000			Sulfato-sódica
		0,5		Baños rústicos	51,0	6,2	3 500			
	Andapampa	0,2	Manantial	Baños rústicos	47,0	6,6	3 200		H ₂ S	Sulfato-sódica
COTAHUASI	Baños Lucha	0,1	Manantial	Baños	48,0	6,4	2 900			Sulfato-sódica
	Baños Luicho	20,0	Manantial	Baños	51,0	7,7	1 000			Bicarbonato-sódica
	Puica	< 0,1	Manantial	Baño (no funciona)	54,0	7,7	800			Bicarbonato-sulfato-sódica
	Baños Josla (Pampamarca)	30,0	Manantial	Baños	47,0	6,7	2 100			Sulfato-bicarbonato-cálcico-sódica
	Baños Taurisma	0,2	Manantial (2)		42,0	6,9	1 600			Sulfato-cálcico-sódica
					54,0	7,2	2 300			

Área	Nombre de la fuente	Caudal (l/s)	Tipo de sugerencia	Uso	Parámetros físicos			Temperatura del reservorio °C *	Gases	Tipo de agua
					Temp. Fuente °C	pH	C.E. µS/cm			
FUENTES AISLADAS	Agua Termal Chaqueylla	3 Manantial		Complejo termal local (piscina)	51	6,6	0			
	Aguas Calientes Río Jaruma	2 Manantial			57	6,4	0			Clorurado-sulfatado-sódica
		3 Manantial		Pozza rústica	51	6,4	0		CO ₂	
SECTOR OCUVIRI (CORDILLERA DE SILLAPACA)	Agua Termal Ocuviri	2 Manantial		Complejo termal local (piscina)	28	7,8	0			Clorurado-sódico-cálcica
	Agua Mineral Vila Vila	0,5 Manantial			12	6,5	0			Bicarbonatado-sódico-cálcica
	Agua Termal Coline	3 Manantial			39	6,4	0			Clorurado-bicarbonatado-sulfatado-sódico-cálcica
	Chupahuito	0,5 Manantial		Ninguno	63	6,0	5 200	132		Sulfatado-clorurado-sódico-cálcica
	Jarpaña	0,5 Manantial			26		19 900			Clorurado-sódica
	Aguas Calientes Pinaya	3 Manantial		Piscina rústica de concreto	81		19 930	129	H ₂ S	
SECTOR ANTABAMBA	Cococho	5 Manantial		Piscina rústica	41	6,0	1 500			Bicarbonatado-clorurado-cálcico sódica
PUQUIO	Lapaca	1 Manantial		Pozas rústicas	43	6,2	5 300			Bicarbonatado-clorurado-sódico cálcica
	Baños Geronta	0,1 Manantial		Baño rústico	69,0	6,8	4 900	130		Cloruro-sulfato-sódica
	Tincua	0,3 Manantial		Baño	48,0	7,3	8 700	110		Cloruro-sódica
	Baños Santa Clara	0,1 Manantiales		Baños rústicos	42,0	7,1	3 900	70		Sulfato-cloruro-sódica
PARINACCOCHAS	Paila del Diablo	0,5 Manantial con 1,0 presión		Ninguno	79,0	7,0	7 200		H ₂ S	Cloruro-sulfato-sódica
		0,2			81,0	7,1	7 100	85		
	Sengata	0,5 Manantial		Baño abandonado	70,0	6,6	6 600	45		Sulfato-cloruro-sódica
	Chuchuhuanca	0,5 Manantial		Baño rústico	41,0	5,9	6 600			Sulfato-cálcico-sódica
	Río Pararca	Manantial		Ninguno	33,0	5,6	2 800			
	Chacaray	0,3 Manantial		Baños rústicos	39,0	6,2	12 500		H ₂ S	Sulfato-cálcico-sódica
	Huacuya	1,0 Manantial			57,0	8,1	2 600		H ₂ S	
	Colpar	0,5 Manantial			60,0	5,5	3 400			
	Río Mirmaca	< 0,1		Ninguno	32,0	7,6	2 400			Sulfato-sódica
		0,1 < 0,1	Manantiales			39,0	6,6	5 400		
FLANCO ANDINO ORIENTAL										
SECTOR LIVITACA	Agua Mineral Poccpoca	4 Manantial		Pozza natural (bebida como purgante)	17	6,1	2 100			Sulfatado-bicarbonatado-cálcico magnésica
CUENCA DEL RÍO VILCANOTA	Aguas Calientes La Raya	5 Manantial		Complejo termal turístico (piscinas)	52	6,1	1 700	90		Clorurado-sulfatado-sódico-cálcica
	Aguas Tarmales Uyumire	1 Manantial (2)		Complejo termal local (piscina y pozas)	37	6,2	1 200		CO ₂	Sulfatado-bicarbonatado-cálcico sódica
	Agua Medicinal San Pablo	2 Manantial		Complejo mineral local en construcción	38	6,4	1 200			Clorurado-bicarbonatado-sódico cálcica
	Yanaoca - Uccumina	3 Manantial		Piscina de concreto	19	6,0	1 600			Sulfatado-cálcico-sódica
					22	6,4	100			

Área	Nombre de la fuente	Caudal (l/s)	Tipo de sugerencia	Uso	Parámetros físicos			Temperatura del reservorio °C *	Gases	Tipo de agua
					Temp. Fuente °C	pH	C.E. µS/cm			
CUENCA DEL RÍO VILCANOTA	Agua Mineral Comopuquio	15	Manantial	Poza natural (bebida como agua mineral)	20	6,1	1 300		CO ₂	Sulfatado-clorurado-bicarbonatado-cálcico-sódica
	Agua Mineromedicinal Marcani	3	Manantial	Complejo termal local (piscina)	22	6,3	100			
	Agua Mineromedicinal Ccaylla	5	Manantial	Complejo termal local (piscina y pozas)	22	6,0	2 100		CO ₂	Clorurado-sódico-cálcicas
CUADRÁNGULO DE NUÑO A	Agua Termal Ácora	0,5	Manantial	Ninguno	65	7,1	500	120		Sulfatado-bicarbonatado-clorurado-sódico-cálcica
	Aguas Calientes Bolognesi	2	Manantial	Poza rústica natural	44	7,3	300			Sulfatado-cálcica
	Qatsile	1	Manantial	Ninguno	36	6,8	500			Sulfatado-bicarbonatado-sódico cálcica
ZONA DEL ALTIPLANO										
CUADRÁNGULO DE AZANGARO	Quilica Punku	2	Manantial	Ninguno	58	6,4	0	64	H ₂ S , CO ₂	Sulfatado-cálcico-sódica
	Pasanocollo	7	Manantial		75	7,1	600	85		Sulfatado-clorurado-sódica
	Putina Punku-San José	1	Manantial	Complejos termales locales (piscina y pozas)	55	6,9	0	72		Sulfatado-sódico-cálcica
	Untu Uma-San Luis	2	Manantial		38	6,8	0			Sulfatado-cálcico-sódica
	Fraylima		Manantial	Poza de concreto (abandonado)						
	Agua Mineral Qanqari	0,5	Manantial		15	6,3	100		CO ₂	Bicarbonatado-sulfatado-sódico-cálcica
CUADRÁNGULO DE AYAVIRI	San Pedro de Buena Vista	0,2	Manantial	Ninguno	13	9,2	0			Bicarbonatado-sulfatado-cálcico sódica
	Pichacani-Santa Rosa	0,6	Manantial		15	8,0	0			Sulfatado-cálcica
	Agua Mineral Huamanruro	2,5	Manantial	Poza natural (bebida como purgante)	16	6,3	1100			Clorurado-bicarbonatado-sódico cálcica
	Mecari	1	Manantial		15	6,0	600		CO ₂	Clorurado-bicarbonatado-sódico cálcica
	Andaymarca	2	Manantial	Ninguno	15	6,4	900			Clorurado-bicarbonatado-sódico cálcica
	Baileatio Pojcopuella	2	Manantial	Poza rústica	24	6,3	600		H ₂ S	Clorurado-bicarbonatado-sulfatado-sódico-cálcica
CUADRÁNGULO DE JULIACA	Ozoco	20	Manantial	Complejo termal turístico (piscina)	36	6,4	400		H ₂ S , CO ₂	Clorurado-sódica
	Agua Medicinal Chimpa Jarán	0,5	Manantial	Ninguno	12	6,4	0			Sulfatado-bicarbonatado-cálcica
	Agua Mineral Tacamani	2	Manantial	Poza de concreto (bebida como purgante)	18	6,4	700		CO ₂	Clorurado-bicarbonatado-sódica
	Comemocco	0,3	Manantial		15	6,4	0			Clorurado-sódica
		3	Manantial		18	6,4	0			Bicarbonatado-clorurado-cálcico sódica
	Agua Mineral Sequén(Chullunquiani)	10	Manantial	Ninguno	19	6,4	0		H ₂ S , CO ₂	Clorurado-bicarbonatado-sódico cálcica
		3	Manantial		22	6,3	400		CO ₂	Clorurado-bicarbonatado-sódicas

Área	Nombre de la fuente	Caudal (l/s)	Tipo de sugerencia	Uso	Parámetros físicos			Temperatura del reservorio °C *	Gases	Tipo de agua
					Temp. Fuente °C	pH	C.E. µS/cm			
CUADRÁNGULO DE PUTINA	Chacaltira	3	Manantial	Ninguno	55	6,6	0	64		Sulfatado-cálcico-sódicas
	Putina Punku-Alvarizani	2	Manantial		47	6,8	100			
	Sasabín Punko-Huayllatoc	2	Manantial		48	6,8	0			
	Aguas Termales Huayna Putina	10	Manantial	Complejo turístico (piscinas y pozas, hotel en construcción)	51	6,8	300			Clorurado-sulfatado-sódicas
		1	Manantial		50	6,5	100			
	Aguas Termales Libertad	2	Manantial	Ninguno	41	6,6	300		CO ₂	
	Baños Termales W. Molina	3	Manantial	Complejo termal local (piscina y pozas)	47	6,8	0			
	Agua Termal El Ruedo	1,5	Manantial	Ninguno	36	6,8	0			
	Agua Termal Vidal Lama	4	Manantial	Complejo turístico	47	6,7	200			
	Agua Termal Infernillo	5	Manantial	Poza natural	38	6,8	300		CO ₂	
CUADRÁNGULO DE HUANCANÉ	Agua Termal Cachichupa	2	Manantial	Ninguno	36	6,4	300		CO ₂	Clorurado-sódicas
	Paqcha	2	Manantial	Complejo local en construcción (piscinas)	21	8,3	0			Sulfatado-clorurado-cálcico-sódica
	Putina Cuyo	3	Manantial	Complejo termal local abandonado	18	9,2	100		CO ₂	Clorurado-sulfatado-sódica
	Agua Termal Jurinuni	3	Manantial	Complejo termal local (piscinas)	27	9,1	100			Sulfatado-bicarbonatado-cálcica
	Pirín	>10	Manantial	Ninguno	8	6,6	0		H ₂ S , CO ₂	Sulfatado-bicarbonatado-magnésico-cálcica
	Agua Mineral Salcedo	2	Manantial	Poza natural (bebida como agua mineral)	17	6,0	0		CO ₂	Sulfatado-bicarbonatado-clorurado-cálcico-sódica
	Ácora (Chilchire)	>2	Manantial	Ninguno	15	4,5	0			Clorurado-bicarbonatado-sulfatado-sódico-cálcica
CORDILLERA ORIENTAL										
CUADRÁNGULO DE LIMBANI	Agua Termal Cuyo Cuyo	1	Manantial	Complejo termal local (piscina)	50	6,8	200	100		Bicarbonatado-sódicas
	Aguas Termales Hatun Phutina	3	Manantial	Complejo termal turístico	62	6,8	300	102	H ₂ S , CO ₂	
		0,5	Manantial	(piscina olímpica y otra en construcción)	71	7,0	400	107		
	Huchuy Sicsi	2	Manantial	Ninguno	44	7,4	400		CO ₂	
			Manantial							
CUADRÁNGULO DE LA RINCONADA	Orcco Putina	3	Manantial	Poza rústica	46	8,2	200			Bicarbonatado-clorurado-sódicas
	Qotini	1,5	Manantial		37	8,3	200		H ₂ S	
	Choque Chambe	1,5	Manantial	Ninguno	28	9,3	200			

Fuente: Datos compilados de Estudios de Hidrotermalismo en el Perú (Ingemmet, 1997, 1998 y 2000).

3.3.5 Balance Hídrico

En el Perú, son pocos los estudios de los recursos hídricos realizados a nivel nacional, el Plan Nacional de Irrigaciones (PLANIR), conjuntamente con la cooperación española CEDEX en 1990, elaboró el estudio más reciente de los recursos hídricos del Perú a nivel nacional, en el cual empleando una metodología hidrológica a nivel de planificación, realizaron los balances hídricos a nivel de cuencas, parte de este estudio en lo referente a la franja en estudio se muestra en el Cuadro N° 19. Los balances que se presentan en este cuadro consideran el concepto de cuenca húmeda o eficaz (área aportadora), a aquella superficie de la cuenca que a partir de la isoyeta 200 mm es aportadora (caso vertiente pacífica), y el recurso natural viene a ser la suma del recurso interno más el externo el que a su vez es equivalente a la aportación específica; no se consideran las intercuenas de la vertiente del pacífico.

Cuadro N° 19
Balance Hídrico

Cuenca	Área total km ²	Área aport. km ²	Precipitac. mm	Aportación específica mm	ET mm	Recurso interno Hm ³ /año	Recurso externo Hm ³ /año	Recurso natural Hm ³ /año
VERTIENTE DEL PACÍFICO								
ICA	4 330	2 030	465	129	337	261	0	261
GRANDE-NASCA	10 370	3 800	435	110	325	418	0	418
ACARÍ	4 450	2 750	588	156	433	428	0	428
YAUCA	4 050	2 350	661	268	393	631	0	631
CHALA	1 150	220	260	27	234	6	0	6
CHÁPARRA	1 230	340	310	45	265	15	0	15
ATICO	720	50	250	23	227	1	0	1
CARAVELÍ	1 550	250	250	23	227	6	0	6
OCOÑA	15 220	12 120	615	256	359	3 101	0	3 101
CAMANÁ-MAJES	17 000	12 000	600	257	343	3 083	0	3 083
QUILCA-SIGUAS	12 740	7 200	368	66	300	491	0	491
TAMBO	12 472	7 673	498	161	337	1 235	0	1 235
VERTIENTE DEL ATLÁNTICA								
PAMPAS	22 800	22 800	872	296	576	6 748	0	6 748
APURÍMAC	42 530	42 530	1 151	641	510	27 255	0	27 255
URUBAMBA	32 110	32 110	2 678	1 998	680	64 174	0	64 174
INAMBARI	18 920	18 920	2 231	1 596	635	30 194	0	30 194
TAMBOPATA	16 650	16 650	4 121	3 437	684	57 237	0	57 237
VERTIENTE DEL TITICACA								
ILAVE	7 668	7 668	653	181	472	1 387	0	1 387
ILLPA	1 305	1 305	658	168	490	220	0	220
COATA	4 548	4 548	857	319	538	1 450	0	1 450
RAMIS	15 714	15 714	740	156	585	2 443	0	2 443
HUANCANÉ	3 618	3 618	636	177	459	639	0	639
SUCHES	1 150	1 150	691	169	502	217	0	217
NINANTAYA								

Fuente CEDEX, 1990.

3.4 FORMACIONES ECOLÓGICAS Y ZONAS DE VIDA

De acuerdo al sistema de “Zonas de Vida” elaborado por el Dr. L.R. Holdridge, y del Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995), en el área de estudio se han encontrado 35 zonas de vida (Ver Mapa N° 7)

Los autores describen las zonas de vida de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Distribución geográfica, extensión superficial y altitudes.
- b) Características climáticas de la zona de vida.
- c) Situación geográfica y edafológica.
- d) Características de vegetación
- e) Descripción de los usos agrícolas, pecuarios y forestales.

En el Cuadro N° 20, se describen las formaciones ecológicas y zonas de vida existentes en el área de estudio:

Cuadro N° 20
Formaciones ecológicas y zonas de vida

Zona de Vida	Ubicación	Temperatura	Precipitación anual	Relieve y suelos	Vegetación y Desarrollo de agricultura
1. Desierto desecado subtropical (dd-S)	Se extiende a lo largo del litoral, se encuentran en Pisco, Ica, Palpa, Nasca y Caraveli.	Máxima anual de 22,2 °C	44 mm anuales como máximo.	Plano a ligeramente ondulado, variando a abrupto en los cerros aislados de la cordillera de la Costa. Suelos de textura variable, entre ligeros a finos, con cemento salino, cálcico o yeso, e incipiente horizonte A. Tenemos yermosoles (cálcicos o gipsicos), solonchaks (salinos), fluvisoles (en valles irrigados) y regosoles (arenosos con presencia de dunas).	Vegetación muy escasa, apareciendo especies como halófitas, distribuidas en pequeñas manchas verdes dentro del extenso arenal. Valles costeros, donde mayormente se están proyectando irrigaciones, para el desarrollo de la agricultura.
2. Desierto desecado montano bajo subtropical (dd- MBS).	En áreas dispersas entre Ica y Arequipa.	Entre 12 y 18 °C.	Entre 15,6 y 31,2 mm	Es variable, de plano a ligeramente ondulado (planicies elevadas de la región costera); una parte accidentada o abrupta, en las pendientes escarpadas de las laderas de la vertiente occidental. Se presentan suelos propios de los desiertos como yermosoles (cálcicos, gipsicos), así como también xerosoles (cálcicos, gipsicos), suelos salinos (solonchaks) y arenosos (regosoles) o Fluvisoles (propios de valle).	Escasa vegetación; sólo cercana a los cauces de los ríos secos, en forma dispersa. Actividad agrícola a lo largo de los valles irrigados; también actividad ganadera.
3. Desierto desecado templado cálido (dd-Tc)	Se extiende a lo largo del litoral entre Lomas, Chala y Punta Grande.	Máxima anual de 19,4 y 16,3 °C	Máximo total 15,1 mm		
4. Desierto superárido subtropical (ds-S)	Se ubica en las estribaciones bajas de la vertiente occidental andina, no mayor a los 1 000 msnm.	Media anual máxima de 20,2 °C y mínima de 19,8 °C.	Máximo de 49,0 mm y mínimo 18,0 mm.	Plano a ligeramente ondulado, en algunos sectores son accidentados y empinados. Suelos generalmente profundos, de texturas variables, acumulan calcio y yeso. También aparecen los Fluvisoles que están a lo largo de los valles fluviales.	Se presenta abundante vegetación . En la mayor parte de su extensión carece de actividad agrícola y pecuaria. Los terrenos con riego, tienen un alto valor agrícola, debido a sus buenas condiciones.
5. Desierto superárido montano bajo subtropical (ds-MBS)	Se encuentra por zonas entre las estribaciones andinas, hasta los 2 300 msnm.	Media anual entre 12 y 18 °C.	Media anual varía entre 31,2 y 62,5.	Accidentado, teniendo laderas de fuerte pendiente; escasas partes planas. Suelos someros (litosoles), Fluvisoles (estratificados y textura variada) y andosoles vítricos (de naturaleza volcánica).	Vegetación muy escasa, apareciendo especies de vida efímera durante la estación de lluvias. Actividad agrícola desarrollada en lugares con agua constante (ríos Ocoña y Sama).
6. Desierto superárido templado cálido (ds-Tc)	Está entre 150 y 400 m de altitud, desde Yauca a la Qda. Cháparra.	Media anual máxima de 19,5 °C.			
7. Desierto perárido subtropical (dp-S)	En los sectores altos de los valles de Ica, Acari, Yauca y Ocoña.	Media anual entre 17° C y 24 °C.	Promedio entre 104,2 y 73,5 mm.	Topografía suave, plana hasta muy accidentada. Presenta suelos heterogéneos, relativamente profundos, de texturas variada, que acumulan calcio y yeso, así como suelos arcillosos y suelos arenosos.	La vegetación es abundante en los desiertos superáridos, cercanos a los valles. Las áreas irrigadas tienen un alto valor agrícola, mantienen una ganadería productiva.

Zona de Vida	Ubicación	Temperatura	Precipitación anual	Relieve y suelos	Vegetación y Desarrollo de agricultura
8. Desierto perárido montano bajo subtropical (dp-MBS)	Se encuentra entre la zona de Santa Lucía y Huanunuanu.	Media anual entre 16,4 °C y 10,6 °C.	Promedio entre 102,2 y 63,5 mm.	De topografía predominantemente accidentada, con pendientes pronunciadas que sobrepasan el 70%, alternando con algunas áreas de topografía suave.	Vegetación escasa, se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera dominando las gramíneas así como arbustos, subarborescentes y cactáceas.
9. Desierto perárido templado cálido (dp-Tc)	Se encuentra a lo largo del litoral entre Chala, Bella Unión y Marcona.	Media anual de 18,3 °C.	Promedio de 74,4 mm	Se presentan suelos xerosoles, generalmente calcáreos o con yeso, como también andosoles vítricos (dominados por materiales volcánicos).	Las tierras que presentan riego permanente, van a tener cultivos intensivos como permanentes.
10. Desierto perárido montano subtropical (dp-MS)	Se localiza en la cuenca alta del río Cháparra.	Media anual entre 6 °C a 12 °C.	Promedio entre 31,5 y 62,5 mm.	Presenta relieve muy accidentado con laderas mayores de 60%. Suelos litosoles y suelos de naturaleza volcánica (andosoles).	Escasa vegetación, predominantemente se presentan hierbas anuales, cactus, etc. Son desfavorables para el desarrollo agrícola y ganadero. Se desarrollan en zonas cercanas a fuentes de agua.
11. Matorral desértico-subtropical (md-S)	Se encuentra en las partes altas de los valles del río Marañ, Cotahuasi, Lampalla y Acari.	Media anual entre 17,4 °C.	Promedio total de 139,7 mm.	Topografía generalmente abrupta. Presenta suelos superficiales de naturaleza litosólica.	La vegetación está compuesta por árboles pequeños y vegetación herbácea rala. Las tierras son usadas para el pastoreo de ganado, aprovechando los pastos estacionales. En terrenos con riego permanente se desarrolla bien la agricultura.
12. Matorral desértico montano bajo subtropical (md-MBS)	Se ubica desde San Isidro de Curis, hasta las partes altas del río Acari.	Se presenta entre 13,5 °C y 11,0 °C.	Promedio máximo de 139,7 mm.	Topografía generalmente abrupta. Los suelos son de naturaleza litosólica.	Vegetación escasa, se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera. Agricultura bajo riego y subsistencia. Se desarrollan bien cereales, hortalizas y tubérculos. Estos suelos tienen muchas limitaciones.
13. Matorral desértico templado cálido (md-TC)	Se presentan en la costa como Lomas.	Se presenta entre 12 °C y 17 °C.	Entre 125 y 250 mm.	Suelos litosólicos, de poca profundidad y arenoso, aparecen las formas regosólicas.	
14. Desierto árido montano subtropical (da-MS)	Partes altas de los ríos Cháparra, Atico, Ocoña y de la Qda. Manga.	Promedio entre 6 °C y 12 °C.	Varía entre 62,5 a 125 mm, total anual.	Fuertemente accidentado, presenta laderas escarpadas y pendientes hasta de 70°.	Dominantemente gramíneas como: stipa, festuca, calamagrostis, y tola. Limitada la acción agrícola, pecuaria y forestal.
15. Estepa espinosa montano bajo subtropical (ee-MBS)	Se encuentra en Puquío, Pampacolca, Cotahuasi, Pausa, etc.	Entre 17,7 °C y 12,8 °C.	Varía entre 590,4 y 216,1 mm.	Es empinado, está conformado por las laderas del flanco occidental. Suelos calcáreos, profundos, textura arcillosa, con bajo contenido orgánico	Vegetación estacional, que es usada para el pastoreo del ganado. Zona donde se pueden cultivar diversas variedades y algunos frutales.
16. Matorral desértico montano subtropical (md-MS)	A lo largo de la cordillera occidental, se tienen como ejemplo los poblados de Salla y Cahuacho.	Media anual de 10,6 °C.	Total por año 260,7 mm.	Topografía abrupta con laderas mayores a los 70°. Los suelos son del grupo de los xerosoles con materia orgánica.	Vegetación natural, dominan los arbustos y cactáceas y algunas gramíneas. La agricultura es de carácter de subsistencia, en áreas cercanas a fuentes de agua se cultivan algunos productos (papa, habas, trigo y cebada).

Zona de Vida	Ubicación	Temperatura	Precipitación anual	Relieve y suelos	Vegetación y Desarrollo de agricultura
17. Bosque seco montano bajo subtropical (bs-MBS)	Se ubican en las partes altas de los ríos Chalhuanca, Vellile, Tomás y Oropeza.	Anual máxima de 16,5 °C y Anual mínima de 10,9 °C.	Máximo de 972,9 mm, mínimo de 449,3 mm.	Suave, propio de las terrazas interandinas. Se presentan suelos generalmente de textura media a gruesa, neutros a calcáreos, de buen drenaje, pertenecen a los Kastanozems.	Vegetación primaria fuertemente deteriorada y sustituida por cultivos que son irrigados. Se desarrolla una agricultura muy limitada.
18. Estepa montano subtropical (e-MS)	La parte más representativa se encuentra entre Coracora, Chaviña e Incuyo.	11,3 °C y 7,1 °C	666,9 y 226,5 mm máximos y mínimos anuales.	Relieve empinado, con escasa topografía suave. Suelos profundos de naturaleza calcárea (Kastanozems) y otros con influencia volcánica (andosoles vítricos).	Presenta vegetación natural, dominada por la familia de las gramíneas. Tierras que carecen de riego. En zonas con pastos naturales se desarrolla pequeña ganadería.
19. Matorral desértico subalpino subtropical (md-SaS)	Como ejemplo, la parte media del volcán Sara Sara.	Varía entre 3 °C y 6 °C.	Máximo de 285,9 mm y mínimo de 239,6 mm.	Relieve quebrado variando a colinoso. Se conforma por suelos con horizonte "A" prominente y negro, generalmente ácido y con influencia de materiales volcánicos.	Las áreas mantienen gramíneas perennes, son utilizadas para el pastoreo.
20. Bosque húmedo subtropical (bh-S)	Se ubica una pequeña parte cerca de Sandia.	Máxima anual de 24,5 °C y mínima anual de 18,4 °C.	Promedio máximo de 1 959 mm y mínimo de 1 200 mm.	Relieve onduiado y empinado. Suelos variados, profundos, ácidos. Hay influencia de materiales calcáreos, aparecen suelos más fértiles y de pH elevado.	Es un bosque siempre verde, alto y tupido. Las áreas deforestadas se dedican a actividades pecuarias y generalmente en condiciones de terrenos empinados, produciendo graves problemas de erosión.
21. Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MBS)	En los alrededores de Sandia.	Media anual de 14,1 °C.	Varía entre 1 063 y 992 mm.	Relieve dominante inclinado, con escasas áreas de topografía suave. Suelos de profundidad media, pH sobre 7, dependiendo mucho del material litológico dominante.	Entre las especies propias de la zona tenemos: Aliso (<i>Alnus jorullensis</i>), romelio (<i>Podocarpus sp.</i>) carapacho (<i>Weinmannia sp.</i>).
22. Bosque húmedo montano subtropical (bh-MS)	En Juliaca, Ayaviri, Sicuani, Yanaoca, Chuquibambilla, Santo Tomás, etc.	Anual máxima de 12,9 °C y mínima de 6,5 °C.	Promedio entre 1 119 y 410 mm (máximo y mínimo).	Dominantemente empinado. Dominan suelos relativamente profundos, arcillosos, reacción ácida (phaeozems). Donde hay predominio de litología calcárea aparecen los Kastanozems.	La vegetación natural climax casi no existe, se reduce a pequeños relictos o bosques residuales homogéneos como el quinal (<i>Poylapis sp.</i>), romerillo (<i>Podocarpus sp.</i>), etc. Se lleva una agricultura de secano, se cultiva preferentemente plantas autóctonas como la papa (<i>Solanum tuberosum</i>).

Zona de Vida	Ubicación	Temperatura	Precipitación anual	Relieve y suelos	Vegetación y Desarrollo de agricultura
23. Páramo húmedo subalpino subtropical (ph-Sa)	Se ubica en las zonas altoandinas de la Cordillera Occidental entre los 4 000 a 4 300 msnm.	7,2 °C a 3,2 °C	La máxima registrada es de 658 mm y la mínima de 480,5 mm.	Laderas inclinadas, áreas colinadas, y algunas zonas suaves hasta planas. Suelos poco profundos, horizonte A rico en materia orgánica; litosoles delgados en áreas inclinadas, y en zonas plano-depresionadas con mal drenaje, gleysoles y suelos orgánicos.	La vegetación natural está constituida predominantemente por manojos dispersos de gramíneas como el ichu que conforman los pastos naturales altoandinos. También se tiene el quinual. Zona productora de pastos naturales para ganado.
24. Tundra húmeda alpino subtropical (th-AS)	Se encuentra en pequeñas zonas del borde occidental andino entre los 4 300 y 5 000 msnm.	Entre 1,5 °C y 3 °C	Entre 125 y 250 mm	De accidentado a colinado, alternando con áreas relativamente suaves (lomadas) hasta planas. Suelos dominados por materiales volcánicos (andosoles vítricos y páramo andosoles), y litosoles, con suelo delgado, rocosos.	La vegetación está constituida predominantemente por "ichu", conformando parte de los pastos naturales altoandinos llamados "pajonales de puna". Entre las plantas a especies de carácter leñoso, como arbustos, aparece el "quinual" y algunas cactáceas.
25. Bosque muy húmedo subtropical (bmh-S)	San Juan del Oro y río Tambopata.	Entre 23,4 °C y 20,2 °C	Precipitación media total por año es de 3 374,7 mm.	Su topografía es generalmente abrupta con gradientes sobre el 70% muy susceptibles a la erosión. Suelos generalmente ácidos, medianamente profundos a superficiales, de los grupos como acrisoles órticos, cambisoles districos y éutricos, así como también litosoles.	Vegetación siempre verde con lianas y bejuocos y muchos de ellos cubiertos por epifitas de la familia de las Bromeliáceas. Se cultiva cítricos, papayas, plátano, maíz, coca y yuca. El desarrollo de la actividad pecuaria es limitado por ser una zona muy húmeda. Hay producción de madera.
26. Bosque muy húmedo montano bajo subtropical (bmh-MBS)	Al norte de Sandia	Promedio medio anual de 15,2 °C.	Promedio medio anual de 1 889,5 mm.	Es muy accidentado, con pendientes que sobrepasan 70% y muchas áreas de fuerte disectamiento. Suelos superficiales, predominan los litosoles, como también cambisoles.	Vegetación densa, alta y verde, con árboles hasta de 20 m. Zonas con escaso desarrollo agrícola y pecuario.
27. Bosque muy húmedo montano subtropical (bmh-MS)	Patambuco, Sina y al norte de Limbani.	Media anual de 10,8 °C.	Promedio máximo de 1 694 mm.	Relieve muy accidentado con laderas fuertes sobre 60%. Suelos un tanto ácidos, relativamente profundos, de textura media a pesada, como phaeozems y algunas formas de luvisoles. Así mismo se encuentran cambisoles,	Son zonas mas húmedas con vegetación natural originaria, conituida por especies arbóreas como <i>Clusia</i> , <i>Brunellia</i> , <i>Raoabea</i> , etc. El uso agrícola y pecuario es limitado, por la alta humedad y baja temperatura. Pero en zonas altas y poco secas se lleva a cabo pastoreo de ganado vacuno y ovino en forma extensiva.

Zona de Vida	Ubicación	Temperatura	Precipitación anual	Relieve y suelos	Vegetación y Desarrollo de agricultura
28. Páramo muy húmedo subalpino subtropical (pmh-SaS)	Amplia zona, Santa Lucía, Ocuviñi, Cojata, Ajoyani, Crucero, Cailloma, etc.	Media anual 6,9 °C y 4,6 °C (máxima y mínima).	Promedio máximo de 1 055,5 mm y mínimo de 513,4 mm.	Relieve suave ligeramente ondulado, extenso. Suelos relativamente profundos de textura media, ácidos generalmente con influencia volcánica (páramo andosoles) o sin influencia volcánica (páramosoles). También se encuentran cambisoles, rendzinas, gleysoles, histosoles y litosoles.	Constituyen abundante mezcla de gramíneas y otras hierbas de hábitat perenne, se tiene <i>Festuca doliocophylla</i> , <i>calamagrostis antoniiana</i> , <i>S. ichu</i> , <i>S. obtusa</i> , etc. Entre otras que destacan es el quínual (<i>Polyplepis sp.</i>) y la <i>Puya Raimondi</i> . Son zonas de mejores pastos naturales y consecuentemente son las de mayor capacidad para producir este tipo de plantas para el sostenimiento de una ganadería productiva.
29. Tundra muy húmeda alpino subtropical	Se encuentra distribuida entre los límites de los cuadrángulos de Caillali y Santa Lucía.	Media anual de 3,3 °C		Relieve accidentado a colinada u ondulada, esta última modeladas por glaciares y volcánicos. Suelos de textura media a ligera, dominados por materiales piroclásticos, pertenecientes a los andosoles vítricos y páramo andosoles.	La vegetación se caracteriza por la presencia de manojos de pastos muy dispersos, quedando muchas áreas desprovistas o desnudas. El que más se ve es el ichu negro (<i>Stipa sp.</i>). Mantiene una actividad ganadera lanar (ovinos y auquénidos).
30. Bosque pluvial subtropical (bp-S).	Se ubica al extremo noreste del cuadrángulo de Sandía.	Media anual de 23,3 °C.	Promedio máximo de 7 162,3 mm y mínimo de 6 608,3 mm.	Relieve topográfico accidentado, con laderas sobre los 70% de gradiente y de naturaleza inestable y deleznable. El suelo se conforma de Litosoles, seguidos de Cabisoles éutricos y dístricos, así como también Acrisoles órticos.	La vegetación natural está constituida por árboles pequeños y delgados, donde las palmeras y los helechos arbóreos son más altos.
31. Bosque pluvial montano bajo subtropical (bp-MBS)	Se ubica en el extremo noreste del cuadrángulo de Sandía.	Media anual entre 12 °C y 17 °C.	Varía entre 4 000 a 8 000 mm.	La configuración topográfica es extremadamente accidentada, formada por laderas con declives que sobrepasan el 70%. Está conformado por litosoles (suelos delgados), seguidos de cabisoles (éutricos y dístricos), así como acrisoles órticos.	Bosques naturales, conformados por árboles bajos, delgados y de mala conformación y copas pequeñas parcialmente muerto. Zonas sin población humana permanente, difícil para una actividad constante como agrícola, pecuaria o aprovechamiento del bosque.
32. Bosque pluvial montano subtropical (bp-MS)	En el cuadrángulo de Sandía de encuentran dos zonas una al extremo sureste y otra en el norte y al noreste de Sandía.	Media anual entre 6 °C y 12 °C.	Promedio anual varía entre 2 000 a 4 000 m.	Topografía predominantemente abrupta, predominando laderas con declives que sobrepasan el 75%, con escarpas. Suelos delgados (litosoles) y posiblemente formas transicionales hacia cambisoles.	Está compuesta por árboles que llegan hasta los 15 m de altura. Es característico en esta zona derrumbes y deslizamientos por la fuerte pendiente. Estas zonas no tienen población estable. No presentan ningún potencial para el desarrollo agrícola, pecuario y aún forestal.

Zona de Vida	Ubicación	Temperatura	Precipitación anual	Relieve y suelos	Vegetación y Desarrollo de agricultura
33. Páramo pluvial subalpino subtropical (pp-SaS)	Como ejemplo tenemos: Macusani, Limbani y parte del cuadrángulo de Cayarani	Media anual máxima de 5,2 °C y mínima de 3,9 °C.	Promedio máximo de 1 342,4 mm. y mínimo de 828,7 mm.	Topografía variada, de suave a colinada hasta quebrada. Está conformado por suelos medianamente profundos, de textura media, con horizonte superficial A bastante conspicuo, con influencia volcánica (páramo andosoles) y escasa o ninguna influencia piroclástica (páramosoles).	Aparece el carrizo enano (<u>Chusquea</u> sp.) que se distribuye en espesas matas y bosques de pequeños árboles de los géneros <u>Polyplepis</u> , <u>Gynoxys</u> , <u>Escallonia</u> , etc. Son las que mejor mantienen el número menor de ganado, debido a su inaccesibilidad y condiciones climáticas.
34. Tundra pluvial alpino subtropical (tp-AS)	Como ejemplo tenemos: Condoroma, Suykutambo y gran parte del cuadrángulo de Chulca.	Media anual máxima de 3,2 °C y mínima de 2,5 °C.		Relieve topográfico accidentado, variando a colinado y ondulado, este último propio del modelaje glacial. Esta constituido por los páramosoles (con horizonte A oscuro), páramo andosoles (volcánicos y piroclásticos), litosoles en aquellos de fuerte gradiente y rocoso.	La vegetación es abundante y florística más diversificada, conteniendo arbustos, semiarbustos y hierbas de tipo gremial. Se lleva un pastoreo indiscriminado. Esto ha dado lugar a un empobrecimiento de los pastos naturales.
35. Nival subtropical (NS)	Esos lugares se encuentran en las partes altas de los nevados Ej. El Coropuna, Solimana, Sara Sara, La Rinconada, Pumanota, etc.	Por debajo de 1,5 °C	Máximo y mínimo anual de 500 y 1 000 mm.	Abrupto, con afloramientos rocosos con escaso suelo (suelos Liticos).	La vegetación es casi nula, son observables algunas algas sobre la nieve, así como musgos y líquenes. Tienen importancia desde el punto de vista hidroológico de los ríos y de las laguna altoandinas. Como también zonas de atracción turística.

FUENTE: INRENA, 1995.

Capítulo IV

GEOMORFOLOGÍA

4.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Las formas del terreno están condicionadas por factores diversos, siendo los fundamentales la tectónica antigua y reciente, la litología, el clima y las pendientes del terreno.

Se ha confeccionado un Mapa Geomorfológico, a escala 1:750 000 de toda la Franja N° 2, en el que se han diferenciado las principales unidades geomorfológicas, tomando como criterio fundamental para separarlas, su forma en planta, pendiente y su génesis.

La Franja N°2, comprende las siguientes unidades geomorfológicas: (Ver Mapa N° 8).

4.1.1 Faja Litoral (FL)

La faja litoral se encuentra limitada entre el flanco occidental de la Cordillera de la Costa y la línea de playa, es una zona angosta, posee anchos variables entre 20 y 70 km (Otuma) y sigue una dirección de sureste a noroeste, con franjas delgadas de playa y sectores de acantilados, sus altitudes varían entre 30 y 100 m, constituidos por rocas del Complejo Basal (gneis y esquistos), intrusivas y sedimentarias.

La faja litoral, de sur a norte, posee geoformas de acumulación marina que consisten en playas de arena como en Millo y Chala; Tanaca y Yauca; Mansa y Brava en la localidad de Punta Lomas; Santa Ana, Palo Vento y Del Morro al norte, niveles de terrazas marinas y barras litorales compuestas por material de arena y grava como la de Laguna Grande en Ica, pequeñas albuferas donde se desarrolla la industria de la sal, como Las Salinas de Otuma y que corresponden a zonas bajas, donde se mezclan las aguas marinas con las bahías, como las de Lomas, San Juan y San Nicolás. (Ver Foto N° 1)

4.1.2 Cordillera de la Costa (CC)

Se denomina así a los remanentes de afloramientos rocosos antiguos que van desde el Precámbrico al Paleozoico superior, apareciendo entre Punta Guanera al sur y Punta Otuma al norte, distribuidos paralelamente al litoral con orientación sureste a noroeste, conformada por un complejo de rocas metamórficas, consistentes en esquistos y gneis intruídas por plutones batolíticos ígneos gneisificados, de edad precámbrica y monzogranitos, dioritas y gabros del Jurásico, finalmente rocas volcánicas rellenan las irregularidades en las superficies del terreno de esta unidad.

El ancho de esta cordillera es variable; uno de sus mayores anchos se encuentra en San Juan, con 30 km, posee peñas o promontorios marinos sumergidos en el mar, de morfología abrupta con geoformas provenientes de la erosión marina, como pilares y cavernas que en promedio alcanzan los 15 m de altura; existen terrazas labradas sobre estas rocas. La altura de esta unidad es variable, con 900 m en promedio en los cerros de Marcona y en Las Lomas. Este complejo metamórfico es disectado en forma transversal por los ríos Ica, Grande, Acarí, Yauca y Cháparra, formando valles estrechos, amplios en su desembocadura.

La Cordillera de la Costa, por la naturaleza de las rocas que la conforman, posee un drenaje subdendrítico a subparalelo, su relieve varía según la ubicación de su vertiente; así en el frente occidental que da al océano es muy accidentado y forma acantilados con alturas que varían de 50 a 100 m, mientras que el relieve oriental es suave y colinoso, cubiertos por mantos de arena eólica, con superficies depresionadas inscritas a manera de pampas de arena, que en algunas zonas se conectan con la Planicie Costanera. (Ver Foto N° 2).

4.1.3 Planicie Costanera (PC)

Esta unidad se desarrolla entre el flanco oriental de la Cordillera de la Costa y la depresión tectónica Ica-Nasca hacia el norte y el flanco andino occidental hacia el sur, disectados ambas por quebradas de poca profundidad; se trata de una superficie de acumulación de depósitos eólicos (dunas y mantos de arena), depósitos de sedimentos volcanoclásticos, relictos de la antigua Cordillera de la Costa, de cimas planas cubiertas por depósitos de arenas, distribuidos en una gran extensión que conforman el Gran Tablazo de Ica, terrenos plano ondulados de suave pendiente como las lomas de Marcona y Tanaka, finalmente terrenos planos denominados "pampas". (Ver Foto N° 3).

La Planicie Costanera tiene un ancho comprendido entre 5 y 40 km, con elevaciones promedio de 200 a 1 200 m. Entre las principales pampas están, las de Amara, Pescadores y Toma Luz, cruzadas por la vía afirmada que comunica a bahía Lomitas, la Pampa de Salinas de Pileta, observada a lo largo del camino afirmado que conduce a Puerto Caballas, la pampa Las Clavelinas y Huayuri, donde existen campos de dunas de arena,

las pampas Toromuerto y Mendoza, por donde cruza la Carretera Panamericana Sur y donde se emplaza el pueblo de Yauca, finalmente las pampas de Huaranguillo, Salinas y del Toro donde existe una gran acumulación de arena. En el sector de San Juan–Yauca, esta unidad está representada por terrazas marinas relacionadas al levantamiento andino (BROGGI, 1946) y son superficies de abrasión que poseen morfología escalonada.

La planicie costanera, además de los ríos principales que la cortan y forman valles amplios, próximos al litoral, donde se emplazan localidades importantes como Ica, Yauca, Nasca, Palpa y Acarí; se encuentran disectada por quebradas secas, anchas, de fondo plano, poco profundas, en ella también se emplazan superficies de lomadas y colinas donde existen acumulaciones de arena a manera de mantos muy bien desarrollados como en Cerros de Arena, frente a la localidad de Acarí, el que posee en su cima la formación de dunas, barjanas con dirección suroeste-noreste, originadas por el viento y las partículas en suspensión encuentran una barrera que les sirve como ambiente favorable para su depositación y formación. Las principales subunidades localizadas en esta unidad son:

Terrazas aisladas (TA)

En la unidad Planicie Costanera, existen geoformas que asemejan a terrazas escalonadas, lomas y en algunos sectores figuras geométricas, como el cerro Tres Pirámides; están formadas por diatomitas que le dan a las geoformas un color blanco, también se intercalan areniscas tobáceas y lutitas, siendo estos materiales susceptibles a la erosión, son observables en la margen derecha del río Ica y a las afueras de la ciudad en dirección a la línea de costa. (Ver Foto N° 3).

Depósitos eólicos (DE)

Están ubicados también dentro de la unidad Planicie Costanera, se encuentran ampliamente distribuidos en la zona a manera de mantos, cordones y dunas de arena que muestran la dirección de los vientos predominantes, el grosor es variable y las arenas son de grano grueso y fino, gris oscuras y blancas, estos depósitos rellenan depresiones y cubren geoformas preexistentes. Se observan en su mayor extensión en las afueras de la ciudad de Ica, en dirección a la línea de costa. (Ver Foto N° 4).

Depresión tectónica (DT)

Denominada por MACHARÉ J. et al., en 1987, como depresión Ica-Nasca, se refiere a una franja estructural hundida ubicada entre la pampa costanera y las estribaciones

del flanco andino occidental y limitada por los ríos Ica y Nasca, cortada por las quebradas y afluentes que bajan del flanco andino occidental.

Esta unidad morfoestructural se extiende paralela a la línea de costa, con un ancho aproximado que varía entre 10 y 20 km, está relacionada a una falla de flexura en el río Nasca, debido a la tectónica cuaternaria que levantó la unidad de Planicie Costanera, evidenciada por la diferencia de nivel entre las terrazas levantadas de la misma y el bloque hundido en cuestión.

Abanicos aluviales (Ab)

Se ubican entre la unidad conocida como Depresión Tectónica Ica-Nasca y el flanco andino occidental de la cordillera, esta unidad está formada por secuencias de abanicos aluviales, constituidos por material proveniente de flujos de lodo que han sido acumulados a través del tiempo y que en la actualidad forman parte de los conos de deyección de varias quebradas y ríos, entre los cuales se pueden mencionar a las quebradas Yapana y Cruz del Chino; los ríos Ajá y Seco. El relieve es moderadamente suave, con inclinaciones que varían entre 2° y 6° aproximadamente y constituido por bloques, bolos y fragmentos de rocas distribuidos caóticamente en matriz de arena y limo. Cabe mencionar que estos depósitos se encuentran cubiertos por mantos de arena proveniente del litoral y como recurso geohidrológico son importantes por almacenar agua subterránea.

4.1.4 Valles (V)

Esta unidad comprende tres principales vertientes: Pacífico, Atlántico y del Titicaca donde se emplazan los valles principales; los ríos que drenan en dirección al océano Pacífico labran su cauce en las partes altas del flanco andino occidental, continuando por la planicie costanera hasta su desembocadura en el océano, los ríos de la vertiente Atlántica nacen en las cumbres del flanco andino oriental y drenan hacia el Llano Amazónico; finalmente los ríos que pertenecen a la vertiente del Titicaca drenan hacia el lago del mismo nombre. En estas superficies amplias se emplazan ciudades importantes que forman los principales ejes de desarrollo de la región y se han podido clasificar en:

Valle inundable (Vi)

Los que forman valles principales son los ríos Ica y Grande, en el primero se emplaza la ciudad de Ica y drena en dirección noroeste-sureste; en el segundo se emplaza la ciudad de Palpa y drena en dirección noreste-suroeste, éstos nacen en la Cordillera Occidental de los Andes, en el departamento de Huancavelica y entre las cotas de 4 000

y 5 000 msnm, ambos dan origen a valles angostos, que en la unidad Planicie Costanera, se expanden originando terrenos aptos para la agricultura y donde se suscitan por lo general desbordes en época de lluvias estacionales. (Ver Foto N° 5).

Hacia el sur, existen ríos como el Yauca, que forman también valles principales tiene sus nacientes en las alturas de Chaviña, en las lagunas de Ancascocha y el río Acarí que nace en la laguna de Yaurihuirí (Ayacucho). Ambos tienen la característica de ser paralelos entre sí y drenar en dirección noreste-suroeste.

Otro río importante es el Cháparra, que nace por infiltración de las aguas de la laguna Parinacochas teniendo como colectores al pongo Mayo, Huilafró y Atún Mayo. En época de verano trae mucha agua; en sus riberas se encuentran los pueblos de Quicacha, El Molino y Cháparra. Los valles de Chala y Tocota son generalmente secos; sin embargo discurre agua en época de lluvias estacionales.

Estos ríos mantienen un régimen característico de los ríos de la costa y en temporada de lluvias estacionales, es decir, en época de verano transportan considerables volúmenes de agua, disminuyendo este caudal en lo que resta del año e inclusive pueden llegar a secarse. De acuerdo al gran recorrido que tienen, forman valles amplios y angostos en diversos sectores de su trayectoria, en sección transversal, la profundidad que existe entre la cresta de sus taludes naturales o flancos y el lecho es variable, así como también, la forma y la inclinación de las vertientes. Los flancos de estos valles son empinados y escarpados en algunos sectores, según el tipo de litología que atraviesan; sin embargo, sus flancos pueden estar suavemente inclinados a medida que se aproximan al litoral.

Valle cañón (Vc)

Esta geoforma es predominante en la región altoandina y es característica de ríos juveniles, está constituida por zonas encajonadas y profundas, en forma de «V», con paredes verticales y laderas abruptas, labradas en rocas del flanco andino occidental y del flanco andino oriental, donde los ríos siguen controles estructurales y litológicos, las cajas son angostas con materiales de grandes dimensiones en el cauce, como bolos y bloques de roca provenientes de derrumbes en las paredes, producto de lluvias, erosión en las márgenes, fracturamiento de rocas y sismos.

Dentro de las principales zonas encañonadas que drenan hacia la costa tenemos: la que se ubica en la cuenca media del río Colca, donde el cañón es muy profundo llegando hasta 3 000 m; al suroeste de la localidad de Cotahuasi, el cañón del río Cotahuasi tiene aproximadamente 2 400 m de profundidad; el río Acarí con 1 800 m de profundidad al sur de Puquio; en la hoja de Pausa el cañón del río Huanca Huanca llega a 1 400 m.

Existen también ríos encañonados en la zona altoandina, nacen en un ambiente volcánico donde la geoforma predominante son las lomas y remanentes de estructuras

volcánicas, cuyos depósitos de flujos de lava y piroclásticos han sido labrados por los flujos de agua que nacen de los mismos o bordean su entorno. (Ver Foto N° 6).

En la vertiente del Atlántico existen ríos que drenan hacia la selva, como el río Chalhuanca que también tiene su parte encañonada en el sector de la Hda. San Francisco y cuya profundidad llega a los 1 000 m, los ríos Cayarani que nace en las alturas de la laguna Cacansa, Millomayo Chilinga y Umajala que corren con rumbo sur a norte, pasando por el poblado de Cayarani y junto al río Santo Tomás, que también es un gran colector, constituyen parte de la cuenca del río Apurímac.

4.1.5 Cordillera Occidental

Esta unidad se encuentra dividida en tres subunidades:

Flanco Andino Occidental (FAOC)

Es una cadena montañosa de dirección noroeste-sureste, adyacente a la unidad Depresión Tectónica Ica-Nasca y la Planicie Costanera hacia el sur. Está conformada por rocas del Jurásico y Cretáceo, intruídas por el Batolito de la Costa, recubiertas en algunos sectores por la unidad de superficies de flujos piroclásticos, la topografía es irregular y su relieve es abrupto con un sistema de drenaje dendrítico disectado por numerosas quebradas; las alturas varían de 400 a 3 600 msnm. Los principales ríos y quebradas que bajan hacia la Planicie Costanera disectando los terrenos hasta su desembocadura en el océano Pacífico, tienen sus orígenes en esta unidad. (Ver Foto N° 7).

Flanco Andino Oriental (FAOR)

Está constituida por una cadena de montañas que colindan con la unidad de Lomadas Volcánicas, posee un relieve escarpado, con alturas menores a 4 500 y posee cumbres que alcanzan alturas de hasta 5 000 msnm; en esta unidad tienen su origen los ríos pertenecientes a la vertiente Atlántica. Está constituida por rocas intrusivas batolíticas de extensión regional y por secuencias de rocas sedimentarias que mantienen un comportamiento estructural plegado y fallado, posee un drenaje dendrítico y subparalelo, controlado por factores estructurales, tal es el caso de los ríos Chalhuanca, y Antabamba. (Ver Foto N° 8).

Colinas disectadas (Cold)

Esta geoforma se encuentra limitada por la Cordillera de la Costa, el flanco andino occidental y la unidad de flujos piroclásticos, con alturas por debajo de los 2 500 msnm.

En esta unidad se emplaza el pueblo de Caravelí, esta superficie muestra un relieve ondulado, colinoso y en partes plano, distinguiéndose pampas disectadas por quebradas que bajan hacia el suroeste, constituida por areniscas, conglomerados y materiales volcánicos tipo tobas que dan origen a patrones de drenaje paralelo, las pendientes de las laderas son moderadamente suaves. (Ver Foto N° 9).

Llanura intramontana (LL)

Esta es una unidad muy localizada; se trata de una superficie plano-ondulada, con una pendiente promedio de 5%, inclinada hacia el suroeste, formada en ignimbritas provenientes de la acción volcánica, que rellenaron probablemente una depresión preexistente. Está disectada por quebradas que bajan desde el complejo de aparatos volcánicos ubicados en sus inmediaciones, en esta superficie plano ondulada se ubica la pampa Cañahuas.

Superficie de flujos piroclásticos (Sfp)

Son superficies locales, suaves a moderadamente inclinadas, muy disectadas por su naturaleza litológica, al estar constituida por tobas y sedimentos volcanoclásticos provenientes de fases explosivas de aparatos y complejos volcánicos que se distribuyen en la región y que han sido depositadas mediante un mecanismo de nubes ardientes o como flujos de piroclastos, se encuentran cubriendo a rocas antiguas a manera de techo, las principales zonas se observan en el ascenso de la carretera Nasca-Puquio, a manera de lomas, de cimas redondeadas, cuyas alturas se encuentran entre 2 000 y 3 800 msnm, y también hacia el flanco suroeste del volcán Sara Sara, donde presenta un drenaje paralelo, por donde bajan torrenteras hacia la laguna de Parinacochas, las alturas están comprendidas entre 3 400 y 4 000 m. (Ver Foto N° 10).

4.1.6 Arco Volcánico

Se encuentra dentro de la Cordillera Occidental de los Andes, es una franja cuyo ancho en la zona está comprendido entre 60 y 100 km, posee una dirección sureste a noroeste, siguiendo un alineamiento paralelo a la dirección del levantamiento andino y limita hacia el oeste con el flanco occidental de la Cordillera Occidental y hacia el este con el flanco oriental de la misma cordillera e inscrito en el relieve montañoso, colindando con superficies plano-onduladas.

Esta unidad agrupa a formas determinadas por el volcanismo, las que han sido modeladas por los agentes denudativos, conservando aún sus rasgos definidos de sus formas iniciales.

Complejos volcánicos (Com)

Se conoce así al conjunto de aparatos volcánicos erosionados, presentes en esta unidad, que forman el denominado Grupo Barroso, sus cumbres y sus laderas están conformadas por derrames volcánicos que han sido modificadas por acción glacial, siendo los materiales involucrados en esta unidad, rocas y materiales provenientes de un volcanismo explosivo y efusivo, como lo son los flujos piroclásticos, caída de cenizas y flujos de lava. Ejemplo de esta unidad es el Ccarhuaraso. (Ver Foto N° 11)

Conos volcánicos (Cov)

Se encuentran distribuidos en las partes más altas de la franja y están constituidos por una serie de aparatos volcánicos que sobresalen en la llanura altoandina, dándole a la zona un relieve agreste. Dentro de los principales conos volcánicos se tiene el nevado-volcán Coropuna, de 6 377 msnm, ubicado al noroeste de la localidad de Viraco, Solimana con más de 6 100 msnm al sur del pueblo de Cotahuasi y Sara Sara con 5 021 msnm, ubicado al oeste del pueblo de Pausa; Ampato y Sabancaya. El patrón de drenaje para estas geoformas es radial centrífugo. También existen remanentes de conos volcánicos que han sido destruidos por una actividad explosiva violenta o por la erosión glacial. (Ver Foto N° 12).

Colinas volcánico-sedimentarias (Colvs)

Esta unidad se encuentra aledaña a complejos de aparatos volcánicos y también a la unidad de superficie de flujos piroclásticos, está constituida por materiales producto de la actividad glacial y volcánica en el pasado y que originaron el relieve actual, el cual está conformado por laderas de conos volcánicos, colinas, lomas y pampas de materiales tipo toba, fácilmente erosionable por los agentes denudativos, coladas lávicas que cubren morrenas, y depósitos glaciofluviales que rellenan depresiones, se encuentra a una altura entre 3 600 y 4 000 msnm, está disectada por quebradas con patrones de drenaje subparalelo. (Ver Foto N° 13).

Lomadas (Lo)

Esta unidad se encuentra colindante con complejos de conos volcánicos y a la unidad de montañas, comprende superficies de origen volcánico cuyo relieve es plano-ondulado, constituido por pampas tales como la pampa del Confital y lomas conformadas por rocas tipo ignimbritas fácilmente modeladas por la denudación, rocas sedimentarias, depósitos lacustrinos como tobas areniscosas y conglomerados fluviales y materiales

morrénicos, la altitud está comprendida entre 4 000 y 4 800 msnm. Esta unidad alberga estructuras volcánicas del tipo domo y depósitos glaciofluviales que rellenan depresiones. (Ver Foto N° 14).

Montaña (Mo)

Esta unidad forma parte de la Cordillera Occidental de los Andes, cerca al lago Titicaca, tiene un rumbo definido que sigue la dirección del levantamiento andino, posee extensión regional y aparece como una cadena colindante con la Cordillera Oriental y la unidad de colinas altiplánicas, se encuentra constituida por valles poco profundos que le dan un relieve abrupto y ha sido modelada sobre rocas sedimentarias tipo areniscas, cuarcitas, pizarras, calizas y limoarcillitas, formando un relieve plegado y fallado. Esta unidad también aparece limitada por el flanco andino oriental de la Cordillera Occidental y el complejo de conos volcánicos, y está constituida por rocas de los grupos Tacaza, Sencca y Barroso, del tipo flujos lávicos, tobas y riolitas que le dan un relieve moderado a abrupto. (Ver Foto N° 15).

Caldera volcánica (Cal)

Las calderas volcánicas son depresiones estructurales cuyo origen puede ser por erosión, explosión o hundimiento, al extruir el magma a la superficie se produce un hueco en la cámara magmática, el cual provoca un hundimiento de forma más o menos circular llamado caldera de hundimiento y otras veces la salida del magma se realiza de forma explosiva. En la zona de estudio se pueden observar aparatos volcánicos que poseen estas formas e inclusive se presume por la morfología del lugar, el drenaje centrípeto, el ambiente volcánico que rodea a la laguna de Parinacochas, ubicada al oeste del volcán Sara Sara, sea una antigua caldera de hundimiento. (Ver Foto N° 16).

Domos (Do)

Los domos son masas de roca que poseen forma de hongo, de cimas redondeadas, su origen está en la extrusión de lava muy viscosa y aspecto pastoso, localizados sobre el orificio de salida, siendo su crecimiento muy lento; en la zona de estudio se encuentran distribuidos alrededor de las unidades de conos y complejos volcánicos, a altitudes de 4 000 msnm en promedio, y forman parte de la configuración del relieve volcánico de la región. (Ver Foto N° 17).

Morrenas (Mor)

Las morrenas se originan cuando el hielo se funde y los glaciares depositan la mayor parte de su carga. Estos materiales, en general con formas angulosas, tamaños variados y sin clasificar, se denominan till. En ocasiones el till se presenta dando formas de relieve características que se conocen con el nombre de morrena y un ejemplo de ellas lo tenemos en el área que se encuentra circunscrita a las unidades de Cordillera Oriental y al sistema plegado de montañas; en esta zona se emplaza la localidad de Ananea; su relieve es suavemente ondulado y la altura promedio es de 4 600 msnm. Otra zona donde existen un conjunto de morrenas son las que se encuentran en la carretera Nasca-Puquio en el sector de Pampa Galeras. (Ver Foto N° 18).

Áreas glaciadas (Np)

Se denomina así a las cumbres más altas que conforman el relieve cordillerano y corresponden a altitudes por encima de los 5 500 m, con presencia de nieves perpetuas; comprende en algunos casos a conos volcánicos como del Coropuna y los nevados Aricoma, Jalahuana, Ipante, Huertapata, Jarjullo y Ananea; en estas zonas suceden desprendimientos o arranques bruscos de masas del cuerpo del nevado como consecuencia del cambio climático global que contribuye a que las masas de hielo se encuentren en franco retroceso glaciar. (Ver Foto N° 19).

4.1.7 Altiplano

En esta unidad se distinguen las siguientes subunidades geomorfológicas:

Altiplanicie (PA)

Es una superficie de extensión regional, caracterizada por su relieve de topografía moderada, con altitudes comprendidas entre 4 000 y 5 000 m, cruzada por remanentes locales de erosión que sobresalen sobre el nivel general del terreno y algunas geoformas de origen volcánico muy localizadas que constituyen mesetas. (Ver Foto N° 20).

Colinas altiplánicas (Col-alt)

Se trata de un relieve colinado estructural-plegado, que muestra una dirección sureste a noroeste y que conserva rasgos reconocibles de las estructuras originales como

anticlinales y sinclinales asimétricos, aún habiendo sido afectadas por procesos denudativos; estas colinas se encuentran disectadas por quebradas poco profundas, litológicamente están constituidas por rocas del Cretáceo, tales como limoarcillitas, lutitas, calizas, areniscas cuarzosas y conglomerados. (Ver Foto N° 20).

Mesetas (Me)

Esta unidad forma parte del Altiplano, corresponde a geoformas muy localizadas que poseen formas planas simulando mesas, poseen 200 m de altura diferencial con respecto al nivel de la unidad de altiplanicie donde se localizan, están constituidas por rocas volcánicas que aparecen como flujos de lava horizontales. (Ver Foto N° 21).

Valle inundable altiplánico (Vi-alt)

En la cuenca hidrográfica del Titicaca, el principal río es el Coata, que recolecta las aguas de los ríos Lampa y Cabanillas; otros ríos como el Azángaro o Crucero, Tintire, Aquisé y Santa Rosa, recorren las montañas y colinas altiplánicas de noroeste a sureste, desembocando en el lago Titicaca; su drenaje es dendrítico; estos ríos se caracterizan por ser meándricos, debido a que atraviesan territorios planos y forman zonas inundables por el incremento de la acción fluvial y pluvial. (Ver Foto N° 22).

Valles glaciares y morrenas (Vgm)

Estas unidades afloran en la región altoandina; sin embargo se pueden definir muy bien entre el flanco occidental de la Cordillera Oriental y la unidad de montañas por donde cruza el río Crucero, afluente del Ramis, a una altitud cercana a los 4 500 msnm, donde se han preservado las geoformas heredadas de las eras glaciales del Pleistoceno, como la laguna Aricoma camino a Limbani, Pararani, La Rinconada y Suches en la frontera con Bolivia, donde el entorno natural muestra una topografía caracterizada por cimas empinadas y dentadas, conos de derrubios originados por meteorización mecánica y morrenas producto del acarreo y depositación de sedimentos por parte de los glaciares. (Ver Foto N° 23).

Bofedales y pampas (Bof-Pam)

Son superficies planas a moderadamente onduladas, muy localizadas y ubicadas aproximadamente a 4 500 msnm, a inmediaciones de ríos y lagos, tal como las zonas

inundables que forman los ríos de la vertiente del Titicaca, como Santa Rosa y Llallimayo de la cuenca del río Ramis, que forman zonas inundables por precipitaciones pluviales intensas en época de lluvias; estas zonas se ubican a inmediaciones de aparatos volcánicos, muchas de ellas coinciden con zonas hidrotermales como las de Pachapupo a 10 km de la comunidad de Putajasa y las aguas termales de Pinaya que afloran en las pampas del Catacora; finalmente se tiene las pampas de Putina formadas dentro de un relieve estructural plegado. (Ver Foto N° 24).

Depresión del lago Titicaca

Es una depresión de origen tectónico, ubicada en el Altiplano, totalmente ocupada por agua y debido a su cuenca endorréica, posee drenaje radial; litológicamente, el basamento está constituido por rocas paleozoicas sobre las que yacen rocas mesozoicas y secuencias volcánicas cenozoicas; en esta unidad se observan geoformas pequeñas como bahías, penínsulas e islas, y en su entorno se localizan ciudades importantes como Puno, Juliaca, Azangaro y Ayaviri. (Ver Foto N° 25).

4.1.8 Cordillera Oriental

Es una unidad morfoestructural continua, que se extiende paralela a la Cordillera Occidental y está constituida por rocas paleozoicas, se extiende con dirección sureste a noroeste, posee drenaje dendrítico y paralelo, se caracteriza por su relieve muy abrupto, con elevaciones que alcanzan 5 600 msnm en los nevados de Ananea, Aricoma y Jalahuana, con crestas y aristas agudas producto de la acción glaciaria, esta cordillera se prolonga hacia el sureste dentro de territorio boliviano donde toma el nombre de Cordillera Real. (Ver Foto N° 26).

4.1.9 Faja Subandina

Es una unidad morfoestructural ubicada entre la Cordillera Oriental y el Llano Amazónico siguiendo la dirección del levantamiento andino; en el área de estudio aflora una pequeña parte y se caracteriza por poseer un relieve estructural plegado y fallado constituida por rocas paleozoicas conformadas por pizarras y cuarcitas, allí se encuentran emplazados los centros poblados de Sandia, San Juan del Oro, Putinapuncu, Cuyo Cuyo, Limbani, Phara, Patambuco, etc. (Ver Foto N° 27).

4.2 MAPA DE PENDIENTES

Las laderas implican las definiciones de desnivel y pendiente, también la irregularidad o regularidad de la ladera, así como su continuidad a lo largo de los valles. Del desnivel depende la aceleración de los materiales desprendidos o deslizados de las zonas altas, así como también la pendiente influye en la escorrentía y como consecuencia en la cantidad de agua infiltrada.

En base a la información cartográfica digitalizada y procesada en el INGEMMET, se preparó el Mapa de Pendientes de los Terrenos de la Franja N° 2, presentado en el Mapa N° 9. Este mapa es útil para la confección de los mapas, geomórfológico, de amenazas y otros.



Foto N° 1 Unidad geomorfológica **Faja Litoral (FL)**, que incluye la formación de una barra litoral en Laguna Grande (Ica)



Foto N° 2 Unidad geomorfológica **Cordillera de la Costa (CC)**. Sector Puerto Lomas, donde se observan relictos de la Cordillera de la Costa



Foto N° 3 Unidad geomorfológica **Pampa Costanera (PC)**; se observa relictos rocosos producto de la erosión de calizas y arenas, con niveles de diatomitas, en el sector del los cerros Tres Pirámides, como unidades localizadas de **terrazas aisladas (TA)** (Ica)



Foto N° 4 Unidad localizada de **Depósitos eólicos (DE)**, sector de Tanaca, forma una zona de arenamiento en el tramo de la Carretera Panamericana Sur



Foto N° 5 Valle inundable (Vi), sector Ongoro, río Majes (Arequipa)



Foto N° 6 Valle cañón (Vc), río Colca. Vista aguas abajo, sector Tapay-Cosnihua (Cabanaconde, Arequipa)



Foto N° 7 Vista de la localidad de Puquio, emplazada dentro de la unidad Flanco Andino Occidental (FAOC) de la Cordillera Occidental



Foto N° 8 Vista del pueblo de Querobamba y al fondo la subunidad Flanco Andino Oriental (FAOR), de la Cordillera Occidental



Foto N° 9 Vista de la unidad **Colinas disectadas (Cold)**, constituida por cimas redondeadas y planas a manera de mesas, formadas por materiales piroclásticos, también existen zonas depresionadas constituidas por materiales fluvioglaciares en la hoja de Santa Ana



Foto N° 10 **Superficie de flujos piroclásticos (Sfp)**, en la subida de la carretera Nasca-Puquio, forma un relieve plano ondulado y colinoso, disectados por la escorrentía superficial

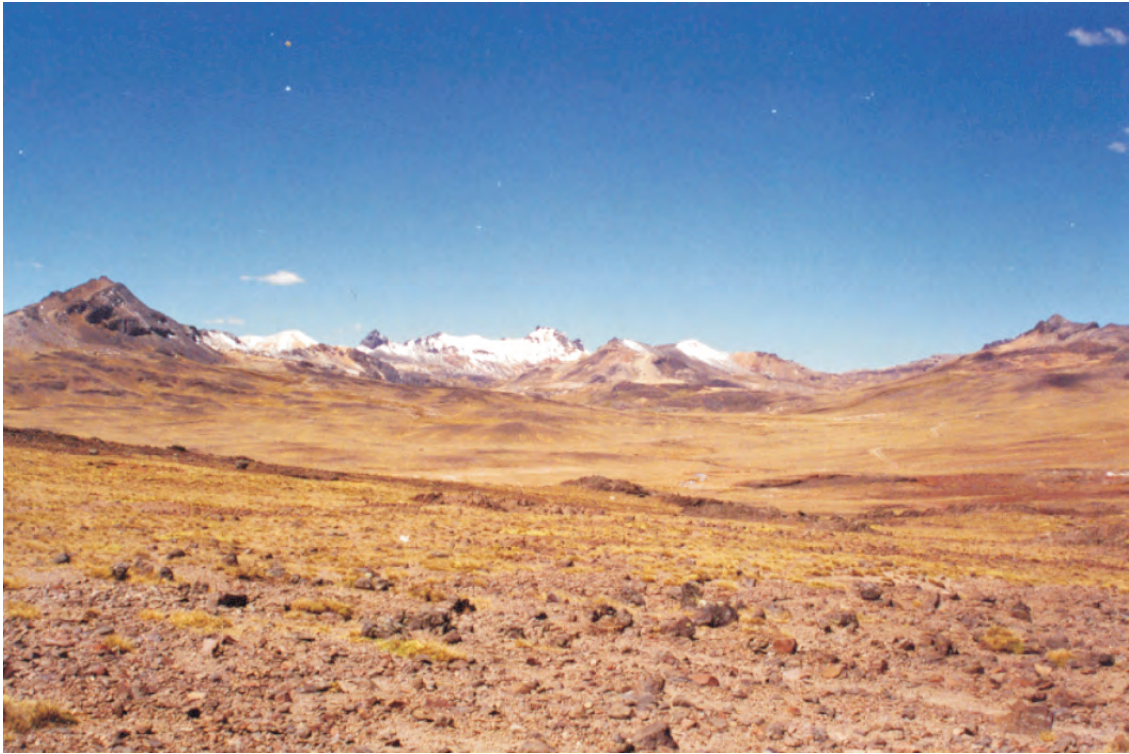


Foto N° 11 Vista del **Complejo Volcánico (Com)** de Ccsapay en la carretera Puquio-Pampachiri (Ayacucho)



Foto N° 12 **Conos Volcánicos (Cov)**. Vista del flanco noreste del volcán Sara Sara (Ayacucho)



Foto N° 13 Vista de la unidad localizada **Colinas volcánico-sedimentarias (Colvs)**. Depósitos piroclásticos y morrenas en el flanco noreste del volcán nevado Coropuna



Foto N° 14 Vista de la unidad **Lomadas (Lo)**. Pampa del Confital, conformada por materiales volcánicos en el área de Imata, cerro Sucachuca



Foto N° 15 Vista de la unidad **Montaña (Mo)**. Cordillera de Sillapaca



Foto N° 16 Caldera volcánica (Cal). Vista de una caldera de aproximadamente 1,5 km de diámetro en el cuadrángulo de Callalli, en la cual se ubica la laguna de Mamacocha



Foto N° 17 Domos (Do). Vista de un domo en el complejo volcánico Coropuna



Foto N° 18 Morrenas (Mor). Vista de morrenas laterales en la laguna de Sutunta (hoja de Condoroma, Espinar-Cusco)



Foto N° 19 Áreas Glaciadas (Np). Vista de la cordillera de Carabaya, límite NE del cuadrángulo de Macusani



Foto N° 20 Unidad geomorfológica de **Altiplanicie (PA)**. Vista de una extensa zona del Altiplano, en el sector de Cojata; se aprecian unidades localizadas de **Colinas altiplánicas (Col-alt)**



Foto N° 21 Vista de la unidad **Mesetas (Me)**. Meseta altiplánica, Isla Umayo



Foto N° 22 Valle inundable altiplánico (Vi-alt). Vista del pueblo y del valle del río Coata



Foto N° 23 Valle glaciár (Vgm). Vista del nevado Caballune (Ananea) y del valle formado



Foto N° 24 Unidad localizada de **bofedales y pampas (Bof-Pam)**, dentro del Altiplano



Foto N° 25 Depresión del lago Titicaca. Vista de la península de Jonsani e isla de Jaspiquei, sector norte del lago



Foto N° 26 Unidad geomorfológica **Cordillera Oriental.** Vista de los nevados de Ananea



Foto N° 27 Dos vistas de la **Faja Subandina**. En la foto superior, el sector Chamacani, río Limbani y en la foto inferior la localidad de Putinapunco, río Tambopata

Capítulo V

ASPECTOS LITOLÓGICOS-ESTRUCTURALES

5.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

En la Franja N° 2, afloran 6 unidades litológicas, que se han agrupado según su origen y composición. Las unidades litológicas se presentan en el Mapa N° 10, a escala 1:750 000 y son:

5.1.1 Unidad I: Depósitos Superficiales

Se clasifican de acuerdo a su origen en:

Depósitos eólicos

Los depósitos eólicos se ubican cercanos al litoral y cubren grandes extensiones de terreno. Se hallan en la unidad Pampa Costanera, formando cordones y dunas de arena que son desplazados por los vientos y también cubriendo a las estribaciones andinas. Algunos de estos depósitos son susceptibles a la ocurrencia de flujos de arena, que se deslizan por las laderas de áreas colinosas e interrumpen las vías de acceso durante las lluvias. Por ejemplo, en el sector de cerro Conchudo, donde los flujos dañan la trocha que viene del antiguo asentamiento minero Santa Rosa, que conduce a la planta de tratamiento de mineral Otapara, llegando hasta el pueblo de Acarí. Otra zona se encuentra en la Carretera Panamericana Sur (km 575) en el sector de Tanaca, donde estos depósitos afectan la carretera.

Depósitos fluvioglaciares y depósitos glaciares

Los depósitos fluvioglaciares y glaciares se encuentran a partir de los 4 500 m de altitud, ocupando laderas de volcanes y colinas, también se les encuentra en el Altiplano y se ven en las quebradas que la cortan. Están constituidos por materiales del tamaño de bloques, gravas y arenas, heterométricas, en matriz limo-arenosa, medianamente compactos y de permeabilidad baja a media. Se encuentran estables en el área.

Depósitos piroclásticos

Se hallan principalmente a inmediaciones de los aparatos volcánicos y son de dos tipos; de caída y de flujos; los primeros están constituidos por capas de lapilli-pómez, cenizas permeables y los segundos por capas masivas de fragmentos líticos, pómez, escoria dentro de una matriz de ceniza. Son susceptibles a la erosión.

Depósitos aluviales y fluviales

Los depósitos aluviales conforman llanuras aluviales y depósitos de piedemonte, algunos de ellos presentan cierto grado de litificación y constituyen terrazas erosionadas por las quebradas actuales. Estos depósitos generalmente corresponden a una mezcla heterogénea de gravas y arenas, así como limos y arcillas; que tienen mala selección y estratificación, su permeabilidad es de media a alta. Los depósitos fluviales en cambio se hallan en el cauce de los ríos, constituidos por bolos, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, son depósitos inconsolidados siendo su permeabilidad alta.

Depósitos proluviales, coluviales y lacustres

Los depósitos proluviales, son aquellos formados a partir de torrentes de agua que bajan por las quebradas formando conos de deyección y terrazas, el material que las constituye es heterométrico y mal clasificado, por lo general son angulosos, en matriz fina, permeables, medianamente consolidados a muy consolidados, en el caso de los lahares, son susceptibles a la erosión.

Los depósitos coluviales o de caída se les reconoce por la geometría que poseen y son producto de deslizamientos y derrumbes. Dentro de los primeros el material que los constituye es grueso y heterométrico, se encuentra distribuido dentro de materiales finos como arena, limo y pueden estar poco consolidados. Los derrumbes en roca y suelo se caracterizan por distribuirse caóticamente al pie de los taludes a manera de escombros; es muy común encontrarlos en los cortes de carretera y pueden ser estables en el caso de rocas o susceptibles a la erosión fluvial y pluvial, cuando los materiales son finos según donde se les localice.

Los depósitos lacustres, se presentan en capas horizontales a sub horizontales, poseen variaciones laterales tanto en el tamaño como en la composición de los sedimentos, constan de materiales como gravas en matriz arenosa, limos arcillosos finamente estratificados, estratos de arena algo friables con presencia de estratificación sesgada. Se encuentran al norte del lago Titicaca y son susceptibles a la erosión.

Depósitos marinos

Estos materiales están distribuidos en la ribera litoral, constituidos por acumulaciones de arenas sueltas con restos de conchas que forman terrazas, pueden también contener materiales gruesos tipo gravilla, forman extensas playas; son estables a las condiciones geodinámicas, salvo los movimientos sísmicos de gran intensidad que podrían originar licuefacción.

Depósitos antropogénicos

Relaves

Es conocida la amplia trayectoria minera que tiene nuestro país, donde producto de las explotaciones de los diversos yacimientos mineros existentes se construyen depósitos cuya función principal es la de almacenar permanentemente los estériles sólidos y retener temporalmente los efluentes líquidos procedentes de las plantas de tratamiento de las minas; antiguamente se disponían en las márgenes de los ríos y en la actualidad muchos de ellos se encuentran abandonados y presentan un peligro potencial de contaminación y colapso por falla estructural en sus taludes, para las poblaciones asentadas en su entorno.

En la Franja N°2, existen muchos depósitos de relaves, pudiendo citarse algunos como ejemplo, los del antiguo asiento minero La Capitana en la quebrada Charpa, los relaves abandonados en la margen izquierda del río Ingenio pertenecen al asentamiento minero Veluyo, los de Otopa y los de la mina Perla (antes Condoroma), sector de la planta Otapara, en la margen derecha del río Acarí, que en 1996 con el sismo de Nasca, colapsó por licuefacción, afectando terrenos de cultivo y provocando la muerte de un trabajador.

5.1.2 Unidad II: Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran en la Franja N° 2 pertenecen al Complejo Basal de la Costa, segmentos del Batolito de la Costa, el Batolito de San Nicolás y Abancay, las superunidades Tiabaya, Pampahuasi, Incahuasi y el plutón Querobamba, están constituidos por granitos, monzogranitos, dioritas, granodioritas y tonalitas.

Presentan una morfología colinosa cuando se extienden paralelo a la línea de costa en dirección sureste-noroeste, con una morfología de montaña, con pendientes abruptas y escarpadas, relieve irregular típico de la zona cordillerana. Estas rocas de acuerdo a su morfología, litología, grado de fracturamiento, cambios de temperatura y presencia de agua, son susceptibles a determinados fenómenos geodinámicos (deslizamientos, flujos, caída de rocas, etc.).

Los fenómenos de geodinámica externa que afectan a este tipo de rocas son las caídas, las cuales se pueden manifestar como desprendimientos de roca y derrumbes donde el agua, la gravedad, el fracturamiento y sismos les hace susceptibles a colapsos de magnitudes variables que causan daños a la infraestructura vial de la región. La resistencia de estos materiales varía con la composición, textura y localización; el granito es la roca más común de la familia de las rocas ígneas, siendo su resistencia a la compresión de 100-200 Mpa, mientras que para las rocas ultrabásicas la resistencia a la compresión está por debajo de estos valores.

5.1.3 Unidad III: Rocas Volcánicas

Esta unidad está claramente diferenciada en dos grupos de rocas: de naturaleza volcánica tipo lava-tufo y de naturaleza piroclástica.

Lavas y tufos (III-1)

Este grupo está representado por materiales que pertenecen al Grupo Barroso, conformado por lavas de composición mayormente andesítica, de textura porfirítica y afanítica, con secuencias de piroclastos de ceniza, lapilli y tobas en las cercanías de las estructuras volcánicas. En el valle de Andahua esta unidad está conformada por materiales distribuidos arealmente y que pertenecen al **Grupo Andahua**; se trata de un vulcanismo cuaternario (Holoceno), constituido de conos recientes y derrames de lavas, grises o gris - negros, mayormente de textura afanítica y de composición andesítico-andesítico basáltico. Estos materiales se encuentran rellenando la topografía actual, siendo así que se le puede encontrar sobre depósitos aluviales recientes. Dada la naturaleza litológica de este grupo, las condiciones estructurales, hidrológicas y sísmicas pueden ser susceptibles a caídas. Los valores de resistencia a la compresión se encuentran entre 50 a más de 280 Mpa.

Tufos (III-2)

Se observan a manera de techos que cubren relieves preexistentes. En este grupo se encuentran materiales pertenecientes a la Formación Sencca, grupos Nasca y Palca, caracterizados por presentar una secuencia de rocas volcánicas de naturaleza piroclástica. Litológicamente están constituidos por tobas blanco amarillentas a rosáceas, de grano medio a grueso de composición riolítica, riodacítica a traquiandesítica, en capas gruesas, aspecto masivo con marcada disyunción columnar. En algunos sectores se observan conglomerados cuarzosos, seguido por areniscas de grano fino y los piroclásticos al tope de la secuencia. En estos materiales normalmente suceden caídas, cuando la roca es compacta,

por ejemplo en un tufo soldado y fracturado, su comportamiento es diferente, siendo más resistente a los agentes de la erosión; mientras que en el caso de los depósitos de cenizas, los materiales son inconsolidados y susceptibles a la erosión por el agua y hielo. Para este grupo de rocas se tiene un rango de valores de resistencia a la compresión menores a 35 Mpa.

5.1.4 Unidad IV: Rocas Volcánico-Sedimentarias

Esta unidad varía regionalmente en su litología, pudiendo encontrarse secuencias volcanoclásticas con sedimentos lacustrinos intercalados con secuencias de grosor considerable de flujos lávicos, brechas y lavas grises, verdosas y violáceas, de composición generalmente andesítica; flujos piroclásticos de tobas riódacíticas y domos dacíticos. En otros lugares se hallan intercalaciones de areniscas con tobas redepositadas, estratos de areniscas conglomerádicas y volcánicos interestratificados como ignimbritas, lavas andesitas basálticas, que se intercalan con sedimentos lacustrinos. En esta unidad se ubica el Grupo Tacaza y las formaciones Chocolate y Maure. Los valores de resistencia a la compresión en este tipo de rocas son variables, por estar constituidos por secuencias litológicas mixtas. Su susceptibilidad a los fenómenos de geodinámica externa se manifiesta comúnmente con las caídas.

5.1.5 Unidad V: Rocas Sedimentarias

Unidad formada por secuencias de rocas sedimentarias que afloran en la Franja N° 2 y se les ha dividido en 4 grupos:

Areniscas cuarzosas, limolitas, limoarcillitas y carbón (V-1):

Esta unidad predominantemente está constituida de areniscas cuarzosas, con niveles delgados de limolitas carbonosas y calizas, al tope predominan limolitas y limoarcillitas carbonosas, en menor proporción areniscas cuarzosas en capas delgadas. También se puede tener predominancia de limoarcillitas fisibles gris oscuras y limoarcillitas carbonosas en capas delgadas a medianas, de formas lenticulares, con laminación paralela con intercalación de esporádicos niveles delgados de areniscas de grano fino, geológicamente corresponden a los grupos Ambo y Yura.

Pizarras, limoarcillitas, areniscas cuarzosas y carbón (V-2):

Este grupo está constituido por limoarcillitas gris oscuras y carbonosas, arenisca, grauwacas, en capas medianas a delgadas, bien estratificadas, conformando una secuencia granocreciente, hacia la base predominan las limoarcillitas y hacia el tope las areniscas cuarzosas. También se pueden encontrar secuencias monótonas de pizarras y limolitas con niveles delgados de areniscas cuarzosas gris oscuras. En éste grupo de rocas se pueden mencionar los grupos San José y Cabanillas.

Limolitas, limoarcillitas, areniscas rojas, yeso (V-3):

Secuencia de sedimentos lacustrinos conocidos como capas rojas, constituidos por limoarcillitas y limolitas rojizas presentando una laminación interna paralela bastante deleznable. Éstas se intercalan con niveles de areniscas y esporádicos niveles calcáreos. Las areniscas son de color blanco a pardo amarillento por alteración transmitiéndole colores rojizo; se tiene además limoarcillitas abigarradas y algunos niveles de conglomerados con tobas areniscosas y yeso. Algunas de las formaciones que caracterizan a éste grupo son las Formaciones Murco, Yauri, Azángaro y el Grupo Puno.

Calizas (V-4):

Este grupo está constituido principalmente por calizas de color gris claro, variando a oscuro y marrón en capas delgadas con intercalación de limoarcillitas y areniscas cuarzosas con estratificación sesgada y coquinas arenosas, limoarcillitas bituminosas y algunos conglomerados. Las formaciones representativas que pertenecen a éste grupo son las formaciones Socosani, Arcurquina y el Grupo Copacabana.

La resistencia de las rocas a la compresión de estos cuatro grupos es variable, así para las limoarcillitas varían entre 2 y 215 Mpa, para las areniscas entre 40 y 110 Mpa y para las calizas entre 50 y 60 Mpa. Estos tipos de roca son susceptibles a fenómenos geodinámicos externos de tipo deslizamientos, desprendimientos de roca, derrumbes y erosión.

5.1.6 Unidad VI: Rocas Metamórficas

Esta unidad está representada por el denominado Complejo Basal de la Costa (Precámbrico), constituido litológicamente por facies metamórficas que van desde ortogneis, paragneis, migmatitas y esquistos caracterizados por el foliado y el bandeo de las rocas.

Además, está representado por las formaciones San Juan y Marcona, constituidas por calizas dolomíticas en capas delgadas, con intercalaciones de esquistos, dolomitas y calizas marmolizadas, cuarcitas y mármol. Las rocas metamórficas foliadas presentan diferente resistencia a la compresión; para los gneis varía de 160-190 Mpa y para el esquistos entre 15 y 130 Mpa. La susceptibilidad de este tipo de rocas a los fenómenos geodinámicos está relacionada a las condiciones estructurales, hidrológicas, sísmicas y geomecánicas del macizo rocoso. En la mayoría de los casos ocurren derrumbes y desprendimiento de rocas.

Capítulo VI

PELIGROS GEOLÓGICOS DE REMOCIÓN EN MASA

6.1 CARTOGRAFIADO DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES (CPGM) Y BASE DE DATOS GEOREFERENCIADA (BDG)

La base de datos georeferenciada (BDG) utilizada para el presente estudio, incluye 1 496 datos adquiridos, tanto de las campañas de cartografiado geológico de peligros múltiples (CPGM), como de la recopilación bibliográfica existente sobre procesos naturales ocurridos, conocidos y/o documentados, incluidos en los principales estudios efectuados en el área, principalmente de la Base de Datos GEOEXDAT-PERU (INGEMMET, 1997); de los estudios geodinámicos de las cuencas de los ríos Camaná-Majes y Sigvas-Vítor-Quilca (FIDEL & ZAVALA, 1994; FIDEL & VALENZUELA, 1997); archivos de datos estadísticos de las emergencias producidas en el Perú (INDECI, 1995, 1996, 1997, 1998 y 1999); compilación de estudios geológicos en áreas puntuales efectuados por el INGEMMET; datos de reportes periodísticos de los últimos años, a los cuales se les efectuó una comprobación de campo, y donde su descripción ha sido ampliada insitu y/o eliminada o descartada de acuerdo a la veracidad y exactitud de la información.

El CGPM en 55 cuadrángulos de la Franja N° 2, se efectuó en 270 días de trabajos de campo, con tres brigadas (90 días cada una), donde se efectuó el inventario y cartografiado geodinámico en hojas a Esc. 1: 100 000, de peligros geológicos de acuerdo a la clasificación de fenómenos de remoción en masa adoptada de VARNES y otros peligros geológicos, incluyendo los hidrológicos (ver Boletín N° 23, INGEMMET, Serie C, Estudio de Riesgo Geológico Sur del Perú - Franja N° 1).

Cada ocurrencia de peligro geológico tiene una ficha de datos con la siguiente información:

- Georeferenciación del lugar (coordenadas UTM, cota, ubicación geopolítica: departamento, provincia, distrito y lugar; cuenca hidrográfica y cuadrángulo).
- Causas principales o desencadenantes que dan o dieron lugar a su origen (naturales y/o antrópicas).
- Evidencias visuales de los procesos geodinámicos (eventos catalogados como antiguos y/o actualmente estabilizados o reactivados; fecha de ocurrencia y recurrencia, etc.).

- Aspectos geomorfológicos e hidrológicos del lugar (relieve, pendiente del terreno, drenaje superficial y aguas subterráneas).
- Características geológico-estructurales, como litología del substrato y depósitos superficiales (suelo); discontinuidades en las rocas (fracturamiento, esquistosidad, buzamiento, etc.; familias, grado de fracturamiento y grado de alteración).
- Daños causados a la vida y la propiedad, intensidad del peligro, cualificación de la vulnerabilidad y riesgo potencial, indicando el potencial futuro.
- Comentarios adicionales (observaciones y recomendaciones) y fuentes de información.

Posteriormente las fichas fueron ingresados en una base de datos en EXCEL y transferidas al programa ACCESS, para ser fácilmente trabajados en el SIG, para su presentación gráfica (Mapa N° 11), así como para la generación de un catálogo de peligros y/o riesgos geológicos del territorio de la Franja N° 2, y la actualización del Banco de Datos de Peligros Geológicos del Perú.

En el área se diferenció 15 tipos de peligros geológicos principales más frecuentes, incluyendo la inundación; los peligros volcánicos y sísmicos se evalúan en los capítulos siete y ocho).

Debido a la dimensión del área cubierta en el presente estudio, se presenta el **Mapa de Inventario de Peligros Geológicos**, sobre una base topográfica a escala 1:750 000, digitalizada desde las hojas fotogramétricas a escala 1:100 000 del IGN, con su principal toponimia, poblados a nivel de distritos, hidrografía principal (ríos, lagunas y/o embalses) y curvas de nivel cada 500 m; así mismo se digitalizó las redes viales departamentales actualizada a 1998 por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y ampliada con las observaciones de campo, ubicación de presas, puertos, minas principales en operación, etc. (ver Mapa N° 11)

Esto permite representar gráficamente cada peligro con un símbolo particular, de acuerdo al tipo y a la intensidad con que se manifiesta, y a la vez, visualizar su relación con la infraestructura crítica existente en la Franja N° 2 (obras de infraestructura y asentamientos poblacionales que podrían ser afectadas)

6.2 FACTORES PRINCIPALES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES QUE PROPICIAN LA OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS

En el análisis de la evaluación, así como de las medidas necesarias para evitar, corregir o mitigar los peligros geológicos existentes, descritos en el acápite anterior, es necesario analizar los factores que condicionan la estabilidad de los taludes y aquellos que se consideran desencadenantes de los movimientos.

La susceptibilidad a que se produzcan, en mayor o menor grado, estará condicionada por la estructura geológica (litología, condiciones hidrogeológicas y la morfología del área estudiada); una variación de alguna de estas condiciones, producida por causas naturales o factores antrópicos, produciría el desencadenamiento o inestabilidad de una masa de terreno.

Estos factores principales se describen en el Cuadro N° 21, dependiendo algunos, en mayor o menor grado de su ubicación geográfica, con el predominio de unos u otros, ya sea de carácter climatológico-hidroológico o sismicidad-vulcanismo. Los factores antrópicos están generalmente relacionados a las obras civiles, la minería, la actividad agrícola y el asentamiento poblacional en el medio físico de la Franja N° 2; muchas veces estos factores son de mayor incidencia que los naturales. En este cuadro se indican las características principales, con énfasis en ejemplos de peligros geológicos ocurridos en las Franjas N° 1 y 2, indicando los factores naturales: de sitio y del entorno geográfico, así como los factores antrópicos que inducen su ocurrencia.

6.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PELIGROS GEOLÓGICOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA FRANJA N° 2

En el inventario de peligros geológicos (de acuerdo a la terminología adoptada de la Clasificación de Inestabilidades de Taludes de Varnes), se han reconocido 337 caídas (108 caída de rocas y 225 derrumbes), 02 vuelcos, 164 deslizamientos, 452 flujos (299 huaycos, 82 reptaciones de suelos, 04 flujos de lodo y 02 aluviones) y 54 tipos de movimientos complejos.

Cuadro N° 21

Principales factores condicionantes y desencadenantes en la ocurrencia de peligros geológicos

Características		Peligros Geológicos inducidos
FACTORES GEOLÓGICOS–GEOTÉCNICOS INHERENTES (FACTORES DE SITIO)		
LITOLOGÍA DEL SUBSTRATO	Rocas o formaciones geológicas susceptibles a erosión hídrica; rocas meteorizadas y/o fuertemente fracturadas, de mala calidad; substrato rocoso con altos perfiles de meteorización (suelos residuales).	Erosión de laderas, deslizamientos, derrumbes, reptación de suelos, hundimientos.
TIPO DE SUELOS	Suelos superficiales de poco grosor cohesivos y no cohesivos, sujetos a cambios de volumen por saturación de agua, cambios de temperatura.	Erosión de laderas, reptación de suelos, deslizamientos y derrumbes.
PENDIENTE DEL TERRENO	Grado de pendiente favorable al movimiento y su ocurrencia (ladera, acantilado, terraza); pendiente del cauce o valles fluviales.	Deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, en valles de moderada a fuerte pendiente.
DISCONTINUIDADES FAVORABLES EN LAS ROCAS	Estratificación y buzamiento de las rocas con orientación favorable; tipos de fracturamientos principales en el substrato (roturas: planares, en cuña, por vuelco y globales en macizos rocosos muy diacasados).	Caída de rocas, vuelcos, deslizamientos planares o pandeos (de bloques o estratos); deslizamiento o derrumbes en cuñas y movimientos complejos.
GEOMORFOLOGÍA	Formas de relieve en general: valles con laderas de fuerte pendiente, valles encañonados, valles estrechos inundables; laderas o frentes escarpados; acantilados rocosos; plano-depresiones; cuestras, etc.	Deslizamientos y caídas; inundaciones por efectos pluviales y fluviales.
FACTORES NATURALES DEL ENTORNO GEOGRÁFICO		
CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS		
PRECIPITACIONES PLUVIALES	Índices de pluviosidad alta o lluvias excepcionales (El Niño). Aumentan las subpresiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades, grietas y la sobrecarga debido a su propio peso. Absorción de agua por minerales arcillosos, en suelos cohesivos, produciendo hinchamiento de los mismos.	Flujos (flujos de lodo, huaycos, aluviones), deslizamientos y movimientos complejos, caídas (derrumbes), erosión de laderas.
DINÁMICA FLUVIAL Y MARINA	Según la intensidad de la corriente causan socavamiento en el pie de los taludes, disminuyendo o eliminando su soporte e incrementando a la vez el esfuerzo de corte en los materiales. La acción de los ríos se incrementa durante las máximas avenidas, mientras que el fuerte oleaje contribuye al modelado de los acantilados costeros.	Erosiones fluviales en riberas de ríos y costeras (acantilados); inundaciones fluviales a lo largo de valles, legunares y costeras; derrumbes en las márgenes fluviales y como consecuencia generación de huaycos.
AGUAS SUBTERRÁNEAS	Producen disolución y cambios físico-químicos en las rocas, afectando su composición. En regiones kársticas producen hundimiento de cavernas. El agua de infiltración produce expansión y contracción de suelos, en períodos alternantes de lluvia (lluvias estacionales a excepcionales) y períodos largos de sequía. Aumento de la presión intersticial o de poros de suelos por cambios bruscos en el nivel freático (saturación).	Deslizamientos y/o movimientos complejos, derrumbes, hundimientos de tierras, en laderas de valles.
HIELO Y NIEVE	Acción hielo-deshielo de terrenos saturados. Los glaciares modelan valles con paredes rocosas escarpadas. Disgregación mecánica por repetida y rápida fusión del hielo en agua, contenida en las discontinuidades. Saturación de morrenas, depósitos fluvioglaciares y zonas periglaciares.	Flujos y movimientos complejos, desde lentos hasta extremadamente violentos (reptación, solifluxión; aluviones); caídas (caída de rocas y/o aludes).

Características		Peligros Geológicos inducidos
SISMICIDAD, FALLAS ACTIVAS Y VULCANISMO		
SISMOS, TSUNAMIS Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA	Deformaciones y movimientos de tierras a lo largo de fallas (FALLAS ACTIVAS), durante la ocurrencia de grandes sismos. Liquefacción de suelos (arenas saturadas sin drenaje y arcillas). Actividad volcánica o sismo-volcánica asociada, modifican laderas que forman sus conos y los materiales depositados sobre ellos (coluvios, nieve o hielo).	Factores desencadenantes de grandes deslizamientos, desprendimientos, flujos y movimientos complejos; y/o avalancha de escombros; inundaciones costeras en el caso de tsunamis o maremotos.
ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y PRESENCIA DE VEGETACIÓN		
	No constituye factor determinante, pero sí condicionan de forma notable la acción de otros factores. Presencia o ausencia de vegetación o cubierta vegetal, para mantener la estabilidad de taludes; contribuyen al drenaje absorbiendo parte del agua contenida en el suelo.	Erosión de laderas; deslizamientos, derrumbes.
SUBSIDENCIA REGIONAL		
	Asociada a fenómenos sismo-tectónicos, que producen cambios en los niveles del mar y la tierra, en grandes sectores de la corteza terrestre. Reajustes locales asociados a grandes accidentes tectónicos.	Procesos lentos de reptación o deslizamiento de tierras.
FACTORES ANTRÓPICOS		
EXCAVACIONES	Modificación de la estabilidad de laderas naturales y variación de su estado de equilibrio, a consecuencia de la construcción de carreteras, canales, etc.	Caidas (caída de rocas y derrumbes); deslizamientos en taludes de redes viales.
VOLADURAS	Vibraciones producidas, actúan como pequeños sismos, cuya consecuencia inmediata es la ampliación del fracturamiento preexistente en material rocoso, generando nuevas áreas potenciales de deslizamientos (obras civiles en general).	Caída de rocas, vuelcos, deslizamientos de rocas en taludes de cortes de carretera, canales.
SOBRECARGAS	Incremento del peso debido a diferentes tipos de construcciones sobre terrenos naturales (rellenos y terraplenes) inestables.	Hundimientos de tierras; deslizamientos.
ACTIVIDAD MINERA	Explotación de canteras no metálicas, minería a tajo abierto y minería subterránea (mediana y gran minería). Hundimiento de galerías de explotación abandonadas (pequeña, mediana y gran minería).	Caidas (caída de rocas y derrumbes) en labores mineras; vuelcos o toppling en canteras o tajos abiertos; deslizamientos y movimientos complejos.
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	Irrigación de grandes áreas de cultivo en terrenos sumamente permeables. Explotación de aguas subterráneas.	Deslizamientos, derrumbes, hundimientos y movimientos complejos, en laderas de valles.
GENERADOS POR EL COLAPSO DE ALGUNA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	Ruptura de una presa o embalse artificial, presa de relaves, por inducción sísmica y/o volcánica.	Huaycos y/o aluviones; inundaciones.

Una Cronología histórica de los principales peligros de remoción en masa se presenta en el Cuadro N° 22.

Cuadro N° 22
Cronología de los principales peligros geológicos de remoción
en masa ocurridos en la Franja N° 2

Fecha	Descripción del peligro
1948	Aluvión en el caserío de Sondondo
1945; 1952; 1956; 1957-58; 1971 y 1973.	Deslizamientos en el área de Llacas. Problemas desde 1945. En 1956 se reportan agrietamientos. Se agudizaron en 1952, 1956 y 1957-1958; posteriormente en 1971. En 1973 se indican daños en áreas cultivadas en la margen izquierda de la quebrada de Rata, destrucción de 5 viviendas, capilla del pueblo, canal de agua y reservorio.
1959	En el área de Madrigal, el sismo ocasionó deslizamiento de forma semilunar generando una gran escarpa.
03-1960	Deslizamientos de tierras en el distrito de Livitaca (Cusco): sectores de Sancomayo, Alcosipina y Chorrillos, que afectaron pastizales y parte de las viviendas de Alcosipina.
03-1964	Deslizamiento en el cerro Quehuiza, cabecera de la quebrada Ccalomayo, afectó un área de 4 000 m ² , afectando áreas de cultivo de Lari y Madrigal (Arequipa), hasta las partes bajas en el río Colca, represándolo.
04-1979	En abril de ese año se produjo el máximo desplazamiento del deslizamiento de Lari, inutilizando extensas zonas de cultivo; se identifican cuatro escarpas de deslizamientos pasados, cada vez de mayor magnitud.
12-03-1990	Huayco en la quebrada Posco que arrasó el 80% de las instalaciones de la mina Miski o Posco, donde 84 personas quedaron aisladas; los almacenes de la mina fueron destruidos, así como las viviendas de los 2 000 moradores del lugar, dedicados a la minería, ubicados aguas abajo, llegando el flujo hasta el río Ocoña.
28-12-1990	Huayco en el río Charpa arrasó casi todas las viviendas construidas cerca del asiento minero La Capitana, la mayoría son mineros informales; es posible que desaparecieran 200 personas, de los cuales se rescataron 17 cadáveres.
30-07-1997	Derrumbe en el sector de Carigua, cerro Filayoc, que represó el río Colca formando una presa natural de aproximadamente 400 m de longitud, 90 m de ancho y 90 m de altura, y una laguna o cola de embalse de 3 km de longitud.
20-02-1998	Inundación que afectó la ciudad de Ica
11-02-1998	Deslizamiento en el anexo de Ucuchacas, distrito de Choco (Arequipa), dejando un saldo de 4 muertos y una vivienda destruida.
29-01-1998	Huayco en el río Chalza, de gran magnitud, que afectó el poblado de Choco (Arequipa), ocasionando 9 muertes, 19 personas desaparecidas, 46 viviendas destruidas, 7 heridos y 225 damnificados.

En este contexto, a continuación se describen las principales áreas afectadas por peligros geológicos de remoción en masa.

6.3.1 Caídas (desprendimientos de rocas)

Es un fenómeno común que ocurre en el área, asociado a inestabilidades de los taludes rocosos, tanto de rocas metamórficas, intrusivas, volcánicas, como sedimentarias, afectados por roturas planares (fracturas, esquistosidades o foliaciones paralelas a los taludes, etc.) y roturas en cuña.

En muchos de los casos inventariados, la causa o factor desencadenante, son los taludes inadecuados efectuados en cortes de carreteras, como también taludes naturales

en laderas de valles con pendientes pronunciadas, valles encañonados con laderas escarpadas, frentes rocosos muy diaclasados compuestos por material lávico o flujos piroclásticos, y en donde la incentivación sísmica actúa como desequilibrante.

Afectan de alguna manera u otra:

- El tránsito vehicular normal en los caminos viales principales, de segundo orden, trochas y/o caminos rurales y caminos de herradura.
- Inmediaciones de áreas o centros poblados menores, áreas ocupadas por terrenos de cultivos y algunas otras obras civiles de gran dimensión.
- En la mayoría de los casos, áreas despobladas.

En el cuadro N° 23 se incluyen las principales áreas afectadas por caída de rocas. (Ver Fotos 28 y 29).

6.3.2 Caídas (derrumbes)

Ocurren en masas de rocas fuertemente fracturadas, en detritos o depósitos inconsolidados superficiales, que presentan zonas de rotura o arranque irregulares de dimensiones variables, agrupándolos dentro de los comúnmente denominados «derrumbes».

Para su ocurrencia intervienen los siguientes factores:

- Consistencia, meteorización o alteración de las rocas o sustrato.
- Familias de discontinuidades favorables a roturas planares, cuñas, vuelcos o mixtas.
- Saturación de suelos poco consolidados por filtraciones de aguas de lluvia o de riego en laderas de valles con presencia de cultivos.
- Socavamiento fluvial en el pie de laderas, márgenes de valles o acantilados costeros.
- Terrenos con erosión de laderas, con ausencia o carencia de vegetación.
- Deforestación de tierras, etc.

Suelen ocurrir afectando:

- Laderas de valles de moderada a fuerte pendiente, con presencia de actividad agrícola.
- Terrazas aluviales en márgenes de valles, con áreas de cultivo y/o pobladas.
- Taludes en cortes de carretera principales, asfaltadas, carreteras de penetración, afirmadas, caminos rurales recién construidos, trochas.
- Acantilados y frentes rocosos escarpados en áreas despobladas.

Los principales ejemplos se muestran en el Cuadro N° 24 y en las Fotos N° 30 al 33.

Cuadro N° 23
Principales caídas de rocas localizadas en la Franja N° 2

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
AFECTAN REDES VIALES		
KM 4 CARRETERA VELILLE-COLQUEMARCA LIV-06	Fracturamiento intenso en el sustrato. Meteorización y formación de bloques inestables en granodioritas muy alteradas, sismos, lluvias. Área de 2 x 2 km. Filtraciones ocasionales en el talud inferior.	Puede interrumpir tráfico carretero.
CARRETERA CHIVAY-TUTI (C° ATUN ORCCO) CHI-05	Rocas volcánicas fracturadas que forman canchales en talud natural de fuerte pendiente (50°-60°); sismos; clastos de roca de tamaños predominantes de 10-15 cm de diámetro y bloques de hasta 4 m.	Puede afectar carretera Chivay-Tuti-Sibayo en tramo de 1 km.
SECTOR ORSO (VIA AREQUIPA-YAURI) CALL-04	Fracturamiento en ignimbritas con taludes. Acumulaciones de bloques de roca en la ladera en una longitud de 400 m. Talud de 120 m de alto.	Puede afectar e interrumpir tramo de aprox. 400 m de carretera.
KM 10+100 COTAHUASI-AREQUIPA	Rocas fracturadas (ignimbritas); movimientos sísmicos; talud subvertical. Bloques caídos de 3,0-3,5 m de diámetro.	Afecta terrenos de cultivo, y pueden interrumpir tráfico en carretera.
CERCA DE CURASCO ANT-45	Fracturamiento planar y en cuña en rocas con discontinuidades favorables al talud de corte; pendiente: 55°; vibraciones sísmicas. Bloques de hasta 2 m de diámetro. Talud de 100 m de alto.	Afecta tramo de carretera Churrasco-Progreso en una longitud de 300 m. Necesita desquinche de bloques.
SECTOR SALLUYO NU-20	Areniscas muy fracturadas; talud natural de fuerte pendiente, fuertes lluvias excepcionales, sismos (?). Se observan bloques sueltos de hasta 3 m de diámetro.	Puede afectar carretera afirmada Nuñoa-Macusani en tramo de 300 m.
AFECTAN ÁREAS POBLADAS Y TERRENOS AGRÍCOLAS		
SECTOR PICHIRHUA (CAYARANI) CAYA-15	Depósitos coluviales dispersos en ladera hasta cercanía de viviendas; clastos de roca de hasta 1,5-2 m de diámetro.	Compromete 2 a 3 viviendas del sector de Pichirhua.
CERRO CHALHUACHATA (CHALHUACHO) ST-04	Fracturamiento y diaclasamiento en ignimbritas; frentes de taludes subverticales. Bloques acumulados con diámetros mayores de 1m. Necesita bosques de protección en los cerros circundantes al poblado.	Compromete viviendas cercanas al talud, corrales de animales y pequeñas áreas cultivadas.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
FRENTE A ANTILLA (SABAINO) ANT-15	Capas estratificadas de areniscas con intercalaciones de lutitas muy fracturadas (planar y por vuelco); talud de corte y natural de fuerte pendiente (subvertical); bloques de tamaño predominante < 0,50 m.	Afecta tramo de 200 m de carretera Antabamba-Abancay.
LARA, LLIQUE Y PURCHUN CAYA-01, 02 Y 03	Acumulación de grandes bloques o clastos de 1,0-3,5 m de diámetro. Fracturamiento y erosión en el substrato genera bloques sueltos; frentes escarpados de ignimbritas poco soldadas. Sismos pueden desencadenar las caídas.	Compromete terrenos de cultivo y viviendas inmediatas a cerros circundantes, y carretera Lara-Llique.
MESÓN, CARRETERA A OCAÑA LA-7	Meteorización esferoidal en intrusivos granodioríticos, forma bolones que por la pendiente y sismos pueden desprenderse y caer por gravedad. Zona crítica.	Podría afectar viviendas y terrenos de cultivo.
CERRO LUNAR DE ORO RIN-13	Rocas muy fracturadas, talud de fuerte pendiente, fuertes precipitaciones pluviales excepcionales, sismos. Algunos bloques sueltos en el talud natural.	Puede afectar a viviendas y campamento minero de Lunar de Oro ubicados en la parte inferior.
VILAVILA / CERRO CHUNGARA OC-16	Tobas muy fracturadas, laderas con fuerte pendiente (60°-70°) fuertes precipitaciones pluviales, sismos. Se observan bloques sueltos en las laderas.	Puede afectar a viviendas del poblado de Vilavila.
CERRO ACCATANA PUT-06	Areniscas muy fracturadas, talud natural con pendiente abrupta casi vertical, fuertes precipitaciones pluviales excepcionales, sismos (?).	Puede afectar a viviendas de Putina y terrenos de cultivo.
BARRIO ANDRÉS AVELINO CÁCERES Y BELÉN PUN-07	Areniscas muy fracturadas, diclasadas, laderas de fuerte pendiente, fuertes precipitaciones pluviales. Se observan bloques sueltos en las laderas.	Puede afectar a viviendas de los barrios Andrés Avelino Cáceres y Belén, como también a la carretera Puno-Juliaca en tramo de 50 m.

Cuadro N° 24
Derrumbes principales

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados	
		EN TALUDES INESTABLES DE CORTES DE CARRETERA	
OUTEC (CARRETERA NASCA-PUQUIO. PU-5	Rocas volcánicas muy fracturadas y alteradas, suelos arcillosos rojizos, pendiente de laderas, sismos.	Daños a la carretera Nasca-Puquio	
Km 139 NASCA-PUQUIO PU-4	Taludes de corte inestables.	Afecta tramo carretero en cada temporada de lluvias.	
CERRO HUAMANCHINO CHALH-18	Caliza fracturada forma bloques en estado inminente de colapso, taludes inestables por corte de carretera.	Afecta tramo carretero Huancapampa-Sarayca	
CERRO TINTILOMA CHALH-24	Intrusivos tipo granodiorita, muy fracturados; taludes verticales inestables en el corte de carretera.	En 1995 afectó tramo de carretera Piscoya-Huancaray, y actualmente se hace intransitable en época de lluvias.	
Km 16+500 CARRETERA CHALHUANCA- ABANCAY CHALH-36	Roca intrusiva tipo tonalita muy fracturada	Afecta tramo de carretera en cada temporada de lluvia.	
Km 329+500 CARRETERA A CHALHUANCA (SECTOR YANACCACCA) CHALH-52	Fallas planares en pizarras y lutitas carbonosas muy fracturadas, pendiente pronunciada, sismos.	En 1971 y 1982 afectó la carretera antigua	
AMPAYAPAMPA CHALH-54	Roca fracturada y suelo arcilloso, talud vertical, lluvias estacionales.	Afecta tramo de carretera a Chalhuanca, en cada temporada de lluvias afecta la carretera.	
PUCARUMI CHALH-61	Guarcitas, calizas y carbón muy fracturados, inestables con lluvias y sismos, colapso por falla planar.	Afecta tramo de carretera a Chalhuanca, y en el 2 000 ocasionó la muerte de 11 personas, zona crítica muy inestable con lluvias.	
CERRO POCROYONA, SECTOR LLACANE PAU-2	Roca andesita muy fracturada, talud de carretera, lluvias.	Afecta la carretera a Pausa y ocasiona interrupción de la vía.	
CERRO ANDAMAYO - HDA. ANDAMAYO (km 24 AL 32 APLAO-VIRACO) HU-18	Rocas muy fracturadas (roturas en cuña y planares), buzamiento aparente a favor del talud; depósitos superficiales inestables; lluvias copiosas. Taludes con fuerte pendiente (>70°). Se distinguen caída de rocas, deslizamiento de estratos, caída de rocas por vuelco. Sismo del 23-06-01.	Interrumpió vía Aplao-Tipan-Pampacolca, Aplao-Tipan-Viraco por un periodo de 30 días hasta el sector de Capiza. Se ha efectuado ensanchamiento de cortes de carretera, desquinche de taludes, sin embargo la zona sigue inestable. Zona crítica.	
CERRO ANDAMAYO (km 32+000 AL 35+000 APLAO-VIRACO) HU-24	Taludes de fuerte pendiente (>60°); material coluvial, suelto, inestable con lluvias fuertes y sismos; substrato fracturado, incompetente. Taludes de más de 200 m de altura.	Interrumpió tráfico por 40 días. Se han efectuado limpieza y ensanchamiento de la carretera. Zona crítica. Muy inestable (con derrumbes y caída de rocas).	

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
Km 3 A 3+900 Y km 5+400 ANTABAMBA-ABANCAY ANT-13	Fracturamiento del substrato; taludes de corte muy pronunciados (75-90°); depósitos inestables en presencia de lluvias. Derrumbe de tierras al pie de la carretera; bloques fracturados inestables en talud superior.	Afecta tránsito en tramo de 300 m de carretera Antabamba-Abancay; se observa en este tramo también huayco. Zona crítica con sismos.
SECTOR HUARIO (CARRET. APLAO-CHUQUIBAMBA) CHUQ-06	Movimientos sísmicos; pluviosidad media a alta; depósitos inconsolidados; taludes inestables de fuerte pendiente >60°.	Tramo de 7 km de carretera interrumpidos con el sismo, con paso restringido por 2 o 3 semanas en la carretera.
Km 37 SICUANI-YAURI YA-18	Zona inestable en talud superior de carretera, en longitud de 650 m y talud de 60 m de alto; escarpas y zonas de arranque semicirculares, concéntricas.	Terreno removido que necesita limpieza en el período estacional de lluvias.
Km 52 AL 56 CARRETERA SANTO-TOMÁS CUSCO ST-26	Substrato muy alterado y fracturado; suelo residual saturado por lluvias; cortes de 60-65° y 60 m de varios tramos con zonas de arranque.	Afecta 4 km de vía Santo Tomas-Cusco, interrumpida en el período estacional. Pueden presentarse también deslizamientos en los taludes.
SECTOR CACHANA (VÍA COTAHUASI-AREQUIPA) ST-26	Depósitos coluvio-residuales y substrato sedimentario alterado, ladera de pendiente de 60-65° con cortes subverticales. Zonas de arranque en taludes de 25-30 m de alto.	Afecta tramo de carretera de 1,7 km. (7+800-8+500 desde Cotahuasi, por sectores).
Km 71- 78 CHUQUIBAMBA-SALAMANCA CHUQ-07	Pendiente pronunciada (50-60°) de laderas y taludes de corte; lluvias; depósitos volcanoclasticos incompetentes.	Aproximadamente 8 km de carretera inestable con derrumbes en carretera de acceso al poblado de Salamanca.
CERRO LLAHUAYOC (VÍA LLATO-PAMPACOLCA) CHUQ-07	Fuerte declive de ladera (>60°); lluvias estacionales; substrato fracturado (avalancha de escombros); cortes inadecuados. Zonas de arranque y caídas.	Afecta 4 km de desarrollo de carretera Llato-Pampacolca. Zona muy inestable con lluvias y movimientos sísmicos.
ENTRE CHUQUIBAMBILLA Y CHAPIMARCA ANT-27	Taludes de corte inadecuados en ladera pronunciada (60°); depósitos inconsolidados y substrato alterado, filtraciones de lluvias estacionales y de regadío. Zonas de arranque irregulares en taludes inestables.	Derrumbes por sectores en tramo de carretera de 5,5 km; compromete también laderas con áreas de cultivo, algunas viviendas y tendido de postes de luz eléctrica.
ENTRE TAGRE Y VIRACO CHUQ-17	Depósitos coluviales y/o volcanoclasticos inestables con aguas pluviales y sismos; talud natural de fuerte pendiente (40-45°); filtraciones de lluvias y riego. Caídas de bloques de roca mayores de 1 m de diámetro.	Sismo afectó tramo de carretera (km 55+400 a 67+000) desvío a Viraco. Sectores de Huami, Turpaito, Yaso y Huascasa.
Km 3+100 DESVÍO A OMACHA LIV-19	Lluvias estacionales, suelos residuales y coluviales; fuerte pendiente (45°-50°), corte de carretera. Zonas de arranque del talud de 50-80 m de alto en una longitud de 200 m.	Afecta tramo de 200 m de carretera de acceso a poblado de Omacha.
CERRO HUILLUPUNTA (CARRETERA LIVITACA-OMACHA) LIV-10	Substrato alterado; lluvias saturan suelo residual-coluvial; cortes recientes; zonas de arranque involucra roca-suelo. En parte derrumbes en estratos paralelos al talud, así como erosión en cárcavas.	Afecta tramo de 500 m de carretera Livitaca-Omacha, cerca de Checcapucara.
Km 5 A 6 DESVÍO A POBLADO DE VIRUNDO. ANT-24	Lluvias estacionales fuertes; ladera con pendiente: 45°-50°, con cortes de mayor pendiente; filtraciones de lluvias en substrato alterado, hidrotermalizado. Zona inestable al construir trocha de acceso a mina.	Afecta tramo de 1 km de trocha carrozable de acceso a mina de Virundo (Misti Gold) y al pueblo de Virundo.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CERRO MUTCAPATA (CARRETERA A VIRUNDO) ANT-23	Taludes de fuerte pendiente (50°-60°); lluvias estacionales; depósitos inestables. Cortes de carretera subverticales. Desprendimientos de rocas de los taludes acumulados en el pie de plataforma.	Desarrollo de carretera en operaciones de mina de Misti Gold en trabajo, afectada por derrumbes; zona inestable con lluvias.
BAJADA A COCHAPATA (MICHACA) ENTRE PUMGUI Y PAMPAMARCA COT-18	Taludes naturales inestables con cortes de carretera de fuerte pendiente (65°-70°); lluvias estacionales. Suelos coluvio-deluviales. Ladera mayor de 200 m de alto con derrumbes en la plataforma de carretera.	Afecta tramo de 2,8 km de desarrollo de carretera Mungui-Pampamarca.
SECTOR RÍO DE SUMANA (PUICA) COT-11	Depósitos inconsolidados inestables con lluvias estacionales; ladera de fuerte pendiente; desarrollo de carretera con taludes de fuerte ángulo.	Zonas de arranque en taludes de desarrollo en tramo de 2,5 km por sectores.
Km 4-5 SAN PABLO-IRUBAMBA SIC-32	Suelos poco cohesivos; lluvias fuertes. Ladera pronunciada con talud de corte de 30 m de alto, subverticales (70°-90°), suelos húmedos; zonas de arranque de material.	Afecta 1 km de carretera San Pablo-Irubamba; terrenos de cultivo en la parte superior.
ABRA DE AJRANJA ANT-09	Ladera de fuerte pendiente (50°-60°); infiltración de lluvias estacionales y aguas de riego; suelos coluviales poco cohesivos. Ladera inestable con desplome de material acumulado al pie de trocha carrozable en varios tramos.	Afecta trocha carrozable de acceso a la mina de Utupara y terrenos de cultivo en la parte inferior.
SECTOR CALIHUAYOC HU-27	Natureza del substrato (depósitos de avalancha de escombros con megabloques de lavas; talud de fuerte pendiente; sismos; infiltración de lluvias. Bloques de rocas caídos de tamaños promedio de 40-50 cm y hasta 2 m de diámetro.	Interrumpió acceso cortado en trocha carrozable a poblado de Arhuin.
SECTOR RÍO DE SUMANA COT-11	Zonas de arranque en taludes de desarrollo de carretera; depósitos coluvio-proluviales; cortes de carretera de 70° de pendiente.	Con lluvias estacionales se interrumpe vía Alca-Puica en tramo de 2,5 km.
CERRO CARMOCCO-SECTOR RUELAS-RIBERA COAILA OC-02	Se presentan derrumbes por sectores, los que pueden acelerar el proceso.	Puede afectar viviendas, caminos de herradura, pozo de agua. Afecta carretera afirmada Lampa - Palca entre las progresivas km 20+700 a 29+000 (por sectores).
CCOTAÑA (SANTA LUCÍA) LG-10	Rocas muy fracturadas, depósitos glaciofluviales inconsolidados, corte de talud para carretera, fuertes precipitaciones pluviales.	Afecta tramo de la nueva carretera Arequipa-Santa Lucía-Juliaca en tramo de 200 m (progresivas km 121+780 a 121+980).
LECHELAYA LG-22	Talud de corte de carretera de fuerte pendiente (>70°), rocas volcánicas muy fracturadas, filtraciones de agua, precipitaciones pluviales estacionales, sismos.	Afecta a nueva carretera asfaltada Arequipa-Juliaca en tramo de 200 m (progresiva km 109).
VISTILALLA LG-23	Se observan bloques sueltos en las laderas. Se recomienda desquincar los bloques sueltos.	Afecta nueva carretera asfaltada Arequipa-Juliaca en tramo de 100 m (progresiva km 117).
SANTA LUCÍA LG-24	Depósito morrénico medianamente consolidado, rocas volcánicas muy alteradas, talud de fuerte pendiente, filtraciones, sismos. Material suelto en la ladera.	Afecta carretera asfaltada Santa Lucía-Arequipa en un tramo de 300 m. Se observa agrietamiento en el asfalto, y destrucción de las cunetas.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
AL OESTE DE MAVCHU HUASI NU-03	Depósitos coluviales inconsolidados, reptación de suelos, talud natural de fuerte pendiente, sismos (?). El derrumbe se está reactivando por sectores.	Puede afectar línea férrea Santa Rosa-Sicuani
QDA. IZCAYCRUZ RIN-03	Depósitos morrénicos medianamente consolidados y rocas muy fracturadas y alteradas, con buzamiento a favor de la pendiente, corte de carretera, precipitaciones pluviales excepcionales y sismos (?). Bloques sueltos en las laderas y corte de talud para carretera.	Afecta carretera afirmada Cojata-Sina en tramo de 400 m
ACCOLLO NU-21	Areniscas muy fracturadas, ladera de 45°-55°, fuertes lluvias excepcionales, sismos (?). Bloques sueltos de hasta 4 m de diámetro en su ladera; pequeños flujos que pueden afectar a la trocha.	Afecta trocha carrozable Nuñoa-mina Lola en tramo de 400 m.
INESTABILIDAD DE LADERAS DE VALLES		
DERRUMBE DE CARIGUA - CERRO FILAYOC 30/07/1997 HU-33	Lluvias excepcionales; fracturamiento en rocas del Grupo Yura (cuñas); pendiente subvertical en sector del Cañón del Colca. ± 200-250 m de longitud del dique de embalse y 45-50 m de altura; represó río Colca cuyo volumen se calculó aprox. en 2 millones de material caído (tamaño predominante < 40 cm de diámetro (60%).	Desembalse progresivo afectó aguas abajo sectores de Lucheá, valle de Majes. Laguna formada duró hasta mayo de 1998 (?).
DERRUMBE EN EL CERRO JOLLEVICCA (ENTRE ANDAHUA Y CHACHAS) HU-32	Substrato incompetente; pendiente pronunciada; lluvias estacionales que se infiltran y saturan depósitos superficiales; carcavamiento en la parte superior. Zona de arranque principal de forma irregular; derrumbes en el talud inferior.	Corresponde a terrenos eriazos, área aproximada de 500 m de longitud y 250 m de alto; represamiento del río Challahuire.
OR-03	Zonas de arranque de gran dimensión en dos sectores contiguos, cárcavas y zonas de derrumbe cara libre hacia el río Challahuire.	Puede represar el río, pudiendo afectar aguas abajo puente sobre la carretera de acceso a Chachas; terrenos de pastizales; camino de herradura encima de la zona de arranque.
DERRUMBE EN EL CERRO LLAJUA FEB, 2001 (ENTRE HAQUIRA-SANTO TOMÁS) ST-17	Filtraciones naturales de lluvia; fuerte pendiente de ladera (45°-55°); alteración y fracturamiento del substrato (cuarcitas). Zona inestable en talud de 80 m de alto con sectores de arranque de materiales; corte de carretera.	Afectó 150 m de carretera Lajua-Patahuasi; también compromete tendido de luz eléctrica (en la parte superior) y tramo de carretera Haquira-Santo Tomás (talud inferior). Zona inestable con lluvias.
DERRUMBE EN EL CERRO LAMBRASNIYOC ANT-43	Pendiente pronunciada de ladera (60°-70°); substrato fracturado, erosión fluvial en el pie de ladera. Infiltración de lluvias y saturación de suelo residual coluvial. Zona de arranque irregular mayor de 300 m de altura en una longitud promedio de 400 m, que involucra rocas sedimentarias fracturadas (areniscas) y depósitos coluvio-residuales.	Represó temporalmente el río Trapiche. Ladera esencialmente compuesta por áreas de pastos naturales.
CHIGUISIA SAN-08	Coluviales medianamente consolidados; lutitas carbonosas muy fracturadas, talud de fuerte pendiente, filtraciones, precipitaciones pluviales estacionales, sismos (?). Bloques sueltos e inestables en la ladera.	Afecta a terrenos de cultivo, andenes y carretera afirmada Cuyucuyo-Sandia en tramo de 100 m.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
FRENTE A MASIPO SAN-33	Depósitos coluviales medianamente consolidados, talud de 70°-80° de pendiente, fuertes precipitaciones pluviales. Material suelto en la ladera producto del derrumbe.	Afecta a terrenos de cultivo
CERRO PUCUSALTO LIM-25	Flujo seco (canchal)	Puede represar al río y afectar al tendido eléctrico y carretera afirmada Patambuco-Colpacucho.
CERRO LUNAR DE ORO / RINCONADA. RIN-17	Depósitos fluvio-glaciares y morrénicos medianamente consolidados, pendiente subvertical, pequeños sismos producidos por la actividad minera, fuertes lluvias. Se observan bloques sueltos en el talud.	Podría afectar a viviendas del poblado de Lunar de Oro.
SOCAVAMIENTO Y EROSIÓN FLUVIAL		
DERRUMBES EN YANQUE (VALLE DEL RÍO COLCA) CHI-28	Socavamiento del pie del talud subvertical (margen izquierda del río Colca; sedimentos poco consolidados (Fm. Colca); filtraciones de lluvias y riego. Zonas de arranque y derrumbes en terraza de 60 m de alto (pendiente >70°); otros derrumbes se aprecian en la misma margen en áreas de forestación con eucaliptos.	Compromete terrenos de cultivo en andenería y sector de hotel turístico "La Casa Nostra".
SECTOR DE MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE HUAMBO HU-11	Erosión en ambas márgenes del río Huambo en avenidas. Depósitos inconsolidados incompetentes con el agua. Erosión en cárcavas. Derrumbe y colapso de bloques de material aluvial de hasta 3 m de diámetro en margen izquierda; erosión de laderas en margen derecha.	En este sector afecta terrenos de cultivo y compromete aguas arriba la C.H. de Huambo y camino de herradura.
AGUAS ABAJO DE CALCAUSO ANT-02	Substrato de calizas con niveles de lutitas carbonosas, fracturadas; aguas de lluvias. Zonas de arranque irregulares con conos de acumulación de derrubios en el pie, por desplome en una longitud de 500 m de cauce en ambas márgenes.	Afecta terrenos de cultivo ubicados en la parte superior; derrumbes podrían represar el río Mollebamba.

6.3.3 Vuelcos

Las pocas ocurrencias de este tipo de movimientos encontrados en el área, definidos como vuelcos («toppling»), están caracterizados por la presencia de substratos rocosos fracturados, según familias predominantes de juntas (o roturas por vuelco), que buzan contra el talud (de corte o natural) y cuyo rumbo es casi paralelo al de la cara del talud o buza en la misma dirección. (Ver Foto N° 34).

Los ejemplos encontrados, están asociados tanto a fracturamiento de rocas intrusivas y volcánicas (vuelcos de bloques que terminan en caídas de rocas), como también a estratos de rocas sedimentarias con buzamientos favorables al talud.

A continuación se describen los vuelcos de bloques encontrados (Cuadro N° 25)

Cuadro N° 25
Principales áreas afectadas por vuelcos

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
SECTOR LA HUACA CARA-4	Ladera del cerro Tajo de 30°-35° de pendiente, compuesta por lavas con disyunción columnar, que forma bloques sueltos de tamaños mayores de 1 m de diámetro.	Genera caída de bloques de roca en terrenos de cultivo en la parte inferior.
CCACCATUÑE MAC-19	Areniscas muy fracturadas, talud de fuerte pendiente, precipitaciones pluviales excepcionales, sismos (?). Se observan bloques sueltos en su ladera.	Puede afectar a viviendas de Ccaccatuñe y pastizales.

6.3.4 Deslizamientos

Los deslizamientos constituyen formas de remoción en masa, en los que, volúmenes de considerable o pequeña dimensión de suelo o roca (o combinados), se desprenden y deslizan pendiente abajo, como una sola unidad (o en forma escalonada), en forma progresiva (lenta) o en forma súbita (violenta), a lo largo de una o varias superficies o planos de deslizamiento.

En los trabajos de campo se ha reconocido su origen principal en áreas asociadas a:

- Condiciones morfológicas o de relieve, de inestabilidad de laderas de valles.
- Diferentes tipos de substrato rocoso (sedimentario, volcánico) y de depósitos superficiales (suelos), con características geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas desfavorables que coadyuvan o desencadenan el fenómeno.

- Áreas sujetas a variaciones climáticas estacionales (lluvias estacionales a excepcionales).
- Factores creados por el hombre al modificar los taludes naturales, al construir carreteras o por mal uso del recurso agua (riego), muchas veces en áreas de antiguos deslizamientos, reactivándolos, o creando nuevas zonas inestables.

De acuerdo a la clasificación de Varnes, dentro del área de la Franja N° 2, se han encontrado 163 deslizamientos: 25 rotacionales, 85 traslacionales, 5 deslizamientos planares, y otras 48 ocurrencias. Las características de los principales deslizamientos se resumen en el Cuadro N° 26, (ver Fotos N° 35 al 41).

Cuadro N° 26
Deslizamientos principales

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
INESTABILIDAD EN LADERAS DE VALLES		
DESPLAZAMIENTO DE MACA-CHACAÑA CHI-33	Depósitos lacustres y proluviales incompetentes; filtración de lluvias y aguas de riego; acción erosiva del río Colca en el pie de ladera; sismos. Zona de arranque irregular a semicircular, con escarpas de deslizamiento en un área de 1,5 km x 1 km, con pendiente del depósito subhorizontal de 5°, con escarpas paralelas, subverticales. Zona crítica; deslizamiento retrogresivo con avance hacia el sector oeste.	Afecta extensa zona de tierras de cultivo en Maca y Chacaña, tramo de carretera Maca-Huambo-Cabanaconde (1,5 km), el cual presenta un constante hundimiento del terraplén en dos sectores. Compromete el sector de viviendas del lado noroeste de Maca.
DESPLAZAMIENTO DE YAHUICHO CHI-20	Saturación de suelos incompetentes (depósitos de la Fm. Colca en talud de ± 150 m de grosor con pendiente >70°); lluvias estacionales fuertes; escarpa grande de deslizamiento: longitud de 500-600 m y salto de ± 2 m; agrietamientos en la parte inferior en chacras. Deslizamiento antiguo con salto importante (>10 m) reactivado. En el sector se aprecian derrumbes en el frente de terraza proluvial.	Aproximadamente 50 hectáreas de cultivo en andenería afectadas; compromete tramo de carretera Ichupampa-Lari; plantones de eucalipto de reforestación efectuadas en el cuerpo del deslizamiento antiguo.
DESPLAZAMIENTO CERCA DE CANOCOTA CHI-09	Socavamiento del río en la base, suelos inconsolidados saturados por lluvias y filtraciones de agua de riego (terrenos agrícolas). Corona de ± 160 m de longitud con un salto promedio de 4-5 m de alto; agrietamiento en toda su longitud con separación de 5 cm y 10-15 cm de profundidad.	Compromete terrenos de cultivos y podría represar el río Colca.
DESPLAZAMIENTO DE CANOCOTA CHI-08	Depósitos lacustrinos inconsolidados; filtraciones de agua de lluvia y escorrentía, saturación de suelos, socavamiento de la margen izquierda del río Colca, terrenos de cultivo. Escarpa mayor con salto de 3 m; una segunda escarpa a 6 m con un salto de 2 m, longitud promedio de 400 m. Se aprecian hasta tres saltos principales.	Deslizamiento antiguo que aparentemente se comportó como deslizamiento-flujo que represó el río Colca y parte del material deslizado se encuentra en la margen derecha.
DESPLAZAMIENTO LA CALERA CHI-06	Saturación de suelos y pérdida de cohesión; infiltración de aguas de lluvia y riego; corte de carretera; terrenos de cultivos encima de la escarpa. Escarpa de deslizamiento de forma semicircular con salto > 2 m de alto en una longitud de 200 m. Reactivación menor al centro de la escarpa.	Afecta terrenos de cultivo en la parte superior. Reactivación podría comprometer las instalaciones de los baños La Calera y carretera Chivay-Chilcapampa. Se ha reforestado en todo su alrededor.
JANAHUAYCCO CORA-8	Filtraciones de aguas de regadío y lluvias estacionales, se observan ojos de agua en el cuerpo del material removido. Deslizamiento rotacional.	El 24/03/2001 afectó terrenos de cultivo y 1 vivienda.
MARGEN DERECHA RÍO VISCA (NEGRO MAYO) QUERO-9	Sismos afectaron rocas volcánicas (ignimbritas) muy fracturadas, colapsaron por gravedad.	Deslizamiento de gran magnitud, actualmente se encuentra estabilizado.
DESPLAZAMIENTO DE YAUQUIQUILLA ANT-47	Pendiente pronunciada (50°-60°); depósitos residuales (areno-gravoso, húmedos) y roca alterada (a2-a3); saturación por lluvias e infiltraciones; erosión del río Yauriquilla en el pie de ladera. Corona semicircular y elongada, que baja hasta el pie de del río; salto principal de 2 a 3 m, reactivado al pie como derrumbes. Deslizamiento reciente-activo con escarpa anterior, con tres saltos principales cubiertos por vegetación, y surcado por cárcava.	Tramo de 200 m de carretera serían comprometidos si se reactiva la parte superior; también afecta áreas de pastizales y algunas viviendas en la parte superior. Podría represar el río Yauriquilla.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
ENCIMA DE POBLADO DE CAPACMARCA LIV-01	Abundantes filtraciones, saturación de suelos residuales, oconales-hofedales en cabecera del valle de Culchamayo. Substrato intrusivo alterado. Escarpa mayor semicircular con salto de 1,60 m de alto y saltos menores y agrietamientos de terreno hacia cara libre.	Afecta áreas de cultivo de 2 000 m ² (40 x 50 m).
FRENTE A MOLLEBAYA (MARGEN IZQUIERA DE RÍO MOLLEBAYA) ANT-03	Substrato de calizas con lutitas carbonosas, incompetentes; fuerte pendiente de laderas: 55°-65°; filtraciones de lluvias y aguas de riego; erosión de la base de ladera que origina pérdida de soporte. Varios saltos de terreno y superficies de deslizamiento en ladera, en un área de 250 m x 150 m de alto. Escarpa más o menos recta con derrumbes hacia cara libre; se aprecian derrumbes y cárcavas en la misma margen.	Compromete áreas de cultivo, tramo de carretera Mollebaya-Calcauso y tendido de línea eléctrica.
CARRETERA MARA-PITAJ ST-09	Saturación de suelos coluvio-residuales por aguas de lluvias e infiltración de aguas de riego; pendiente de ladera (30°-45°). Escarpa principal que se ensancha hacia el talud inferior y hacia el NE (± 150m); agrietamientos y saltos de terreno en el cuerpo deslizado. Salto principal de 1,5-2,0 m sobre la carretera.	Carretera cortada, recién construida, afectada en tramo de 18 m; daños a terrenos de cultivo en la parte inferior.
FRENTE A VISVE COT-05	Suelo poco cohesivo; erosión y socavamiento del río en el talud o terraza; filtraciones de agua. Asentamiento reciente de tierras. Escarpa con salto de 40 cm y agrietamientos encima de la corona principal.	Afecta tramo de carretera de 60-70 m entre Tomepampa y Alca.
DESGLIZAMIENTOS EN EL ÁREA DE LLACAS CHUQ-27	Infiltración de aguas de lluvias y escorrentía; sobresaturación del manto mueble; fluctuación del nivel freático. En 1956 agrietamientos en C° Morro Colorado, de 300 m de longitud con ancho de 10-40 m; Morro Blanco y Alto Camay; otras grietas perpendiculares de 8-18 m. En 1973 se describen 4 sectores con deslizamientos: a) Escarpa de 600 m de longitud y 150 m de ancho promedio; b) Deslizamiento antiguo con una longitud de 900 m x 500 m de ancho promedio y saltos verticales de 2-6 m, grietas menores; c) Paralelo al anterior con una longitud de 650 m y salto de 4-6 m; d) Reciente (hace 15 años) con dos escarpas de ± 300 m de longitud y un salto vertical de 6 a 8 m, comprometiendo un volumen de 4 600 000 m ³ .	Problemas desde 1945, se agudizaron en 1952, 1956 y 1956-1957; posteriormente en 1971. En 1956 afectó canal de regadío y pequeños terrenos de cultivo, y pérdida de agua para riego por infiltración en grietas. En 1973 daños en áreas cultivadas en margen izquierda de la quebrada de Rata (1 000 m ²), con acumulación de escombros y desviación del cauce del río; destrucción de cinco viviendas, capilla del pueblo, canal de agua y reservorio, comprometiendo el resto de viviendas. Se recomendó un área para reubicación del pueblo.
SECTOR PARPACHA / SAJARHUA HU-07	Saturación del manto superficial; lluvias estacionales; pendiente de ladera; infiltración de aguas de canal. 4 sectores de escarpas (área de 60 x 100 m), con saltos de 0,50 a 1,5 m; agrietamientos paralelos; algunos con flujos tipo golpe de cuchara.	Afecta áreas de cultivo en andenería y compromete trocha de carretera en la parte inferior, así como canal de regadío.
DESGLIZAMIENTO DE AJPI HU-46	Filtraciones de agua, rocas incompetentes (Grupo Yura)	Afectó viviendas (80%), áreas de cultivo y canales de regadío; se reubicó parcialmente en 1992.
SECTOR ALCOSPINA LIV-24	Abundantes filtraciones de lluvias; naturaleza de suelos y substrato (sedimentos volcánico-lacustres); saturación. Escarpa principal semicircular con abertura de 5-8 cm, grietas de 20-25 cm de profundidad, saltos en la parte frontal de 50 cm. Escarpas de deslizamientos anteriores encima de cancha de fútbol, escarpas rectas con reactivaciones recientes al pie del deslizamiento con extensión: 300m ² .	Afectan terrenos de cultivos y pastizales. En 1960 se reportaron daños en los sectores de Sancomayo, Alcosipina, Patapampa y Chorrillos.
CERCA DE LA LOCALIDAD DE TISCO CON-05	Escarpa principal más o menos recta con salto de 30-60 cm y profundidad de grieta de hasta 1 m; agrietamientos recientes e irregularidades en terreno suavemente ondulado (colinas) en un área de 180 x 250m, limitada por surcos o quebradas.	Deslizamiento lento que afecta terrenos de pastizales. Deslizamiento reactivado.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
DESIZAMIENTO DE HUACCOTO CALL-06	Escarpa principal recta (250 m); escarpas semicirculares menores, activas; saturación y filtraciones en el cuerpo y pie del deslizamiento reactivado; derrumbes y deslizamiento-flujos han obstruido parcialmente el cauce de la quebrada.	Su evolución podría represar la quebrada Huaccoto, cuya ruptura posterior generaría flujos que afectarían aguas abajo carretera y puente localizados sobre el río Llapa.
MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO ICRACHUATO LIM-22	Coluviales poco consolidados, talud de fuerte pendiente, erosión fluvial, fuertes precipitaciones pluviales. Puede represar al río Icrachuat. Deslizamiento rotacional.	Puede afectar a terrenos de cultivo.
ICHOCOLLO PUT-05	Se observa las escarpas de arranque del deslizamiento, la erosión fluvial se da mayormente por la margen derecha.	Afecta a terrenos de cultivo en 1 km de longitud.
EN CORTES DE CARRETERA O CANALES		
CHACHUQUAICCO CHAV-6	Intensas lluvias saturan material, pérdida de cohesión del suelo arcilloso. Deslizamiento rotacional.	El 15/02/1997 afectó la carretera Chaviña-Coracora en el km 89+800.
TASTAMAYO CORA-5	Lluvias estacionales, filtraciones de agua provenientes de terrenos de cultivo, pérdida de cohesión suelo arenoso. Zona crítica, deslizamiento traslacional.	El 22/03/2001 afectó carretera Coracora-Chumpi en el km 9,5.
CARRETERA PUQUIO-SAN CRISTÓBAL PUQ-11	Lluvias estacionales saturan el suelo arcillo limoso, pérdida de cohesión. Deslizamiento traslacional.	Afecta la carretera a San Cristóbal.
CARRETERA CORACORA- CHAPIMARCA CORA-2	Materiales proluviales saturados por lluvias estacionales colapsan por pérdida de cohesión.	Afectó un tramo de la carretera en febrero del 2001.
HUANUYO LG-01	Se observa agrietamiento en el asfalto resanado, se han realizado trabajos de estabilización y drenaje, aún sigue el problema (mayo 2001). Deslizamiento rotacional.	Afecta carretera asfaltada Cabanillas - Santa Lucia en tramo de 400 m y línea férrea Arequipa-Juliac.
COLLPA (PUSI) HC-26	Se observa desprendimiento de rocas; escarpas y grietas del cuerpo del deslizamiento; deslizamiento rotacional.	Afecta a terrenos de cultivo, puede represar al río Cachimayo y producir flujos que afectarían al poblado de Pusi.
CERRO COMPUERTA (SANTA LUCIA) LG-05	Se observan escarpas de saltos en las masas deslizadas. Deslizamiento rotacional.	Puede afectar a carretera afirmada Santa Lucia - Toccoorongo en tramo de 100 m, también a línea férrea Santa Lucia - Arequipa.
SAN JUAN DE SALINAS AZ-18	Se ha modificado el trazo de la carretera, sector inestable, necesita mejorar el drenaje. Se observa la escarpa de arranque del deslizamiento. Deslizamiento rotacional.	Afecta carretera afirmada Azángaro-Huancané tramo de 150 m.
NINACHILLA (MAÑAZO) PUN-26	Se observan grietas de ruptura y pequeñas escarpas. Deslizamiento traslacional.	Afecta carretera afirmada Mañazo-Arequipa en tramo de 200 m.
IPARO (MASIAPO) SAN-21	Deslizamiento trasnacional, donde se observa escarpa de arranque.	Afectó carretera antigua, fue cambiado el trazo de la margen izquierda a la derecha. Destruyó tramo por lo menos en 500 m, puede represar al río Sandia.
COLPANI (SAN JUAN DEL ORO) SAN-58	Se observan escarpas ubicadas en la parte superior. Deslizamiento traslacional.	Afecta trocha afirmada San Juan del Oro-Putina Punco en tramo de 100 m, y puede afectar a viviendas ubicadas en la parte inferior.
DESIZAMIENTO DE YANACocha SAN-72	Deslizamiento traslacional que presenta una escarpa de 20 m.	Afecta trocha carrozable San Juan del Oro-San José en tramo de 200 m.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CRUZPATA DOS (YANAHUAYA) SAN-69	Se presentan hasta tres escarpas, donde la mayor llega a tener hasta 10 m de salto.	Afecta trocha carrozable San Juan del Oro-San José en dos tramos de 100 m c/u.
DESGLZAMIENTO EN EL CANAL DE MAJES CHI-16	Lluvias saturan suelo poco consolidado. Escarpa semicircular principal con salto de 50-90 cm en un área de 50 x 100 m; 2-3 escarpas y agrietamientos paralelos. Leve hundimiento en vía de acceso a canal y túnel; grietas en el canal.	Afecta un tramo de canal de Majes.
FRENTE AL CASERIO DE CCESCCA CHI-13	Suelos incompetentes proluvio-lacustres, saturados con lluvias; corte de carretera de 60°-65°. Escarpas más o menos rectas en una longitud de 500 m, varios saltos de terreno (2 m); deslizamientos antiguos-recientes que se están reactivando como derrumbes en los taludes de corte.	Su reactivación causaría derrumbes interrumpiendo la carretera Chivay-Callalli.
SECTOR HUERTA LIV-32	Saturación de suelos en ladera de fuerte pendiente con cortes de carretera (60°). Escarpas con saltos recientes encima y debajo de talud de carretera; escarpas antiguas. Substrato volcánico muy fracturado y alterado.	Afecta tramo de 300-350 m de carretera, así como puede comprometer en la parte inferior bocatoma Huanaco-Cuechapampa.
CERRO ANTACALLA SIC-04	Suelos residuales, saturados por lluvias estacionales; ladera pronunciada (50°-60°). 4 escarpas forma semicircular con varios saltos en el talud superior de carretera. Escarpas antiguas cubiertos por vegetación.	Afecta tramo de carretera Quehue-Checa (450 m).
CERCA DE CHECACUPE SIC-40	Fuerte pendiente de ladera; suelos incompetentes; saturados con precipitaciones abundantes, estacionales. Área de 150 m de longitud x 100 m de alto con una escarpa recta en la parte superior (corona), escarpas y saltos en la parte inferior y zonas de arranque menor en el talud más reciente.	Afecta interrumpiendo tramo de 200 m de carretera. Se ha construido zanja de coronación en la parte central del cuerpo del deslizamiento y forestación en la parte superior de la corona.
FRENTE A JARPA YA-13	Agrietamientos en el talud superior; escarpas pequeñas semicirculares, paralelas; 2 saltos principales y derrumbes hacia el pie del talud (área de 30 m de alto x 150 m de longitud).	Afecta tramo de carretera Santa Lucía de Pichigua-Quillahuara-Sausaya-El Descanso.
PANDEOS (DESGLZAMIENTOS PLANARES)		
LOMAS DE MAMAS HU-23	Areniscas y lutitas negras con buzamiento a favor del talud; fracturas en cuña generan bloques sueltos; movimientos sísmicos; pendiente > 60°. Bloques de roca de 40 cm y hasta tamaños de 1,5-2,0 m de diámetro.	Tramo de 350 m de carretera interrumpido por el sismo del 23-06-01. Taludes inestables en tramo de 2 km (km 43+300 Aplao-Viraco).
CHOPAYO CHI-18	Tobas muy fracturadas (roturas planares, casi verticales, y en cuña); depósitos inconsolidados, bloques de roca sueltos, inestables con sismos y lluvias. Zonas de arranque y desprendimiento en taludes superiores con fracturas abiertas; se activó con el sismo del 23-06-01.	En el km 4+950-5+750 de la carretera Chivay-Huambo (cerca a Yanque) afecta carretera.
CURVA DE CAPIZA; CONFLUENCIA DE RIOS TAPARZA Y CAPIZA HU-38	Rocas areniscas; buzamiento: 40°-50° a favor de la pendiente; muy fracturadas; material suelto inconsolidado.	Represaría en el río Capiza y afecta la carretera. Se localizan huaycos, flujos de barro, destrucción de rocas y derrumbes. Zona crítica.

6.3.5 Flujos

En el área de la Franja N° 2 ocurren movimientos de masas agrupados bajo la forma de flujos, de acuerdo a su mayor y menor ocurrencia se presentan: 301 huaycos (debris flow), 82 reptación de suelos (soil creep), 02 aluviones (debris avalanche) y 01 flujo de lodo (mud flows).

Peligros por huaycos

Su ocurrencia es muy frecuente, habiéndose inventariado 299 sectores con ocurrencia de huaycos.

Se presentan de acuerdo a su frecuencia de ocurrencia en: periódicos, ocasionales y excepcionales; los periódicos ocurren y se repiten con mayor frecuencia y causan mayores daños, los ocasionales pueden o no generarse con lluvias estacionales y su frecuencia es menor, mientras que los excepcionales tienen un período de retorno mayor y están relacionados a variaciones climáticas importantes (Niños excepcionales), pudiendo o no afectar a la propiedad (ver Cuadro N° 27 y Fotos N° 42 a 50).

Los huaycos periódicos y ocasionales ocurren en quebradas confinadas en laderas de valles intramontanos, quebradas afluentes de valles principales con amplias cuencas de recepción, quebradas de la Cordillera Oriental, donde se dan:

- Índices de pluviosidad estacional alta, periódica u ocasional.
- Otros factores como erosión de laderas, relieves de moderada a fuerte pendiente que favorecen el arrastre de sólidos de diferente tamaño.

Afectando o cortando caminos y carreteras, áreas de cultivo y áreas pobladas. (Ver Fotos N° 46, 48 y 50).

Los *huaycos excepcionales* a su vez, ocurren frecuentemente en terrenos de relieves más llanos, quebradas de la vertiente occidental con pendientes moderadas a suaves que cortan pampas costaneras con:

- Áreas desprovistas de vegetación y gran acumulación de material removible en sus cuencas.
- Ocurrencia de lluvias excepcionales, no comunes, las que generan el lavado y transporte de sedimentos en cauces amplios o quebradas secas.

Afectando áreas de cultivo, carreteras de penetración y asentamientos poblacionales rurales, asentamientos mineros, chacras, etc. (Ver Foto N° 47).

Estudios recientes tratan de relacionar las evidencias de huaycos antiguos, depósitos aluviales (proluviales) o flujos o coladas de lodo observados en la costa sur del Perú, datados en los tiempos finales del Pleistoceno o de la primera mitad del Holoceno, sugiriendo que el fenómeno de El Niño existía desde antes del Holoceno medio (ORTLIEB, L & VARGAS, G., 2000). Ellos mencionan igualmente que durante el siglo XX, como en los siglos anteriores los eventos El Niño fueron marcados tanto por sequía (caso Niño muy fuerte 1982-83) o, lluvias anormales (1972, 1976, 1997-98); en este último caso, localmente se generan huaycos. Pero también debe considerarse que la lluvia puede caer en la costa sur del Perú, sin que se den condiciones de El Niño (p.ej., 1954, 1955, 1961 y 1963).

Peligros por reptación de suelos

Son desplazamientos de terrenos que se comportan como flujos muy lentos a lentos, que involucran zonas superficiales del suelo y detritos finos, generalmente en cotas por encima de los 3 600 m, ocurren donde predominan:

- Zonas de terrenos saturados con filtraciones de aguas subterráneas, oconales o bofedales.
- Laderas con pendientes desde suaves, moderadas a fuertes, en colinas, lomadas y zonas montañosas.
- Cambios de volumen de los materiales o suelos saturados, por variación de la temperatura a estas altitudes, y
- Donde interviene la gravedad.

Se ha identificado la presencia de reptación en muchos sectores de las cuencas altas o cabeceras de valles de la Franja N° 2 (ver Cuadro N° 28 y Fotos N° 51 al 54), principalmente en:

- Terrenos eriazos, despoblados o sin cultivar, no implicando peligro o daño alguno.
- En muchas áreas de laderas naturales en donde afectan carreteras y terrenos de cultivo).

Peligros por aluviones

Es el desplazamiento violento de una gran masa de agua con mezcla de sedimentos de variada granulometría y bloques de roca de grandes dimensiones, que se desplazan con gran velocidad a través de quebradas o valles debido a:

- Ruptura de diques naturales (morrenas) y/o artificiales (presas).

- Desembalse súbito o violento por represamiento de un río, producido por un derrumbe, deslizamiento u otro flujo previo.
- Intensas precipitaciones pluviales.
- Ocurrencia de aludes o avalanchas que caen sobre lagunas.
- Movimientos sísmicos.

Estos fenómenos están ligados a zonas glaciares y periglaciares ocupando y afectando en su recorrido valles, poblaciones e infraestructura. En el área de la Franja N° 2, su ocurrencia está limitada a la zona oriental del área, habiéndose inventariado y reconocido dos lugares. (Ver Cuadro N° 29).

Peligros por flujos de lodo

Su ocurrencia dentro del área no es muy frecuente y sólo se han encontrado cuatro sectores con presencia de flujos de lodo confinados a quebradas anchas de suave pendiente, (Foto N° 55) activadas por lluvias excepcionales, que afectaron el paso vehicular, terrenos de cultivos y viviendas (Cuadro N° 30).

Cuadro N° 27
Huaycos principales

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
HUAYCOS PERIÓDICOS		
HUAYCO DE CHOCO HU-01	Lluvias torrenciales; ubicación de pueblo en confluencia de dos quebradas; fuerte pendiente de laderas con erosión intensa; cuenca de recepción amplia. Violenta masa de lodo y piedras.	Destruyó más de 60 viviendas, campos de cultivo; 400 damnificados. Sepultó a más de 36 personas.
HUAYCO DE PACAYCHACRA CHUQ-24	Abundante material inconsolidado en la cuenca de la quebrada Pajaura, fuertes precipitaciones, fuerte pendiente de la quebrada.	Afecta carretera a Chuquibamba (200 m), plantaciones al pie de Pacaychacra.
Km 95 SANTO TOMÁS-VELILLE Y QUEBRADA CCANCO CALA VE-03 Y VE-01	Lluvias estacionales; abundante cuenca de recepción; material de arrastre disponible en el cauce y en sus cabeceras depósitos de flujos antiguos de mayor dimensión; clastos predominantes de 30-50 cm de diámetro y de hasta 1 m.	Dos huaycos que interrumpen tránsito entre Veillie-La Esquina-Santo Tomás. Limpieza de badén en el período de lluvias.
HUAYCO DE CULLCO (CARRETERA A TISCO) CON-03	Flujo de huayco con clastos predominantes de 5-20 cm de diámetro (60%), 20-40 cm (10%) y <5 cm (30%), que interrumpen la vía a la localidad de Tisco (km 12+600).	Afectó alcantarilla; necesita la construcción de puente con obras de defensa aguas arriba y subir la rasante.
RÍO CHALCHAMAYO: QDA. COROPUQUIO Y QDA. TACU TACU YA-23, YA-22 Y YA-21	Cauce amplio de río y quebradas; lluvias estacionales que activan quebradas; material de acarreo disponible. Depósito con clastos entre 2-15 cm de diámetro (90%).	Interrumpen el tránsito Yauri-Atalaya en el período lluvioso; badenes de concreto y piedra de 50 m de longitud; antigua carretera Arequipa-Yauri.
SECTOR CHILACOLLO (RÍO HUANCASAYA) CAYA-05	Precipitaciones estacionales; gran cuenca de recepción (cerro Huayna Loma); erosión de laderas que aporta material. Depósitos a lo largo del cauce del río, después de su confluencia con quebrada Cuchopalca poder erosivo aumenta aguas abajo (río Challamayo).	Afecta terrenos de cultivo y pastizales; compromete tramo de 1,5 km de carretera (puente Quero).
QUEBRADA DEL SECTOR SAN JUAN Y HUAYCO DE LUICHO COT-04 Y COT-09	Cuencas de recepción amplia en quebrada Ranrata y río Chococo con moderada pendiente; material disponible con derrumbes y erosión de laderas; lluvias estacionales. Depósitos proluviales con clastos predominantes de tamaños <15 cm de diámetro (70-80%).	Dos huaycos que afectan carretera Tomepampa-Alca-Puica, terrenos de cultivo, así como puente peatonal que cruza a baños termales. Averió estribo del puente, derrumbándose en 1996.
HUAYCO DE ICHUHUAYJO (VÍA AREQUIPA-CAILLOMA) CAI-02	Lluvias estacionales; fuerte pendiente de quebrada; erosión de laderas que alimentan al cauce principal; flujo con clastos de tamaños predominantes < 15 cm de diámetro y máximos de 30-40 cm.	Flujo que cruza la carretera Arequipa-Cailloma en ancho de carretera de 80 m.
LA YESERA CARA-2	Quebrada con abundante material en el cauce, se activa con fuertes lluvias estacionales.	En 1997 afectó pueblo de Caraveli, P. J. Buen Paso y centro educativo.
CHAVIÑA CHAV-10	Quebrada Calicanto se activa con lluvias estacionales fuertes.	Afecta el pueblo de Chaviña
HUATARCUYA (CARRETERA CHALHUANCA-ABANCAY) CHALH-48	Quebrada que trae abundante material debido al aporte de quebradas en la cuenca de recepción y a la pendiente alta.	En febrero del 2000 afectó la carretera Chalhuanca-Abancay, obstruyendo su cauce.
SECTOR QUEMADO PA-2	Torrenteras que forman parte de una quebrada amplia con abundante material grueso en el lecho y pendiente alta.	Interrumpe la carretera a Palpa.
MAYOBAMBA QUERO-17	Río Mayobamba recibe aporte de las quebradas que bajan del volcán Carhuarazo generando flujo de lodo y piedras.	Puede afectar el pueblo de Mayobamba, restos de puente destruido.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
MASUPAMPA CHALH-9	Material proveniente de las labores de exploración del yacimiento minero Los Chancas son arrojados a la quebrada siendo éste fácilmente removido por las lluvias, pendiente pronunciada.	Daños a la vía
AMORAY CHALH-32	Fuertes precipitaciones pluviales, abundante material suelto en las cabeceras y en el cauce, agua de escorrentía, pendiente.	Daño a la vía Chalhuanca-Abancay.
CONFLUENCIA DEL RÍO HUAYSA AL RÍO MARIMAYO AYA-16	Fuertes precipitaciones pluviales excepcionales, quebrada de amplio cauce, abundante material suelto en su cuenca de recepción.	Puede afectar trocha carrozable Macari-Karmi en tramo de 100 m.
HUALLABAMBA SAN-12	Quebrada de pendiente moderada en la parte alta y suave en la parte baja.	Afectó a viviendas y carretera afirmada Sandía-Camarón en tramo de 100 m.
SANDÍA SAN-13	Se observan bloques sueltos de hasta 0,5 m de diámetro en su lecho.	Afecta carretera afirmada Sandía-San Juan del Oro.
QDA. CAMARÓN SAN-42	En la cabecera de la quebrada se encuentran derrumbes.	Afecta a viviendas del poblado de Camarón.
QDA. CALLIMAYO MAC-04	Quebrada de suave pendiente, se presenta erosión en cárcavas en la parte superior de la cuenca.	Afecta carretera afirmada Nuñoa-Macusani en un tramo de 100 m.
PUCAHUASI SAHUACCARCA MAC-17	Quebrada de pendiente suave en su parte baja y moderada en su parte alta (30°-45°).	Afecta carretera afirmada Macusani-Mina San Rafael, en tramo de 200 m.
SAN ANTÓN AZ-27^a	Quebrada de fuerte pendiente	Afecta carretera afirmada San Antón-Ajoyani en tramo de 100 m.
QUEBRADA CHICHANACO SAN-11	Este fenómeno se presenta en periodos lluviosos, puede represar al río Sandía, en su lecho se observan bloques sueltos de hasta 1 m de diámetro.	Puede afectar a viviendas en la margen izquierda de quebrada, y bases de puente colgante; aguas abajo puede afectar badén.
SANTO TOMÁS SAN-60	Quebrada alimentada por derrumbes constantes y pequeños que hay en la parte alta de la cuenca.	Afecta carretera afirmada San Juan del Oro-Putina Punco (tramo de 100 m) y compromete viviendas en la margen derecha de la quebrada.
CERRO PUCARILLA LG-09	Microcuenca dinámica, que provee material por la erosión en cárcava, quebrada de fuerte pendiente.	Afecta carretera afirmada Santa Lucía-Totorane en tramo de 100 m.
HUAYCOS OCASIONALES		
HUAYCO DE HIGUERAYOC Y DE QDA CERRO NEGRO HU-17 Y HU-19	Lluvias estacionales fuertes; cuenca de recepción amplia; erosión de laderas produce abundante material; flujo estacional.	Arrasó con un ómnibus y murieron tres personas; interrumpen vía Aplao-Viraco-Machaguay-Orcopampa, muy transitada.
HUAYCO DE QUEBRADA HUACCOTO CALL-07	Clastos de hasta 1,5 m de diámetro. Se ha rellenado quebrada con terraplén y colocado tres alcantarillas; defensa con enrocado, aguas arriba. Diámetro de alcantarillas insuficientes, las cuales pueden ser colmatadas. Afectó alcantarilla.	Afectó carretera Arequipa-Yauri en tramo de 50 m, interrumpiendo tráfico durante 3 días. Carretera fue anteriormente cortada en ambos extremos.
HUAYCO DEL RÍO PILCOMAYO (CARRETERA CHIVAY-LARI-MADRIGAL) CHI-19	Lluvias estacionales que arrastran material de laderas y cauce; derrumbes en márgenes incrementan sólidos. Pendiente: 5°-10°. Ancho de cauce: 15-20 cm, bloques de 1,50-1,80 m de diámetro y hasta 4 m (30%); predominan clastos < 30 cm de diámetro (70%).	Afecta tramo de carretera (puente) y terrenos de cultivo localizados aguas abajo de este fenómeno.
SECTOR DEL CERRO PICHIGUA OR-7 Y OR-09	Erosión en cárcavas y derrumbes que alimentan flujos; lluvias estacionales; fuerte pendiente de ladera; conos antiguos de gran dimensión; flujos recientes; granulometría predominante < 30 cm y hasta 80 cm de diámetro (20%).	Comprometen tramo de carretera Orcopampa-Andahua (500 m); debajo se está construyendo bocatoma de canal principal de riego para Andahua.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
HUAYCO DE MULAPAMPA HU-02	Lluvias ocasionales; erosión de laderas aporta material de arrastre. Flujo detrítico en cauce de 120 a 130 m de ancho con pendiente de 2°-5°, con clastos de 2-10 cm de diámetro (40%).	Afecta tramo de carretera que conduce a línea de Transmantaro, sector Huambo-Lluta.
CERRO CARNICERAYOC OR-4	Lluvias fuertes; lomas fácilmente erosionables que aportan sedimentos. Conos de flujo de suave pendiente (5-8°), material proluvial predominante de tamaños < 15-20 cm (70%), 20-50 cm (25%) y hasta 80 cm de diámetro.	Interrumpen tramo de 4 km de carretera Andahua-Viraco, por sectores.
QUEBRADA HUALLACAUCHA (VIA YANAQCA-LIVITACA) LIV-31	Lluvias ocasionales activan flujo en quebrada. Material de arrastre disponible en cuenca. Erosión de terraplén de carretera. Material predominante de 15-50 cm de diámetro.	Afectó tramo de carretera sin cimentar y puente, vía Yanaoca-Livitaca (km 77+500). Necesita badén de 15 m o puente.
QUEBRADA JATUNPATA LADERA DEL CERRO VICUÑA LIV-09	Quebrada erosiona y arrastra material de sus márgenes; unidades susceptibles a erosión de laderas (Fm. Yauri). Depósito de flujo desvía aguas del río Checca hacia su margen izquierda.	Afecta paso vehicular y peatonal en período de lluvias. Huaycos en quebradas Quishcomayo, Ventilla-Huaynuco y otras menores.
HUAYCO DE CCALLOCACHE (MAÑAZO) PUN-20	Fuertes precipitaciones pluviales; abundante material suelto en el lecho de la quebrada. Se presenta también erosión en cárcavas.	Afecta a trocha carrozable Vilque-Mañazo en tramo de 100 m.
RÍO QUIPACHE (MAÑAZO) PUN-21	Quebrada de pendiente fuerte en la parte alta y moderada en la parte baja.	Puede afectar puente y carretera Vilque-Mañazo (100 m), viviendas ubicadas en ambas márgenes y terrenos de cultivo ubicados aguas arriba y abajo.
CERRO COMPUERTA LG-02 Y LG-04	Fuertes precipitaciones pluviales; abundante material en la cuenca alta de recepción. En su cuenca se presentan luitas carbonosas disturbadas, erosión en cárcavas y en la parte superior hay un deslizamiento.	Afecta carretera asfaltada Santa Lucía-Arequipa y línea férrea Santa Lucía-Arequipa (progresiva km 660) en ambas vías en un tramo de 100 m.
PUSI HC-28	Se observan bloques de gravas y arenas en su cauce.	Puede afectar viviendas y terrenos de cultivo, está canalizado para evitar problemas en los terrenos de cultivo.
QUILLCA MIH-17	Se observan bloques, gravas y arenas en su cauce. Quebrada de suave pendiente.	Afecta trocha carrozable y badén de Moho-Ninantaya-frontera en 1 km y terrenos de cultivo y posiblemente a viviendas con lluvias excepcionales.
SANTA CRUZ DE OSMAYO / QDA. JARCAPUNCO PUT-41	Se observa erosión en cárcavas en su cuenca de recepción, quebrada de fuerte pendiente en la parte alta y suave en la parte baja.	Afecta carretera afirmada Quilcapunco - Ananea en un tramo de 100 m (progresiva km 76+000).
VILA MOCCO (MOHO) MIH-07	Presencia de bloques, gravas y arenas en su cauce.	Afecta carretera Moho-Chañahari y terrenos de cultivo.
RÍO PIHUANI (LARIMAYO) MAC-22	Se presenta erosión de ribera en su margen derecha. Se recomienda encausar y colocar defensas ribereñas.	Afecta carretera afirmada San Antón-Condoriri en 130 m, puede comprometer viviendas.
SANDIA SAN-17	Quebrada de fuerte pendiente en la zona de cabecera.	Afecta a tramo de carretera afirmada Sandia-San Juan del Oro, en tramo de 100 m.
PACAYSUIZO SAN-48	El material suelto proviene de actividad minera, que aumenta el material. Se recomienda poner defensas ribereñas en la margen izquierda.	Afecta a viviendas e inunda parte del pueblo ubicado en su margen izquierda.
CHARUYOC (SAN JUAN DEL ORO) SAN-61	Quebrada alimentada por constantes derrumbes pequeños que hay en la parte alta de la cuenca.	Afecta trocha carrozable San Juan del Oro-Putinapunco (100 m) en verano de 1994/95 fueron afectadas viviendas y colegios. Compromete viviendas ubicadas en la margen derecha.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
HUAYCO DE SAN IGNACIO (CURVA ALEGRE / RÍO SAN IGNACIO) SIG-06	Quebrada con fuerte pendiente en su parte alta, alimentada por pequeños derrumbes y erosión en cárcavas.	Puede afectar a viviendas, terrenos de cultivo y carretera afirmada San Ignacio-Misquimayo, en tramo de 150 m.
RÍO ARCOPUNCO SIG-04	En la cabecera de la quebrada se observa erosión en cárcavas. Se recomienda construir un puente.	Afecta carretera afirmada Masiapo-Misquimayo en un tramo de 100 m y puente colgante.
HUAYCOS EXCEPCIONALES		
CANGUNGUE-ORCONA (NASCA) NA-1	Taludes inferiores de carretera por la margen derecha, erosionados por el río.	Daño causado a la carretera afirmada y terrenos de cultivo; destrucción de defensas ribereñas en la margen izquierda del río Aja; inundación de Orcona en 1992 y 1997.
HUANUHUANU CHA-4	Abundante material en quebradas de cauce amplio y pendiente suave, que se activan con lluvias excepcionales.	En 1990 afectó el pueblo con relave y las instalaciones del antiguo asiento minero La Capitana.
CHARPA CHA-3		En 1995 y 1999 afectó viviendas de mineros informales del sector de Mollehuacca.
QDA. PAMPA REDONDA CHAPA-12	Quebrada amplia de pendiente suave y abundante material suelto tipo botonería que se activa con lluvias excepcionales.	En 1997-1998 destruyó la carretera Atico-mina Calpa.
RONQUILLO NA-2	Fuertes lluvias durante El Niño excepcional de 1997.	Afectó carretera carrozable y sepultó baños termales de Ronquillo en el valle del río Tierra Blanca.
ORCONA NA-1		Daño a la carretera carrozable, terrenos de cultivo y destrucción de defensas ribereñas.
QUEBRADA PAHUANA HU-10	Lluvias copiosas que arrastran material disponible en cuenca alta; pendiente pronunciada de quebrada; cauce angosto. Erosión en márgenes de quebrada en terrazas de 6-7 m de alto aguas abajo.	Afectó anterior puente que comunica vía Huambo-Cabanaconde.
QUEBRADA DE HUARHUA O CRUZPATA COT-22	Material proluvial en quebrada con bolones de hasta 3 m de diámetro (10%); confluyen varias quebradas con gran recorrido; régimen torrencioso.	Puede comprometer tramo de carretera en construcción a Charcana.
QUEBRADA AFLUENTE DEL RÍO HUAMBO (MULAPAMPA) HU-13	Lluvias con carácter excepcional, arrastran material suelto en cauce y laderas; derrumbes en márgenes; pendiente de 5°-8°. Aguas arriba se aprecian agrietamientos en el antiguo terraplén de carretera hasta 5 m desde el borde de quebrada, así como derrumbes en márgenes que han rellenado cauce de la quebrada.	Destruyó puente anterior, en el estribo derecho del puente. Podría represar el cauce y afectar puente nuevo.
PUENTE QUISCAY HU-15	Lluvias excepcionales en cabecera del río Huancocane o Huairó; derrumbes en sus márgenes y erosión de laderas que aportan material de arrastre. Flujo con piedras y bloques de gran tamaño (predominando un 80% <40 cm de diámetro y hasta de 3 m).	Compromete puente sobre la carretera Aplao-Viraco, terrenos de cultivo localizados en ambas márgenes y algunas viviendas aguas abajo.
HUAYCO DE GILAR LI-M-12	Fuertes precipitaciones pluviales excepcionales. En el lecho de la quebrada se observa abundante material suelto, en la actualidad la parte superior tiene constantemente derrumbes.	Destruyó viviendas, desaparecieron 2 personas y afectó terrenos de cultivo. El flujo de febrero de 1987 enterró tres calles.
RÍO TOCO TOCO PUT-43	Cauce es alimentado por la constante erosión en cárcavas en las cabeceras.	Puede afectar a viviendas y afecta carretera afirmada Quilcapuncu-Ananea (km 81+000) a la altura del poblado de Toco Toco.
QDA. HUARACHANI (NUÑO A) NU-18	Quebrada con pendiente moderada. Se recomienda construir puente de 400 m y ubicarlo aguas arriba y modificar trazo de carretera.	Afecta carretera afirmada Nuñoa-Macusaní en tramo de 200 m.

Cuadro N° 28
Reptación de suelos principales

Sector	Características	Daños ocasionados
CUCHIHUASI – SACCAPAÑA (COLQUEMARCA) LIV-08	Cicatrices e irregularidades en el terreno, antiguos y recientes. Colinas suaves en la cabecera del río Jarjanto.	Afecta extensas áreas de andenería y terrenos de pastos naturales.
QUEBRADA PERJATA (PICHACA) – OMACHA LIV-17	Cobertura de suelos superficiales en substrato volcánico; saturación con lluvias; cambios de temperatura a estas altitudes. Suelo residual superficial en ladera de 15°-35° de pendiente.	Afecta principalmente terrenos de cultivo, y también afecta áreas de pastos naturales.
CERRO JEJAÑA ORJO (LLUSCO) ST-22	Desprendimiento y pérdida de suelo. Colina alta de suave pendiente (15°-20°).	Afecta terrenos de cultivo (cebada y papa) y pastizales. Área de 2 km de longitud en talud de 250 m de alto.
QUINOTA ST-18	Saturación de suelos residuales; lluvias estacionales, poca cobertura vegetal; cambios de temperatura. Proceso lento de pérdida de suelo en colinas suavemente onduladas con pendiente de 15°-45°.	Áreas anteriores afectadas con pérdida de suelos. Afecta terrenos de cultivo, viviendas. Se ha reforestado con plantones de eucalipto.
SUCU PALLCA (SAN PABLO) SIC-13	Escarpas de reptación más o menos circulares en los cerros Huilapichu y Sucu Pallca, paralelas en la dirección del talud. Depósitos residuales coluviales muy superficiales.	Afecta terrenos de cultivo del sector Llutuyo. Se observa también erosión de laderas en el entorno.
CERROS ACO-SANTA (SECTOR GIRO) CAI-12	Irregularidades y saltos en terrenos de colinas o lomadas suaves (10°-15°); suelo areno-limoso.	Compromete 2 sectores de carretera Cailloma-Orcopampa (km 20 y 21+400) y un área extensa de pastos naturales.
QUEBRADA PAMPAHUASI (PATAYPAMPA) ANT-19	Agrietamientos y saltos en terrenos de bofedales; reptación obstruyó cauce de quebrada.	Obstrucción de alcantarilla en quebrada, daños en pastizales (para ganado vacuno y ovino) y un tramo de 20 m de carretera Pataypampa-Piyay.
MARGEN DERECHA DEL RÍO AUCARA (CARRETERA A QUEÑAMARI) SIC-25	Área de 2 km de longitud en ladera de colinas alargadas, con pendiente moderada a pronunciada (30°-50°). Suelo coluvial-residual.	Afecta y destruye suelos (terrenos de pastoreo) y tramo de carretera a Queñamari (km 30 a 31+500).
CERRO PUCALOMA (ENTRE SICUANI Y ANTONIO PAMPA) SIC-24	Zonas de arranque forman laderas irregulares; surcos y cárcavas y reptación de tierras hacia la quebrada; existe abundante filtración. Topografía ondulada (20°-45°). Hacia cara libre de río Quecra se comporta como deslizamiento, como proceso avanzado de reptación.	Sólo afecta terrenos de pastos naturales (pastoreo de ovinos); puede afectar también canal de regadío que cruza la ladera.
CERRO CCOYANE (POMACANCHI) LIV-33	Reptación de tierras de pastizales en cabecera de quebrada Center. Cobertura de suelo limo-arenoso, algo orgánico, residual-coluvial. También se aprecia erosión de laderas.	Afecta terrenos de pastoreo. Proceso avanzado en ladera sur del cerro Ccoyane; se han efectuado trabajos de conservación de suelos.

Sector	Características	Daños ocasionados
CATACOLLO-CHOCO (CONDOROMA) CON-16	Substrato poco consolidado (ignimbritas) susceptible a los procesos de erosión. Proceso observado en laderas de cerros Yanacac y Yacajo.	Perjuicio de pérdida de pastos naturales en un sector extenso.
SECTOR QUISCAQUISCA (CAILLOMA) VE-10	Abundantes zonas de arranque en una longitud de 500 m; algunos conos de flujos como "golpes de cuchara"; erosión en cárcavas.	Involucra terrenos de pastizales
CERCA AL CASERÍO DE CHURRASCO ANT-42	Área de terreno removido, irregular, de 200 m de longitud x 100 m de alto; derrumbes hacia los taludes de corte de carretera. Intrusivos muy alterados que generan suelo areno-limoso rojizo, húmedo.	Daños a pastizales. Se aprecia plantones recientes de eucalipto, cuyos trabajos de conservación deben de ser ampliados.
C° CHIARTITA (SANTA ROSA) NU-02	Talud natural de 45°-50° donde se aprecian pequeñas grietas en la ladera	Afecta C.I.P. La Raya y local de la Universidad del Altiplano.
JUAN VELASCO ALVARADO (NUÑO) NU-13	Se observan pequeñas escarpas en la ladera, y masas de suelos desplazados lentamente, en talud natural de 45°-50°.	Afecta carretera afirmada Nuñoa-Macusani en tramo de 100 m. Está afectando también a terrenos de cultivo.
QDA. QUIMACA (MARGEN IZQUIERDA /MURINURUNI) NU-23	Se observan pequeños derrumbes, surcos pequeños en la ladera y masas de suelos desplazados lentamente, como también agrietamientos.	Puede afectar trocha carrozable Nuñoa-minas Lola en un tramo de 200 m.
MUÑANI PUT-12	Se observan pequeños surcos en la ladera y masas de suelos desplazados lentamente.	Afecta carretera afirmada Muñani-desvío Ananea en tramo de 100 m.
SANTA ROSA AYA-07	Se observan pequeños surcos en la ladera y masas de suelos desplazados lentamente, como también agrietamientos.	Afecta a pastizales, terrenos de cultivo, viviendas y carretera afirmada a Nuñoa y la carretera asfaltada Ayaviri-Santa Rosa.
CERRO HUAYCALIPA (CUYOCUYO) LIM-19	Se observan pequeñas grietas, con pequeños desplazamientos.	Afecta carretera afirmada Cuyocuyo-Ananea en tramo de 100 m.
PLATERIA (CHUCUITO) ACO-08	Depósitos coluviales inconsistentes, filtraciones de agua, fuertes precipitaciones pluviales.	Afecta a terrenos de cultivo
PUTINA PUT-15	Se observan pequeños surcos en la ladera, y masas de suelos desplazados lentamente.	Afecta carretera afirmada Muñani-desvío Ananea en tramo de 100 m.
SOCSERA (SAN ANTÓN) AZ-06	Se observan pequeños surcos en la ladera, y movimientos lentos de suelos.	Afecta a terrenos de cultivo y pastizales.

Cuadro N° 29
Peligro de aluviones

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
NEVADO JALAHUANA (CARA NORTE) – LIMBANI LIM-35	Se observa un posible desprendimiento de la masa glaciar y puede producir un aluvión el cual se canalizaría por la quebrada Janjane, embalsando las lagunas adyacentes y descendiendo por el río Huancasayani.	Puede afectar a los poblados ubicados aguas abajo del río Huancasayani e incluso podría llegar hasta Limbani.
NEVADO CABALLUNE - ANANEA RIN-02	Puede caer la masa rocosa y desarrollar un alud al embalsar la laguna Jajahuaycho.	Puede afectar a los poblados aledaños

Cuadro N° 30
Flujos de lodo principales

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
EL BOQUERÓN ICA-5	Conjunto de quebradas que traen material fino en época de lluvias estacionales.	En 1989 y 1998 afectó terrenos de cultivo, 30 viviendas y fallecieron 4 ancianos.
LA TINGUINA ICA-2	Quebrada Cansas, de corto recorrido trajo lodo y fragmentos de roca a través de la pampa La Tinguña.	En 1998 afectó terrenos de cultivo, viviendas y calles del sector Chanchajara y Camacho en Ica.
KM 629 CARRETERA PANAMERICANA SUR CHA-2	Lluvias estacionales a excepcionales	En el 2001 afectó la Carretera Panamericana Sur y trocha carrozable a caserío de Angostura.

6.3.6 Movimientos Complejos

En el área estudiada, los movimientos complejos reconocidos, son el resultado de la combinación de dos tipos de peligro comunes y en algunos casos hasta tres.

Su ocurrencia incluye principalmente la actividad antrópica (cortes de carretera), que actúa como factor desencadenante.

Las combinaciones encontradas son: flujos de detritos (rock fall-debris flow), deslizamiento-flujos (slump-debris flow o slide-debris flow), derrumbe-flujos, deslizamientos rotacionales-traslacionales, erosión de laderas–derrumbes.

Deslizamiento-derrumbe (slump-rock fall), erosión de laderas–flujo y otras combinaciones.

En el Cuadro N° 31 se describen como principales movimientos complejos encontrados en el área. (Ver Fotos N° 56 a 60).

Cuadro N° 31
Movimientos complejos principales

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
DESGLIZAMIENTO- FLUJOS		
DESGLIZAMIENTO DE CHILCAPAMPA CHI-03	Asentamiento de terreno en la parte superior y un flujo hacia la parte inferior; escarpas circulares, grietas de empuje, árboles removidos, etc. Se ha efectuado variante del trazo. Sector antiguo, se distingue huayco de gran dimensión. Reactivaciones recientes en áreas con plantones de eucalipto.	Afectó tramo de carretera Chivay- Chilcapampa, terrenos de cultivo en un área de 200 x 120 m; compromete sector de hotel cercano a los baños termales La Calera.
DESGLIZAMIENTO EN EL CERRO QUEHUISHA CHI-41	Zona deslizada en forma de abanico en un área de 4 000 m ² , con un salto de 2.5 m que involucra manto superficial, mas no el substrato; agrietamientos en cuerpo deslizado de material saturado fluyó y se precipitó por la quebrada Callumayo originando huayco.	Afectó 3 hectáreas de cultivo de alfalfa y cebada, bocatomas de acequias de regadío, mató 3 reses y 44 alpacas. Flujos no comprometen seguridad de Lari ni Madrigal.
SECTOR HDA. HUAMBO COT-30	Taludes de 10 m de alto donde se observan cuatro escarpas contiguas en una longitud de 100 m.	Afecta terrenos de pastizales y tramo de carretera (100 m) Cotahuasi a Arequipa.
SECTOR LUICHO COT-07	Asentamientos y flujos de terreno reciente con zonas de arranque irregular; deslizamiento antiguo con salto promedio de 6 m en cuyo cuerpo se desarrollan terrenos de cultivo.	Afecta terrenos de cultivo y algunas viviendas rurales. Se observan áreas de reforestación con eucaliptos.
TAMPOLLEQUE (VALLE DEL RÍO SONDONDO) QUERO-12	Derrumbe y flujo de detritos a nivel de ladera en rocas volcánicas (ignimbritas).	El 13 de febrero de 1948 perecieron 80 personas del barrio de Ajola.
CARRETERA PUQUIO-SANTA ANA DE HUAYCA-HUACHO KM 99 + 400 QUERO-13	Deslizamiento y flujo a nivel de ladera que involucra a rocas volcánicas tipo ignimbritas.	Se observa un gran cono de material que ha invadido terrenos de cultivo.
CERRO CCACCAPAQUI (CARRETERA CORACORA-CHAVINA) CHAVI-16	Secuencias de materiales volcánicos tipo ignimbrita y lavas. El fenómeno posee una longitud de corona estimada en 2 km.	Es un fenómeno viejo estabilizado
DERRUMBES-FLUJO		
SECTOR HUINCHIRI SIC-01	Zona de arranque irregular y flujos de material hacia el pie de ladera; taludes de 20 m de alto en depósitos coluvio-proliviales; suelo gravo-arenoso con bloques de hasta 1 m de diámetro.	Desarrollo de carretera en la margen izquierda del río Apurímac, carretera Yanaoca-Livitaca (tramo de 500 m).
SECTOR PILLCULL CHUQ-18	Dos zonas de arranque irregular con depósito de flujo al pie, en forma de cono.	Afectó terrenos de cultivo en un área de 50-60 m x 150 m de alto.
TAMPOLLEQUE (VALLE DEL RÍO SONDONDO) QUERO-12	Derrumbe y flujo a nivel de ladera en rocas volcánicas del tipo ignimbritas.	El 13 de febrero de 1948 perecieron 80 personas del barrio Ajola.
LAGUNA JOCHAJACHA (PATAMBUCO) LIM-28	Talud natural de fuerte pendiente (70°), material suelto en el lecho de la quebrada, fuertes precipitaciones pluviales.	Puede afectar a viviendas
SECTOR AYO (SANDIA) SAN-07	Se observan bloques sueltos en la ladera	Afecta carretera afirmada Cuyocuyo-Sandia en dos tramos de 50 m cada uno.
DESGLIZAMIENTOS ROTACIONALES-TRASLACIONALES		
DESGLIZAMIENTO DE LACAYAQUE (ICHUPAMPA) CHI-26	Escarpa principal de aprox. 600 m de longitud con un salto de 15-18 m, con pendiente mayor de 60°; tres escarpas paralelas con saltos menores; filtraciones y oconales en el pie. Pendiente del depósito de 10°-15°. Empuje de tierras y agrietamientos recientes.	Afectó terrenos de cultivo; pastizales y compromete tramo de la carretera que une Ichupampa-Coporaque-Chivay (± 1 km).

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
DESPLAZAMIENTO DE LARI CHI-31	Escarpa principal circular de aprox. 1,4 km de ancho con salto importante (8-10 m); otras tres escarpas principales en el cuerpo deslizado, paralelas con saltos menores (3-6 m); pendiente del depósito 10°-15° (750-800 m de ancho) hasta el borde del río.	Afectó principalmente terrenos de cultivo
DESPLAZAMIENTO DE MADRIGAL CHI-36	Deslizamientos de forma circular con escarpa pronunciada reciente (salto irregular: 5-15 m), en un área de 1x1,2 km, pendiente del depósito: 15°-25° y 200 m de desnivel; asentamientos hacia el pie del cauce, y movimientos más recientes en el sector este con escarpas paralelas, donde se aprecian aún inestabilidad.	Afectó extensas áreas de tierras de cultivo en el sector de Madrigal, margen derecha del río Colca.
FLUJOS DE DETRITOS		
CERRO SAN ANTONIO (CERCA DE MINAS CAILLOMA) CAI-07	Acumulación de conos recientes de detritos y conos antiguos producidos por corte de carretera.	Afectan varios tramos de carretera de acceso a minas Cailloma (tramo de 2-2,5 km de longitud), en la margen izquierda del río San Antonio.
Km 5+750 CARRETERA CHIVAY-TUTI (PAMPA FINAYA) CHI-04	Depósitos sueltos coluviales (bloques de rocas volcánicas) en talud natural de 45° de pendiente, alimentados por caída de rocas volcánicas en frente escarpado; sismos; lluvias.	Puede afectar carretera en un tramo de 500 m, en presencia de movimientos sísmicos y fuertes precipitaciones.
BUENOS AIRES (ONGORO) HU-22	Conos de flujos de detritos (5 conos) en la ladera inferior del cerro de Ongoro con pendiente de 15°-30°, como escombreras o canchales.	Puede afectar canal, tramo de carretera, algunas viviendas y terrenos de cultivos.
CERRO PABELLÓN CAYA-13	Talud de 300 m escarpado; escombros en su ladera, con diastros de 15-30 cm (70%) y bloques de roca de hasta 2 m de diámetro.	Afectan un tramo de 1,5 km de trocha de la carretera Arcata-Curipampa.
CERRO CHUANUMA (SECTOR YANA YANA) CAYA-11	Coladas de lavas que generan conos de flujos con pendiente > 45° y laderas de 150 m de alto. Conos de flujos antiguos hacia la otra margen de la quebrada Pacchihuayco.	Afecta tramo de 1,5 km de trocha de la carretera entre Mina Arcata y Curipampa.
QDA. CHONTA CAI-09	Conos de escombros recientes con fuerte talud y conos antiguos en las laderas de los cerros Filoranga y Yuracmayo.	Puede interrumpir tramos de la carretera Cailloma-Cayarani.
EROSIÓN DE LADERAS - FLUJO DE DETRITOS		
RÍO COLCA SECTOR TOCROYO CON-04	Cárcavas que originan flujos y conos de flujos de detritos que interrumpen carretera y originan cortes; se distinguen algunos conos de flujos recientes cubiertos con algo de vegetación.	Afectó carretera que comunica Tisco con Cota Cota en varios tramos de desarrollo de carretera (1-1,5 km). Zona crítica.
CERCA DE CEMENTERIO DE AYO HU-34	Surcos y cárcavas que cortan conos de flujos antiguos y flujos recientes con pendiente de 10°-15°. Área aproximada de 4 km de longitud de andenes x 80-100 m de ancho.	Afectaron zonas agrícolas (andenes) desarrollados por los Incas.
OTRAS COMBINACIONES		
Km 11+600 A 12+000 ANTABAMBA-ABANCAY ANT-14	Derrumbe, caída de rocas y vuelco: talud de ± 300 m de altura; bloques caídos de hasta 2 m de diámetro; tres principales fracturamientos. El fenómeno está afectando principalmente el talud inferior de la carretera.	Daños en tramo de carretera (400 m); su evolución podría represar río Antabamba. Zona crítica.
Km 59-60 CARRETERA SANTO TOMÁS-CUSCO ST-27	Deslizamiento-derrumbe: escarpa de 30 m de longitud y 20 m de altura; agrietamientos de terreno en la ladera inestable en presencia de agua. Necesita obras de drenaje.	Afecta carretera Santo Tomás-Cusco, terrenos de pastizales encima y debajo del talud en tramo de 2 km.
SALLACHIPA, (PULLO) CORA-9	Deslizamiento-derrumbe inactivo de gran magnitud en substrato rocoso volcánico muy fracturado.	Actualmente se observan cárcavas que traen agua sin afectar la propiedad o la vida.
CHILHUARTE CORA-6	Reptación de suelos-erosión de laderas: suelos arcillo limosos y suelos areno gravillosos, pendiente suave.	Afecta tramo de carretera Coracora-Pullo.

6.4 OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

Se han reconocido otros peligros geológicos, no tipificados en la clasificación de Varnes; inventariándose 04 arenamientos, 184 erosiones fluviales, 84 sectores afectados por erosión de laderas, 04 áreas con peligro por hundimientos y tres aludes o avalanchas.

Los Cuadros 6.12 al 6.16 describen en forma sucinta las principales características.

6.4.1 Arenamientos

Los procesos de arenamiento en el área, están asociados preferentemente a:

- Zonas de morfología plana (pampas costaneras extensas) aledañas a zonas del litoral, con una dinámica eólica importante, donde la dirección y velocidad del viento así como la geomorfología del entorno favorecen la migración y acumulación de arenas.
- Asimismo se encuentran acumulaciones en las laderas o colinas bajas de las estribaciones occidentales de los Andes, presentándose como mantos de arenas que forman lomas alargadas, onduladas, dunas y barcanas.

Su presencia influye principalmente en la obstrucción del tráfico o tránsito en las carreteras y trochas, siendo el riesgo generalmente bajo (Fotos N° 61, 62 y 63 y Cuadro N° 32)

Cuadro N° 32
Principales arenamientos

Sector y código de inventario	Características	Daños
CARRETERA PANAMERICANA SUR		
TANACA, km 571 AL 576 PANAMERICANA SUR CHA-6	Acción eólica fuerte, en zona morfológica favorable de pampas costaneras, con acumulaciones de material de arenas que son acarreadas por el viento.	Acumulación de dunas y barcanas cerca de la carretera; su migración interrumpe tránsito carretero.
Km 553 CARRETERA PANAMERICANA SUR CHA-7		
PUENTE YAUCA CHA-8		
OTRAS AREAS		
PLAYA CHIFRON-CAPACHICA ACO-02	Acumulaciones de arena, fuertes vientos en dirección oeste.	Puede afectar a viviendas
C° AGUILA, PAMPA PRIETO, C° CRUZ CHICO, PAMPA CAMINO ENLADRILLADO, PAMPA SANTA CRUZ, OROVILCA Y C° PORTACHUELO, AL OESTE DE LA CIUDAD DE ICA	Acción eólica fuerte, en zona morfológica favorable de pampas costaneras, con acumulaciones de material de arenas que son acarreadas por el viento.	Puede afectar viviendas y terrenos de cultivo.
PAMPA LOS MEDANOS Y C° COLORADO, AL OESTE DE OCUCAJE	Acumulaciones de arena, fuertes vientos en dirección oeste.	
PAMPA BLANCA, CLAVELINAS, SANTA CRUZ, AL SO DE PALPA	Acumulaciones de arena, fuertes vientos en dirección oeste.	

6.4.2 Erosión de Laderas

La ocurrencia de este proceso de erosión es muy frecuente en la Franja N° 2, la cual está asociada, tanto a algunas formaciones geológicas consolidadas, poco consolidadas como a suelos susceptibles a la erosión hídrica, pudiendo ser las siguientes unidades litológicas:

- Rocas sedimentarias antiguas: conglomerados, areniscas y capas rojas de los grupos Puno y Mitu
- Las formaciones Moquegua y Huanca.
- El Grupo Yura.
- Unidades intrusivas muy alteradas (batolito de Abancay).
- Unidades volcano-sedimentarias-lacustres o fluvio-lacustres pleistocenas (formaciones Yauri y Azángaro).
- Formaciones volcánicas-piroclásticas de diferentes edades: ignimbritas o tobas poco consolidadas del Paleógeno-Neógeno, y
- Depósitos inconsolidados más recientes.

En su ocurrencia intervienen otros factores como fuertes lluvias, topografía (pendiente de laderas), manifestándose como procesos poco desarrollados (erosión laminar), erosión pronunciada en surcos y en cárcavas, hasta áreas de tipo “bad lands” en casos extremos.

Los problemas o daños principales que originan, tienen que ver principalmente con pérdida irreparable de suelos para la agricultura, erosión de áreas cultivadas y andenes, erosión de terraplenes en trochas de carreteras; asimismo en su evolución aceleran y/o están asociados a la ocurrencia de otros procesos de remoción en masa como derrumbes, deslizamientos y flujos (reptación de suelos y huaycos). Se resumen las principales áreas afectadas en el Cuadro N° 33 y algunos ejemplos en las Fotos N° 64 a 69.

6.4.3 Erosión Fluvial

La erosión de riberas a lo largo de las márgenes de valles principales o tributarios, se considera un peligro geohidrológico, pues para su ocurrencia intervienen:

- Factores geológicos, como la morfología del cauce y la dinámica del río, pendiente y ancho del cauce fluvial.
- Naturaleza de los suelos o rocas de las márgenes o laderas.
- Factores hidrológicos que tienen relación con las descargas o avenidas máximas en un corto período, estacionales o excepcionales de los principales ríos y tributarios de las cuencas hidrográficas.
- Pluviosidad de la región o de su cuenca húmeda.

Los efectos ocasionados por la erosión fluvial o de riberas ocurren sobre:

- Estructuras hidráulicas: puentes
- Terraplenes o plataformas de carreteras y trochas
- Terrenos de cultivo, pastos naturales y áreas pobladas ubicadas en las márgenes de los ríos.

En el territorio de la Franja N° 2, se han inventariado 184 ocurrencias de erosión fluvial, (asociadas generalmente a inundaciones), de las cuales el 54 % corresponden a la zona del Altiplano (cuencas de los ríos: Ramis, Coata e Illpa), un 25 % a la vertiente Atlántica (ríos Apurímac y Vilcanota), y un 21 % a la vertiente del Pacífico (ríos: Camaná-Majes, Ocoña, Grande-Nasca principalmente). (Ver Fotos N° 70 a 77). Un resumen de los principales peligros de erosión de ribera en la Franja N° 2 se muestra en el Cuadro N° 34.

Cuadro N° 33
Peligro de erosión de laderas

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CAPAS ROJAS (ARENISCAS, LUTITAS, LIMOLITAS Y CONGLOMERADOS)		
SECTOR ROSAS PATA/ CCACO PATA (SICUANI) SIC-23	Surcos y cárcavas profundas, en capas rojas alteradas en toda la ladera.	Andenería con trabajos de conservación de suelos y forestación. Afecta terrenos de cultivo, algunas viviendas del lugar y trocha carrozable.
SECTOR LIVINCAY (SICUANI) SIC-22	Erosión avanzada en surcos y cárcavas. Pendiente de 35°-45° . Derrumbes hacia las quebradas o cárcavas.	Afecta extensas áreas de cultivo; compromete trocha de carretera, algunas viviendas y tierras de pastoreo. Se han efectuado trabajos de conservación de suelos (andenería) y forestación con plantones de eucalipto.
SECTOR HUANCOIRI (ENTRE SICUANI Y ANTONIOPAMPA) SIC-12	Colinas onduladas con cárcavas, surcos profundos y algo de reptación de suelos; suelo residual y substrato de areniscas y lutitas, alteradas).	Afecta terrenos de cultivo en un área de 500 m x 80 m. Se han efectuado trabajos de conservación de suelos para que el proceso de erosión no continúe.
SECTOR HUATUCANI (COMBAPATA) SIC-38	Cárcavas y surcos de erosión; depósitos de flujo que se acumulan en el pie. Avance retrogresivo hacia la cabecera de cárcavas con derrumbes.	Pérdida de suelos, irrecuperables para la agricultura.
SECTOR CASAPAMPA (SAN PABLO) SIC-31	Ladera del cerro Jancoña afectada por cárcavas y surcos en un área de 800 m de longitud x 100 m de altura; cárcavas de hasta 10 m de profundidad.	Afecta terrenos de cultivo con pérdida de suelos. Necesita reforestación para la conservación de suelos.
SECTOR SUCU PALLCA (SAN PABLO) SIC-14	Cárcavas y surcos profundos en ladera de 45°-50°; substrato de capas rojas (areniscas y limolitas); reptación de suelos como proceso secundario.	Afecta terrenos de pastoreo y algunas áreas cultivadas en la ladera.
FORMACIONES YAURI Y AZÁNGARO (CONGLOMERADOS, ARENISCAS FLUVIOLACUSTRES)		
CERRO JARPA PUCARÁ YA-09	Areniscas y conglomerados que forman colinas onduladas (15°-25°) afectadas por cárcavas profundas (> 10 m de profundidad).	Compromete terrenos de pastoreo en una longitud de 2,5 km.
SANTA CRUZ (PICHIGUA) YA-15	Colinas disectadas por cárcavas en la ladera del cerro Soromesa en una longitud de 4 km.	Compromete terrenos de pastizales.
VALLE DEL RÍO CHECCA SIC-09	Surcos y cárcavas que cortan secuencias fluvio-lacustres subhorizontales en ambas márgenes del valle; se generan a la vez flujos o huaycos.	Derrumbes y formas incipientes de badlands que afectan terrenos de pastos naturales.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
MATARO CHICO (ARAPA) JU-26	Depósitos fluvioalacustres medianamente consolidados, subhorizontales (Formación Azángaro), fuertes precipitaciones pluviales. Se observan cárcavas, surcos pequeños en la ladera y erosión en cárcavas.	Afecta a terrenos de cultivo, afectó antigua carretera afirmada Juliaca-Calapuja-Azángaro obligando el cambio de su trazo.
QUISUARANI, QUEBRADA PICHACANI (HUANCANÉ) HC-14		Está afectando al puente y trocha afirmada Huancané-Huatasane-Putina en tramo de 150 m.
NUEVO JAPOJANCCO (AYAVIRI) AYA-03		Puede afectar viviendas ubicadas en la cumbre de la margen izquierda de la acequia (km 1 227+400).
GRUPO YURA		
QUEBRADA VISUE Y SECTOR QUEÑUAMARCA (CHICHAS) CHUQ-13 Y CHUQ-14	Varias zonas de derrumbes, cara libre a las quebradas.	Afecta terrenos de pastos naturales, trocha de carretera de acceso a Chichas y terrenos de cultivo del sector de Queñuamarca.
CERRO JOLLEVRICA (CERCA DE CHACHAS) OR-1	Cárcavas en un área de 2 km de ladera con profundidades de 1-5 m; en taludes de corte de carretera a Chachas genera a la vez derrumbes.	Afecta terrenos enriazos en la mayor parte.
ROCAS INTRUSIVAS MUY ALTERADAS		
Km 8+500 PROGRESO-CHALHUAHUACHO ST-02	Cárcava de aprox. 8 m de ancho, profunda, en una longitud de 180 m de ladera. Suelos arenosos producto de la descomposición de rocas intrusivas.	Afecta terrenos de pastizales, plataforma de carretera Progreso-Chalhuhach. Se recomienda efectuar trabajos de conservación en laderas de los cerros: Acojasa, San Lucas, Ichuni, Acchi.
SECTOR CASHANCA (CURASCO-PROGRESO) ANT-49	Cárcavas y surcos en ambas márgenes de la quebrada Cashanca. Colinas suaves (20-25°) con suelos residuales, producto de la meteorización de intrusivos.	Afecta áreas de cultivo, así como taludes de corte de carretera entre Curasco y Progreso. Se recomienda trabajos de andenería para conservación de suelos.
NEGROJAJA (ARAPA) JU-27	Intrusivos muy meteorizados, depósitos proluvio-coluviales inconsistentes. Zona crítica, con mucha erosión en cárcava. Además se presentan asentamientos.	Afecta carretera afirmada Juliaca-Calapuja-Azángaro desde la progresiva km 23+000 al 26+000, se ha cambiado el trazo de carretera.
ROCAS VOLCÁNICAS Y VOLCANOCLASTICAS		
CERRO CCOÑAMORO (CHECCAPUCARÁ) LIV-14	Cárcavas profundas en las laderas; derrumbes hacia cara libre de las cárcavas y flujos de lodo. Pendiente de 45°.	Afecta terrenos de pastizales y compromete tramo en desarrollo de carretera Checcapucara-Omach.
CUSHPA (CARRETERA TRANS-MANTARO) CHU-11	Cárcavas y surcos en ambas márgenes del río Cushpa; derrumbes en los taludes de corte de carretera de Transmataro.	Cárcava ha cortado tramo de carretera entre Orcopampa y Cotaruse
CERRO CUCHUMANI (MACA) CHI-22	Cárcavas y surcos de 8-10 m de profundidad en área de 2 km de ancho x 600 m de altura.	Afecta áreas de cultivo en la ladera media-inferior y trocha de carretera de acceso al canal Majes.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
SECTOR CANCO (VILCABAMBA) ANT-33	Surcos y cárcavas que producen erosión retrogresiva; cárcavas antiguas con vegetación. Ladera de colinas con suave pendiente 10°-30°.	Ocasiona daños a terrenos de cultivo, donde es necesario realizar trabajos de conservación de suelos, con reforestación de eucaliptos.
CERRO PUCA PUCA (SANTO TOMÁS) CAYA-03	Carcavamiento intenso en ladera sur del cerro Puca Puca; generan a la vez flujos de material detrítico.	Corta un tramo de trocha carrozable Lara-Curahuala.
SECTOR MUNGUI COT-28	Surcos y cárcavas profundas en los frentes de terrazas y en las laderas superiores del entorno.	Afecta áreas de cultivo (chacras) y viviendas.
TOMARTIPAHUAYCCO SA-3	Materiales volcánicos fácilmente erosionables por lluvias; laderas de pendiente moderada.	Produce erosión en surcos y afecta la trocha a Sacsamarca.
OTRAS UNIDADES LITOLÓGICAS		
QUEBRADA SERAJ (VÍA TRANS-MANTARO HUAMBO-LLUTA) HU-03	Cárcavas en terraplén en tramo de 250 m de carretera de 2-3 m de profundidad.	Afecta tramo de carretera que conduce a línea de Transmantaro, sector Huambo-Lluta.
KM 17,5 CHALHUANCA-YANACA (QUEBRADA HUATARCUIYA) CHALH-30	Grandes surcos en el suelo areno limoso y arcilloso, involucra también rocas del substrato, constituido de cuarcitas, lutitas y calizas, pendiente alta.	Fuerte erosión en cárcavas, éste sector da origen al huayco de Huatarcuya que afecta la carretera a Chalhuanca.
SAN MARTÍN PU-17	Suelos arcillosos y rocas del substrato; ausencia de vegetación; lluvias. Zona de cárcavas de 30 m de profundidad	Afecta zona de terrenos de cultivo y la carretera a Villa Huaylonga que por este proceso ya no existe.
MOHO Y SECTOR CHASQUIOCCO MH-05 Y MH-16 Y MH-08	Lutitas y arcillitas fracturadas, meteorizadas y depósitos coluviales; lluvias, mal drenaje. Se presentan asentamientos, corte del talud para viviendas; material removido en las laderas. Hay presencia de erosión en cárcavas.	Afecta a viviendas, terrenos de cultivo y pastizales. La forestación puede ayudar a detener la erosión.
		Afecta a terrenos de cultivo y compromete trocha carrozable Moho-Chasquiocco-Puerto Costa (200 m).
		Afecta carretera afirmada Moho-Aotani-Chucchune en tramo de 500 m y terrenos de cultivo.

Cuadro N° 34
Peligro de erosión fluvial

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CUENCA DEL RÍO GRANDE		
SALITRAL (CARRETERA OCONA-PALPA) CO-20	Lluvias estacionales y periódicas en su cuenca alta generan gran caudal; falta de defensas de la ribera y/o mejora de defensas en algunos casos.	Afecta 200 m de la carretera a Palpa km 29. En la margen izquierda del río Vizcas se necesita defensas ribereñas.
CANGUNGUE-ORCONA NA-5		Lluvias de 1997 inundaron el pueblo de Orcona.
CHANGUILLO PA-5		Margen derecha del río Ingenio destruye defensas ribereñas e invade cultivos.
CUENCA DEL RÍO ACARÍ		
TANI (MARGEN IZQUIERDA RÍO YAUCA) JA-2	Lluvias estacionales a excepcionales generan flujos de lodo y avenidas aumentando poder erosivo del río; cauce amplio y pendiente suave.	Aguas y huayco desaparecieron 250 m de la carretera en Tani.
SANTA TERESITA ACA-2		Aguas del río Acarí en la década del 70 afectaron viviendas, actualmente se han hecho defensas ribereñas en la margen izquierda para proteger el pueblo de Acarí.
CARRETERA LLAUTA-HUANCASANCOS LA-1	Divagación del río Caracha al pasar por terrenos planos.	Aguas del río Caracha en acción divagante daña la trocha que conduce a Llantá.
CUENCA DEL RÍO CHÁPARRA		
PAMPA REDONDA - QUIRGUA CHICO CHA-5	Lluvias estacionales a excepcionales incrementan bruscamente del caudal del río Cháparra.	Afectó terrenos de cultivo y un tramo de 500 m de la carretera en la margen izquierda.
CHÁPARRA CHAPA-2		Erosión en margen derecha afecta 1 km de talud inferior de la carretera, pudiendo afectar las viviendas ubicadas en las proximidades de los taludes.
FUNDO LAS MENORES CHAPA-13		Destrucción de defensas ribereñas y terrenos de cultivo en el 2001.
CUENCA DEL RÍO QUILCA		
LA ZANJA - LA HUARCA (CARAVELI) CARA-1	Incremento de caudal del río Caraveli durante el período de avenidas entre diciembre y marzo.	Afectó terrenos de cultivo en margen derecha del río Caraveli el 19/03/2001.
CUENCA DEL RÍO OCOÑA		
AGUAS ARRIBA DE COTAHUASI COT-01	Derrumbe de terrenos por socavamiento en la base.	Áreas de pastizales y escasos terrenos de cultivo.
SECTOR CANCHA COT-02	Erosión en las terrazas aluviales en ambas márgenes y área de inundación.	Compromete terrenos de cultivo y sector de la carretera Cotahuasi-Tomepampa. Mayor erosión en margen izquierda, en tramo de cauce de 1,5 km.
FRENTE A TAURISMA COT-03	Hacia aguas arriba continua erosión hasta sector de Tomepampa.	Compromete tierras de cultivo aguas debajo de puente peatonal.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
SECTOR ALCA COT-15	Terrazas aluviales de 6-8 m de alto.	Compromete tierras de cultivo aguas arriba y algunas viviendas. Se han efectuado defensas de ribera con muro de enrocado y arimado de material con tractor.
CUENCA DEL RÍO CAMANÁ-MAJES (COLCA)		
SAN JOSÉ DE HUATIPILLA HU-45	Ambas márgenes del río Majes presentan avenidas estacionales a excepcionales.	Afectó terrenos de cultivo.
LUCHEA HU-20		Afectó carretera, aislando pueblos de Machaguay, Ayo, Choco y Orcopampa; en 1998-99 desembalse del río Colca por el derrumbe de Carigua originó erosión de tierras de cultivo y 300 m de carretera.
SECTOR CERRO PICHIGUA OR-8	Avenidas estacionales de régimen excepcional; morfología, dinámica del cauce del río Andagua en este sector.	Afecta tramo de 500 m de carretera Orcopampa-Andagua; ya afectó tramo obligando a efectuar una variante y en el mismo sector se ha construido un "paso" para el periodo estacional; es necesario levantar la rasante de carretera y colocar enrocados.
HUANCARAMA OR-10	Erosión fuerte del río Huancarama en su margen derecha.	Km 95+700 (Caylloma-Orcopampa) afecta 40-50 m de carretera.
SIBAYO	Erosión fluvial en margen derecha del río Colca, al sur y este de Sibayo.	Peligran el estadio, viviendas de Sibayo, escuela y estación meteorológica.
SECTOR CALLALI CALL-09	Erosión y socavamiento en la margen izquierda del río Liapa que produce derrumbes en terrazas.	Compromete tramo de 300 m de carretera Callalli-Sibayo.
OCUVIRI OC-20	Fuertes precipitaciones pluviales, dinámica fluvial del río Ocuvi. Se recomienda encausar al río y colocar defensas ribereñas.	Afecta a viviendas, posta médica, camino de herradura, defensas ribereñas, y por sectores por el paso del río Ocuvi.
CUENCA DEL RÍO APURÍMAC		
SANTA ROSA-PUENTE SOCOSANI (CARRETERA CHALHUANCA-APURÍMAC) CHALH-17	Incremento del volumen de carga del río Antabamba por lluvias estacionales.	Daño a la vía por socavamiento lateral en la margen derecha.
LAMBRAMA CHALH-41	Incremento del volumen de carga del río Chalhuanca por lluvias estacionales.	Daño a la vía en la margen derecha del río Chalhuanca fallan realizar obras de defensa ribereña.
PAIRACA CHALH-45		
YANACACCA KM 329 + 500 CARRETERA A CHALHUANCA CHALH-70		Daño a la vía por socavamiento lateral en la base del talud inferior de la carretera, originan asentamientos parciales y agrietamientos de la misma.
CUNCANE KM 318 + 800 CHALH-59		
AGUAS DEBAJO DE PUENTE QUE CRUZA A HUAQUIRCA ANT-10	Erosión en la base de terrazas de ± 5 m de altura, que generan derrumbes en ambas márgenes.	Afecta terrazas ocupadas por áreas de cultivo en una longitud de 800 m.
VIRGINNIYUC (SUYCKU-TAMBO) CAI-17	Terrazas afectadas por erosión y socavamiento en ambas márgenes (terrazas de 3,5-4 m de altura).	Destruyó puente peatonal, así como compromete seguridad física del poblado de Suyckutambo, principalmente en la margen izquierda, donde se ha efectuado arimado de material en el cauce como defensa en la margen izquierda.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
TOTORA-OROPESA ANT-35	Erosión en ambas márgenes del río e inundación. Cauce de curso divagante con pendiente suave (1-2°). Áreas de inundación del río en crecidas y terrenos de cultivo cortados.	Daños a la actividad agrícola, pastizales así como viviendas. Necesita ampliar defensas ribereñas aguas arriba de Titora y el puente peatonal (ambas márgenes) y aguas abajo de Oropesa y el puente peatonal (margen derecha).
PUENTE DEL ESTE A 5 KM DE COPORAQUE YA-01	Erosión en margen derecha (depósitos aluviales).	Afectó pilar central (aguas arriba) del puente y plataforma (desplome); asimismo erosión compromete en margen derecha tendido de luz eléctrica y tramo de carretera muy transitada (Yauri-Coporaque-Veille-Santo Tomás).
HUAYLLUPATA YA-03	Socavamiento de terrazas en ambas márgenes (5-7 m de altura).	Afecta tierras con pastos naturales; se ha construido puente peatonal aguas abajo para el período de lluvias; asimismo paso restringido de vehículos por aumento de caudal obligando a ir por la vía a Coporaque.
SECTOR HUAYLLUMAYO YA-04	Área de erosión fluvial e inundación amplia en tramo de 3 km de cauce.	Afecta extensas áreas de pastizales en ambas márgenes.
ANEXO DE CUTUTO ST-23	Erosión lateral y socavamiento en ambas márgenes.	Afectó terrenos de cultivo en una longitud de 500 m, en ambas márgenes del río Conde, necesita defensas ribereñas.
CUENCA DEL RÍO VILCANOTA		
ENCIMA DE MARANGANI SIC-28	Terraza superior con socavamiento en margen derecha del río Casura y también en margen izquierda aguas abajo. Valle fluvial con cauce divagante. Probablemente inundaciones en terrenos bajos (terrazza inferior).	Afecta terrazas aprovechadas como terrenos de cultivo; así como está socavando trocha carrozable. Compromete viviendas aguas abajo cercana a las márgenes.
SECTOR CCALLE SIC-37	Cauce divagante del río Salcca; erosión en terraza, margen derecha.	Afecta trocha carrozable a Salcca; compromete terrenos de cultivo y algunas viviendas.
OTRAS CUENCAS		
CUENCA DEL RÍO RAMIS		
PUCARÁ JU-24	Dinámica fluvial del río Pucará sobre la margen derecha.	Puede afectar carretera asfaltada Calapuja-Pucará en tramo de 100 m.
VILLA DE SAN ANTON AZ-10	Dinámica fluvial del río Crucero. Inundaciones aguas arriba en ambas márgenes, aguas abajo hay defensas ribereñas: en margen izquierda muros de concreto y aguas arriba arrimado de material	Puede afectar a viviendas, postes de tendido eléctrico (ubicados en la margen izquierda) y puente.
NUÑO A NU-12	Dinámica fluvial del río Nuñoa y de forma meándrica.	Afecta bases del puente en construcción, ha dañado campamento.
PUENTE NUÑO A NU-28	Puente de insuficiente longitud, construido en medio del cauce y se ha rellenado en ambas márgenes para su acceso. Se recomienda encausar al río Nuñoa con enrocados de hasta 300 m aguas arriba por ambas márgenes.	Puede afectar en ambas márgenes al nuevo puente de Nuñoa.
QDA. ANJO-AMAMANI NU-29	Lluvias estacionales, dinámica fluvial de la quebrada Anjo-Amamani.	Afecta carretera afirmada Nuñoa-Macusani en tramo de 700 m (km 33+400 a 34+100).
AYAVIRI AYA-01	Dinámica fluvial del río Ayaviri con mayor incidencia sobre la margen izquierda, se observan defensas ribereñas como ensacados de arena y enrocados.	Puede afectar a viviendas y terrenos de cultivo.
LLAPALLAPA / CUMARARA / MAL PASO AYA-09	Fuertes precipitaciones pluviales estacionales, dinámica fluvial del río Santa Rosa.	Puede afectar viviendas de la comunidad de Cumara Alto.

Sector y código de inventario		Características	Daños ocasionados
SECTOR MUYOCOCCHA (MACARI)	AYA-19	Dinámica fluvial del río Macari Mayo principalmente por la margen derecha.	Afectó y puede afectar carretera afirmada Macari-Karmi en tramo de 100 m.
JALLARANI (MACARI)	AYA-15		Afectó a carretera afirmada Macari-Karmi en tramo de 50 m.
MACARIMAYO (UMACHIRI)	AYA-19	Erosión del río Macari en ambas márgenes, se recomienda encausar el río.	Puede afectar a viviendas ubicadas en la margen izquierda y al estribo derecho del puente.
SECTOR LLALLI NUEVO	AYA-20	Dinámica del río Llalli Mayo mayormente por la margen izquierda.	Puede afectar a viviendas ubicadas a viviendas ubicadas en la margen izquierda en 2 km.
UMACHIRI	AYA-24	Hidrodinámica del río Sora, depósitos coluviales medianamente consolidados, en margen derecha. Existen defensas ribereñas (enrocados).	Puede afectar viviendas, terrenos de cultivo y carretera afirmada Llalli-Umachiri-Ayaviri en tramo de 100 m.
PUENTE PUCARÁ (PUCARÁ)	JU-25	Dinámica fluvial del río Pucará, en ambas márgenes. Se recomienda colocar defensas ribereñas aguas arriba y abajo del puente y reforzar los estribos del puente.	Puede afectar ambos estribos del puente Pucará y la estación Pucará.
CAÑÓN DE TINAJANI (AYAVIRI)	OC-23	Dinámica fluvial del río Paratia, meandriforme. Se recomienda canalizar al río y colocar defensas ribereñas. Carretera en mal estado.	Afecta carretera afirmada Ayaviri-Vilavila (progresiva km 15+000 al 18+000) y puente, zona crítica.
PUENTE SAN ANTÓN	AZ-02	Dinámica fluvial del río Condoriri. El puente está funcionando como presa, está siendo colmatado. Se recomienda limpieza del cauce y alcantarilla.	Puede afectar los estribos del puente de la carretera afirmada San Antón-Azángaro.
SECTOR LUZUNI (SAN ANTÓN)	AZ-11	Dinámica fluvial del río Luzuni sobre la margen derecha.	Puede afectar carretera afirmada San Antón-San José. Anteriormente fue afectada casi en 1 km.
VILACUNCA	AZ-14	Actividad dinámica del río Azángaro en margen izquierda. Encausar al río y colocar defensas.	Puede afectar carretera afirmada Azángaro-lago Salinas en tramo de 800 m y terrenos de cultivo.
NUÑO	NU-05	Dinámica del río Nuñoa, en margen derecha afecta depósitos aluviales. Se distinguen varios sectores inundables por ambas márgenes. Río meándrico; si retoma cauce antiguo afectaría canal de irrigación de Nuñoa.	Puede afectar carretera afirmada Nuñoa-Quenamari por sectores a lo largo de 1 km.
SALCACANCHA (NUÑO)	NU-14	Dinámica fluvial del río Jirahualña, erosiva por la margen izquierda.	Puede afectar carretera afirmada Nuñoa-Macusani tramo de 1,5 km y pastizales.
HUANCASAYANI (AYAVIRI)	AYA-22	Dinámica fluvial del río Santa Rosa. Mayormente por la margen derecha.	Afecta a terrenos de cultivo y pastizales en tramo de 1 km.
RÍO GRANDE / PUENTE SAYTOCCHA (CUYOCUYO)	PUT-49	Dinámica fluvial del río Grande. Puente de insuficiente longitud, en ambas márgenes tienen un relleno para su acceso, de los cuales la margen izquierda ha sido afectada, quedando el puente inutilizado. Se recomienda canalizar al río por ambas márgenes y colocarle defensas ribereñas.	Afecta carretera afirmada en tramo de 1 km (a partir del km 58+500), puente de insuficiente longitud, ha quedado en medio del cauce.
TOTORANI (ANTAUTA)	MAC-35	Dinámica fluvial del río Crucero acentuada en la margen derecha.	Puede afectar carretera afirmada Antauta-San Antón en tramo de 1 km.
CCALA CCALANI (ANTAUTA)	MAC-36		Puede afectar carretera afirmada Antauta-San Antón en tramo de 400 m y puente peatonal.
RÍO CRUCERO / CCATUYO ALDITIRA (ANTAUTA)	MAC-39		Puede afectar carretera afirmada Antauta-San Antón en tramo de 1 km, afectó la toma de agua potable y antiguo canal de irrigación.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CUENCA DEL RÍO ILLPA		
RÍO CONAVIRÍ PUN-22	Dinámica fluvial del río Conavirí	Afecta a trocha carrozable Mañazo-Laguna Maquera en un trecho de 6 km (tramos de 50 y 100 m), como también a terrenos de cultivo.
RÍO YUNCO (ATUNCOLLA) PUN-12	Dinámica fluvial del río Yunco. Se recomienda reforzar estribos del puente y colocar defensas ribereñas aguas arriba.	Puede afectar a ambos estribos del puente.
CUENCA DEL RÍO COATA		
VILAVILA OC-15	Dinámica fluvial del río Vilavila que está erosionando la margen derecha	Se han construido defensas ribereñas que han sido afectadas por sectores.
PUMAHUASI OC-10	Dinámica fluvial del río Pumahuasi en ambas márgenes	Afecta carretera afirmada Palca-Pumahuasi en tramo de 100 m.
CERRO COATACHA (PUCARÁ) Y HACIENDA CALERA JU-08 Y JU-09	Dinámica fluvial del río Lampa, en la margen izquierda. En sectores se aprecia que la crecida del río llegó hasta la carretera.	Puede afectar carretera Juliaca-Lampa en tramo de 1 km. Afecta en épocas de crecida a la carretera Lampa-Palca en tramo de 1,5 km.
CHEJOLLAN (CABANA) PUN-03	Dinámica fluvial y meandriforme del río Cabanillas. Se han colocado defensas ribereñas provisionales (enrocados). Cerca de Buena Vista se ha formado un barranco de aprox. 20 m en depósito aluvional producto de la erosión.	Afecta la línea férrea Arequipa-Juliaca en tramo de 500 m, desde el km 295 al 298 (por sectores). Podría afectar a línea férrea Cabanillas-Juliaca, actualmente hay 15 m (aprox.) entre el borde del barranco a la línea férrea.
BUENA VISTA (CABANA) PUN-06		
PALCA OC-11	Dinámica fluvial del río Vilavila, que está erosionando por la margen izquierda	Puede afectar a carretera afirmada Palca-Vilavila entre las progresivas km 31+7000 a 34+200.
MALPACHUPA (LAMPA) JU-11	Dinámica fluvial del río Lampa. Indistintamente sobre la margen izquierda, en ambas márgenes, margen derecha y margen izquierda respectivamente, para estos cuatro sectores.	Afecta tramo de carretera afirmada Lampa-Palca desde la progresiva km 16+000 a 17+200.
PUENTE COLONIAL Y PUENTE CABANILLAS (LAMPA) JU-12		Puede afectar a defensas ribereñas de ambas márgenes del río Lampa en una longitud de 800 m.
LAMPA JU-13		Puede afectar carretera afirmada Lampa-Cabanillas en un tramo de 300 m.
PUENTE QUISCA (LAMPA) JU-14		Afecta a ambos estribos del puente Quisca.
CHAUPIYILLO (PATAMBUOCO) LIM-23	Dinámica del río Patambuco. Se recomienda mejorar las defensas ribereñas de ambas márgenes.	Puede afectar a viviendas, colegio y terrenos de cultivo.
HUANCASAYANI (LIMBANI) LIM-42	Dinámica fluvial del río Huancasayani por ambas márgenes	Afecta viviendas y terrenos de cultivo.

6.4.4 Hundimientos

Los hundimientos de tierras se describen como el descenso o movimiento vertical de una porción de suelo o roca originado a causa de:

- Procesos cársticos principalmente
- Depresión de la napa freática
- Labores mineras antiguas o abandonadas
- Fenómenos de licuación de arenas, o
- Deficiente compactación diferencial de suelos.

Los hundimientos que se encuentran en la Franja N° 2 ocurren principalmente por procesos de disolución de rocas o terrenos calcáreos de las formaciones Ferrobamba, Copacabana y Gramadal (Gpo. Yura), debido a circulación de aguas subterráneas (cavernas naturales); se encuentran afectando principalmente áreas de cultivo y carreteras. (Ver Cuadro N° 35 y Fotos N° 78 y 79).

Cuadro N° 35
Principales zonas con peligro por hundimientos

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
SECTOR DE WARARI <i>LIV-22</i>	Hundimiento de tierras en un área de 50x50 m de hasta 1,5-2,0 m rocas calcáreas de la Fm. Ferrobamba.	Afecta terrenos de cultivo, en este sector se encuentran las grutas o cavernas de Marari.
VALLE INFERIOR DE HUAMBO <i>HU-12</i>	Forma escalonada con zona de hundimiento en un ancho de 20-25 m y 250 m de longitud.	Afecta área de cultivo
LADERA DEL CERRO PALLANCA <i>HU-14</i>	Hundimiento en la rasante de 30-40 cm; rajaduras y hundimiento en reservorio de agua abandonado (10-15 cm).	Está afectando tramo de 200 m de carretera Huambo-Alto Sigüas y reservorio de agua en la parte inferior.
SECTOR SORAPUNCO <i>PUT-18</i>	Rocas calcáreas y evaporitas disueltas por agua; forma hundimientos (karst) en la carretera	Afecta carretera afirmada Muñani-desvío Ananea en tramo de 2 km.
PUTINA <i>PUT-55</i>	Rocas solubles en agua, fuertes precipitaciones pluviales estacionales.	Afecta carretera afirmada Putina-Crucero por tramos a lo largo de 3 km.

6.4.5 Aludes o Avalanchas

Es el desprendimiento violento en un frente glaciar de una gran masa de nieve o hielo acompañado de fragmentos rocosos de diversos tamaños y material granular, originado por:

- Retroceso de un frente glaciar por variaciones climáticas importantes con cambios bruscos de temperatura.

- Pendiente pronunciada del lecho o substrato rocoso subyacente, donde avanza el glaciar,
- Fracturamientos profundos en el frente glaciar y/o rocas del basamento rocoso,
- Explosiones artificiales,
- Nevadas o granizadas de gran intensidad.

En el área de la Franja N° 2, se han reconocido algunos sectores con posibilidades de ocurrencia de aludes, principalmente en las zonas glaciares del sector de Ananea (ver Cuadro N° 36), pudiendo afectar áreas pobladas y centros mineros circundantes.

Cuadro N° 36
Principales zonas con peligro por aludes

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
NEVADO ANANEA–SECTOR GAVILÁN DE ORO <i>RIN-12</i>	Grietas en los glaciares, pequeños movimientos sísmicos generados por las explosiones de la actividad minera, talud natural de fuerte pendiente, intensas precipitaciones pluviales excepcionales, deshielos de los nevados por los cambios climáticos. Posibilidad de que algún día se desplome el hielo sobre la laguna Rinconada, colmatándola, formando un aluvión.	Puede afectar a los centros poblados de Lunar de Oro. El derrumbe podría afectar a la mina Gavilán de Oro.
NEVADO SAN ANDRÉS/ ANANEA CHICO. <i>RIN-14</i>	Puede formarse una avalancha y caer sobre las lagunas y formar un aluvión	Puede afectar a las labores mineras y viviendas ubicadas en la parte inferior del nevado.
NEVADO ANANEA CHICO / CALLEJÓN <i>RIN-15</i>	Puede formarse una avalancha por la caída del hielo.	Podría afectar a viviendas y labores mineras ubicadas en las partes bajas del nevado.

6.5 PELIGROS HIDROLÓGICOS Y ATMOSFÉRICOS

6.5.1 Inundaciones

Las inundaciones son eventos naturales recurrentes en la historia dinámica de un río, asociadas con:

- Precipitaciones pluviales continuas y abundantes en las cuencas húmedas de los valles principales; en la mayoría de los casos.
- Volúmenes de descargas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga o conducción de los ríos y riachuelos.
- Asociación a súbitos aumentos del nivel de aguas en áreas adyacentes a lagos, lagunas y mares.

En un contexto general se diferencian tres tipos principales de inundaciones: terrestres o fluviales, costeras o marinas y lagunares (ver Estudio de los Riesgos Geológicos del Perú de la Franja N° 1).

En el área de la Franja N° 2, se han podido diferenciar dos de los tres tipos de inundaciones, representando un peligro geohidrológico común, producto de las avenidas extraordinarias estacionales, como también de tipo excepcional asociada al fenómeno El Niño, y a lluvias estacionales que ocurren en las cuencas altas de los ríos principales de la vertiente del Pacífico y del Atlántico.

Entre los ríos principales de la *Vertiente del Pacífico* tenemos: Ica, Grande-Nasca, Ocoña, Camaná-Majes-Colca (y en menor efecto Atico y Caravelí), que presentan características de valles juveniles, con pendientes moderadas a fuertes y con período de avenidas estacionales; por presentar en sus cuencas medias a bajas una morfología de “valles estrechos inundables”, son propensos a inundaciones, afectando áreas de cultivo y áreas rurales, existiendo mayores efectos durante los períodos de El Niño. (Ver Fotos N° 81 y 82).

En la *Vertiente del Atlántico* tenemos los siguientes ríos: Pampas, Apurímac, Vilcanota, Tambopata e Inambari, que ocupan áreas de la Franja N° 2, con mayores caudales en el período estacional y caudales regulares durante todo el año, dinámica fluvial mayor (valles maduros de cauces amplios y pendientes variables), son frecuentes la ocurrencia de inundaciones en los sectores de valles interandinos, en valles agrícolas, vías de comunicación y poblados, en los ríos Apurímac, Vilcanota e Inambari, principalmente. (Ver Fotos N° 83 y 84).

Mientras que en la *Zona del Altiplano* y *Vertiente del Titicaca*, existen características geológicas e hidrológicas favorables a la ocurrencia de inundaciones tanto fluviales como lacustres que afectan áreas agrícolas y poblacionales circundantes, con zonas de inundación importantes en la cuenca del río Ramis, e inundaciones lagunares en los bordes del lago Titicaca, lago Arapa y laguna Umayo. (Ver Fotos N° 85 al 90).

En el Cuadro N° 37 se describen las principales áreas afectadas por inundaciones, separadas por cuencas.

Cuadro N° 37
Principales zonas con peligro por inundaciones

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CUENCA DEL RÍO GRANDE-NASCA		
CANTAYOC-TIERRA BLANCA NA-3	Margen izquierda del río Grande	Afectó localidad de Cantayoc y terrenos de cultivo en 1999.
KM 396 CARRETERA PANAMERICANA SUR PA-4		Destrucción de terrenos de cultivo en el 2001.
SANTA INÉS PA-3	Margen izquierda del río Viscas	Inundación de terrenos en 1973, actualmente cauce colmatado que en 1998 pudo rebasar muro de defensa de 800 m, causar inundación y dañar terrenos de cultivo .
BATANES-CHACRA NUEVA PA-6	Margen izquierda del río Grande	Afectó terrenos de cultivo de algodón en 1997.
CONCEPCIÓN-SAN PEDRO NA-16		En 1983 afectó el caserío de San Pedro dañando terrenos agrícolas.
ORCONA NA-18	Margen izquierda del río Ajá	Inundación del pueblo de Orcona en 1992 y 1997.
CUENCA DEL RÍO ICA		
LA BANDA- OCUCAJE ICA-1	Margen izquierda	Destrucción de terrenos de cultivo y obras de infraestructura en el 2001.
PAMPA BLANCA-TACAMA ICA-3	Margen izquierda	Afectó terrenos de cultivo en el 2001.
CACHICHE ICA-4	Ambas márgenes	Afectó terrenos de cultivo en 1998.
TRAPICHE-LOS MOLINOS-LA TINGUINA ICA-6	Ambas márgenes	Destrucción de 60 viviendas y 275 damnificados en 1999.
LA TINGUINA CA-7	Quebradas tributarias hacia la margen izquierda	331 viviendas destruidas y 1147 personas damnificadas en 1999.
DESAGUADERO-CHANCHAJALLA ICA-8	Margen izquierda	Obras de infraestructura destruidas y terrenos de cultivo ocurrido en 1972.
CUENCA DEL RÍO YAUCA		
VISTA ALEGRE-TANI JA-2	Margen izquierda del río Yauca zona crítica	Destruye 500 m de carretera e inundó terrenos de cultivo en 1999.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CUENCA DEL RÍO CAMANÁ-MAJES		
SECTOR HACIENDA ONGORO HU-21	Avenidas estacionales del río Majes, con aportes del río Capiza; morfología del valle encajonado; efectos del desembalse del río Colca (derrumbe de Cargua).	Áreas de inundación en terrenos agrícolas del sector de Ongoro, hacienda Perú, Huatipilla, Huatipa en aproximadamente una longitud del río de $\pm$ 8 km.
CUENCA DEL RÍO APURÍMAC		
AGUAS ABAJO DE TOTORA ANT-37	Inundación de terrenos en margen derecha del río Totorá; terrenos de cultivo erosionados en margen izquierda (terrazza alta).	Afecta terrenos de cultivo y pastizales en ambas márgenes del río en tramo de $\pm$ 500 m de longitud.
AGUAS ARRIBA DE RÍO OQUERO YA-05	Valle fluvial de amplio cauce y pendiente subhorizontal. También se produce erosión de ribera en margen derecha del río.	Afecta extensa zona de pastizales.
CUENCA DEL RÍO VILCANOTA		
SAN PABLO Y SAN PEDRO SIC-30 Y SIC-33	Llanura de inundación amplia, con varios brazos de cauce abiertos por erosión fluvial. Área inundada periódicamente inmediata a la vía Sicuani-Cusco. En 1994 afectó cerca de Rajchi. Área amplia de inundación desde San Pablo, San Pedro, Rajchi hasta Chigma Pampa, aguas abajo.	Compromete extensas áreas de cultivo línea férrea y carretera. Interrupción de la vía (carretera y ferrocarril) Sicuani-Cusco y áreas pobladas aledañas sectores de vivienda de los distritos (Mayupata, Sayhúa, Chara, San Pablo).
RÍO SALCCA SIC-36	Aumento de caudal del río Salcca en avenidas que sobrepasan límites del cauce actual insuficiente para soportar avenidas excepcionales. Llanura de inundación amplia del río con pendiente suave ($1-2^\circ$).	Afecta áreas agrícolas con desborde y erosiona en ambas márgenes.
SICUANI Y CHIECACUPE SIC-46 Y SIC-45	Fuertes precipitaciones originaron el desborde del río Vilcanota.	Arrasó considerables tierras de cultivo y destruyó algunos tramos de la carretera Cusco- Sicuani
CUENCA DEL RÍO RAMIS		
COMUNIDAD JELAINAMPO / SECTOR SOCSERA AZ-05	Desborde del río Crucero. en la actualidad hay limpieza del cauce, se recomienda defensas ribereñas con enrocados desde la bocatoma.	Afecta a terrenos de cultivo a lo largo de 2 km esta inundación viene desde San Antón por sectores.
RÍO RAMIS (JULIACA) JU-01	Aumento del nivel de agua y desborde del río Ramis, se recomienda colocar defensas por ambas márgenes.	Afecta a terrenos de cultivo en una extensión de 500 m.
VILULLO (NUÑO A) NU-19	Desborde del río Salluyo. zona inundable. Quebrada de pendiente casi horizontal, se observa erosión fluvial por ambas márgenes.	Afecta en tiempos de lluvias la carretera afirmada Nuñoa Macusani en 100 m.
CONFLUENCIA DE LOS RÍOS AYAVIRI Y CONDORMILLA (AYAVIRI) AYA-02	Aumento de caudal del río Ayaviri, y desborde por ambas márgenes, necesita reforzamiento de las defensas ribereñas.	Puede afectar instalaciones de agua potable ubicadas en la margen izquierda y afectar viviendas situadas en ambas márgenes. También afecta a pastizales
CALAPUJA JU-20	Dinámica del río Pucará, con desborde en la margen derecha.	Afecta tramo de carretera asfaltada Calapuja-Pucará en tramo de 300 m, puede desestabilizar plataforma de carretera.
COLLANA-CHUCARIPO-TEQUELARQUE-JACHANI-PAMPA CHAMARA	Dinámica del río Ramis, con aumento de descargas y desborde por la margen derecha.	Afectó áreas de cultivo y puede afectar instalaciones de agua potable.
RÍO RAMIS - TARACO HC-03	Lluvias excepcionales aumentaron nivel del río Ramis, el cual inundó la margen derecha.	Afectó terrenos de cultivo ubicados en la margen derecha.

Sector y código de inventario	Características	Daños ocasionados
CUENCA DEL RÍO INAMBARI		
RÍO SANDIA SAN-03	Aumento del caudal y dinámica fluvial del río Sandia, acentuada en ambas márgenes.	Afecta a terrenos de cultivo, ubicados en ambas márgenes.
SANDIA SAN-31		Afecta trocha carrozable Sandia-San José en tramo de 100 m.
MASIAPO SAN-35	Dinámica fluvial del río Chontabamba	Afectó a vivienda y destruyó puente de carretera afirmada Masiapo Camarón, se recomienda puente vehicular.
INUNDACIONES LAGUNARES		
OCHORCORO / CAPISI JATUNCRUZ (PUSI) HC-27		Afecta a terrenos de cultivo del sector de Pusi-Cocicon-Bosuero.
CHINGHANAS - PATALLANI Y ENCANAN (PAUROCILLA) PUN-09		Afectó terrenos de cultivo y posiblemente a vía férrea Arequipa-Juliaca-Puno por tramos.
COATA ACO-04	Fuertes precipitaciones pluviales, aumento del nivel de agua del lago Titicaca.	Afectó terrenos de cultivo y algunas viviendas.
JAPISE / SUCUNI (COMINA) MH-14		
BAHÍA MILILAYA (COMINA) MH-15		
INUNDACIÓN DE ARAPA JU-29		Afectó a terrenos de cultivo.
AYANI / CHUQUIHUANCA (ARAPA) HC-25		
BAHÍA DE CHOCOCHAMPA (HUANCANÉ) HC-12	Fuertes precipitaciones pluviales, aumento del nivel del agua del lago Arapa.	
COMUNIDADES DE COTAPATA (HUANCANÉ) HC-06		Afectó a viviendas de Cotapata.
LAGUNA DE HUATSANE (HUANCANÉ) HC-17	Desborde de la laguna Huatsane. Fuertes precipitaciones pluviales estacionales, aumento del nivel del agua.	Afecta a carretera afirmada Huancané-Huatasane-Putina en tramo de 100 m y terrenos de cultivo.
LAGUNA DE UMACO (ATUNCOLLA) PUN-11	Fuertes precipitaciones pluviales extraordinarias originó el desborde de la laguna Umaco, empeorándose este año por desfogues, al abrir las compuertas de la presa.	Afectó a viviendas, terrenos de cultivo y trocha carrozable Atuncolla-Sillustane en tramo de 100 m.
SECTOR TTUMI SIC-02	Área de inundación de aproximadamente 200 x 50 m inundaciones del 04-02-93.	Áreas de cultivo circundantes afectadas, probablemente algunas viviendas en las partes bajas de Tumi, Huancané y Tungasuca).
SECTOR UTACUNCA LIV-35	Elevación del nivel de la laguna de Cochapata, por fuertes precipitaciones pluviales estacionales.	Inundación del sector oeste de la laguna, algunas viviendas inundadas.

6.5.2 Desertificación

La Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación (1977) define a ésta, como la degradación de las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultantes de diversos factores, como variaciones climáticas y las actividades humanas. Asimismo la define como un fenómeno integral que tiene su origen en complejas interacciones de factores físicos, biológicos, políticos, sociales, culturales y económicos.

Existen siete procesos responsables de la desertificación: cuatro considerados primarios donde sus efectos son amplios y tienen un mayor impacto sobre la producción de la tierra: degradación de la cubierta vegetal, erosión hídrica, erosión eólica, salinización; y tres secundarios: reducción de la materia orgánica del suelo, encostramiento y compactación del suelo y la acumulación de sustancias tóxicas para las plantas o animales.

En la región de América Latina y el Caribe, con una extensión territorial de 20,18 millones de km² en donde 5,27 millones son tierras secas, el 70% presentan vulnerabilidad y grados avanzados de desertificación.

Los países firmantes de esta convención, entre los que se encuentra el Perú, han tomado conciencia de que la desertificación y la sequía constituyen problemas de dimensiones mundiales que afectan su desarrollo sostenible.

En el Perú, en el Informe Nacional para la Implementación de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (INRENA, 2000), se señala la problemática de la desertificación en el Perú 1996-2000, como uno de los principales problemas del Perú actual, como resultado de la conjugación de factores naturales económicos y sociales:

- En cuanto a los factores naturales, estos están ligados a la vulnerabilidad que crean las condiciones de extrema aridez de la Costa y de semiaridez y subhumedad de la Sierra, regiones que suman el 38% del territorio nacional (488 382 km²).
- En lo económico y social, destaca que el 88% de la población se asienta en zonas donde, sólo se recibe el 2% de la precipitación anual y además se concentra casi la totalidad de la actividad agropecuaria, minera e industrial nacional.

En el Cuadro N° 38 se resume en forma cualitativa, la problemática de desertificación en el Perú.

En los mapas de desertificación de América Latina, específicamente considerando el territorio de la Franja N° 2, éste presenta:

- Zonas hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas a húmedas.

- Severidad de la degradación del suelo por el porcentaje de unidad de área afectada, desde Mediana a Baja, y por el Índice de Vegetación: desde Baja, Media a Alta.
- Severidad de la erosión eólica: Áreas no degradadas.
- Severidad de la erosión hídrica: Baja, Mediana a No degradada.

6.5.3 Sequías

En términos generales la sequía es considerada, como la insuficiencia de agua en una región por un período prolongado para satisfacer las necesidades de los elementos bióticos locales. En sentido más estricto, como riesgo natural, depende de la combinación de factores de escasez o ausencia de precipitaciones, de la capacidad de almacenamiento del suelo, evapotranspiración, y de la ocurrencia del fenómeno en relación con el ciclo vegetativo anual.

Las sequías en nuestro país están asociadas a una anomalía o anomalía climática del Pacífico Sur (ver Acápite 3.1.3).

En su conjunto, el ámbito del estudio se considera dentro de las áreas afectadas por sequías, principalmente en los años:

- **1956-57:** Todo el sur peruano
- **1962:** Sequía en la mayor parte del territorio peruano.
- **1966-67:** Sequía en el Altiplano (Puno).
- **1982-83:** Sequía en la región sur y el altiplano. La zona de Puno fue la zona más afectada; entre 1965 y 1985 se tienen años de bajas precipitaciones, en 1966, 1970, 1979, siendo 1983 el año más severo (MARENGO O., J., 1987). Un balance de las pérdidas de la producción agrícola y pecuaria para la zona sur durante los años anómalos 1982-83, muestra mayores pérdidas para el departamento de Puno, seguido de Cusco (Cuadro N° 39).
- **1990:** Sequía en toda la región; grandes pérdidas de producción.
- **1996:** Indicios de fuerte sequía en el sur.

Cuadro N° 38
Principales procesos de desertificación identificados para el Perú (1996-2000)

Componente ambiental implicado	Procesos y características naturales	Actividades humanas	Procesos de desertación		
			Costa árida 136 372 km ²	Sierra semiárida 392 000 km ²	Amazonía subhúmeda seca (parte Vertiente Oriental) 270 876 km ²
CLIMA	Inestabilidad climática (heladas, sequías,...). Evento El Niño.	Alerta temprana limitada. Incipiente sistema de monitoreo. Medidas de prevención limitadas.	El Niño: inundaciones (1998) sequías.	El Niño: sequía, heladas	Altas precipitaciones
AGUA	Alta variabilidad de la precipitación.	Ineficiente manejo del agua	Inundaciones	Huaycos, inundaciones	
SUELOS	Delgados. Inestables (sobre todo, en laderas).	Minería con tecnologías no limpias. Medios de transporte. Industrias. Uso agrícola, ganadero y forestal inadecuados.	Salinización (40% de la superficie cultivada: 3 060 km ²). Erosión hídrica (10% de los suelos de los valles agrícolas: 7 600 km ² afectados) Contaminación de suelos por relaves mineros. Erosión eólica.	Erosión hídrica. Compactación (por sobrepastoreo). Contaminación por relaves. Erosión eólica.	Erosión hídrica
VEGETACIÓN	Diversidad	Deforestación. Quema. Pastos introducidos. Ampliación de la frontera agrícola (en lugares inadecuados) Sobrepastoreo.	10-12 mil ha/año de bosques secos (norte). Incendios forestales (50 000 ha en 1999: Piura y Lambayeque). Fragmentación de vegetación de lomas (centro y sur). Pérdida de diversidad biológica.	Pérdida de diversidad en pastos naturales. Destrucción de relictos de bosques naturales. Destrucción de matorrales (p.e. tolares: sur). Destrucción de bofedales.	Deforestación. Pérdida de diversidad biológica.
FAUNA	Diversidad	Destrucción del hábitat: tala indiscriminada, inadecuadas prácticas de desarrollo agrícolas, ganaderas, mineras e industriales.	Reducción de poblaciones y de áreas de distribución de especies silvestres.	Reducción de poblaciones y de áreas de distribución de especies silvestres (aves, camélidos, etc.).	Pérdida de diversidad biológica.
MEDIO HUMANO	Ciudades en crecimiento Población.	Urbanización de suelos agrícolas.	Pérdida de suelos agrícolas en los alrededores de las ciudades. Reducción de humedales. Superpoblación.	Migraciones	Migraciones

Fuente: INRENA, 2001

Cuadro N° 39
Balance de pérdidas por las sequías ocurridas en 1982-83

Zona	Agrícola		Pecuario
	Hectáreas afectadas	Pérdidas en millones de soles	Pérdidas en millones de soles
SUR DEL PERÚ	236 477	150 082,10	48 873
AREQUIPA	6 061	3 800,30	6 852
CUSCO	66 418	28 742,80	12 560
PUNO	80 234	79 160,00	21 099
APURÍMAC	40 775	15 793,60	5 857
AYACUCHO	42 108	22 361,40	-----

Fuente: Oficina Sectorial de Estadística (OSE, 1984)

6.5.4 Heladas

Uno de los fenómenos más adversos a la que están expuestos los cultivos de tierra fría, son las heladas, que se caracterizan por el descenso de las temperaturas del medio ambiente por debajo de los 0 °C.

En el área de la Franja N° 2, las heladas ocurren en zonas altoandinas, principalmente del Altiplano de Puno, y en las partes altas de Arequipa y Cusco, causando daños a los seres humanos (infecciones respiratorias, neumonía), afectando también a la agricultura.

De acuerdo al análisis de temperaturas mínimas para la zona del Altiplano, el 85% de los valores más fríos corresponden a los meses de mayo a agosto; sin embargo el peligro de heladas se da durante todo el año, siendo las más peligrosas aquellas heladas tardías que se presentan en los meses de noviembre y diciembre, denominadas "hielos de Todos los Santos" y "hielos de Navidad", aunque son esporádicas, pueden sorprender a los cultivos en plena germinación o desarrollo

Datos compilados de los últimos años registran heladas que afectaron sectores de la Franja N° 2 (ver Cuadro N° 40).

6.5.5 Granizadas

Las granizadas son ocasionadas por cambios bruscos del clima que originan precipitaciones sólidas, como granizo y nieve, causando graves daños al sector agrícola y ganadero, especialmente a terrenos de cultivo y pastizales, así como a vías de comunicación. Ver Cuadro N° 41

En los trabajos de campo se han podido identificar los siguientes sectores de carretera afectados por granizadas o acumulación de nieve con interrupciones en el paso vehicular normal en abras principales:

- Sector Negromayo (carretera Nasca-Puquio-Chalhuanca-Abancay-Cusco).
- Sector abra de Chungara (carretera Arequipa-Cailloma-Arcata-Orcopampa).
- Sector Condoroma-Negromayo (carretera Arequipa-Tintaya-Cusco).
- Sector del volcán-nevado Coropuna (carretera Aplao-Viraco-Andahua-Orcopampa).

También se suscitan inconvenientes o interrupción vial en otras carreteras afirmadas y/o trochas, tanto de uso interprovincial como interdepartamental y algunas de uso del sector minero, que se ubican en zonas elevadas por encima de los 4 500 msnm, cerca de áreas morfológicas de montañas elevadas, con presencia de nieve temporal o estacional, como las siguientes:

- Sicuani-Ayaviri (abra de La Raya).
- Santo Tomás-Cápacmarca (sector cerros Armahuacho-Huamanhuiri)- Cusco.
- Livitaca-Omachá (sector Checcapucara y Omachá; cerros Ccoñamoro, Huayllayoj)-Paruro-Cusco.
- Vía Arequipa-Juliaca (ferrocarril y carretera: sectores Crucero Alto, Pampa de Confital y Alto Toroya).
- Velille-Coporaque-Yauri (sector cerro Huaylla Apacheta).
- Cailloma-Cayarani (abra de Suyckutambo y sector Chinosire-pampa Marcanipampa).
- Pomacanchi-Santa Lucía-San Juan (abra cerro Condor Sencca).
- Entre Minas Arcata-Curipampa (cerros Pabellón y Condorillo) Curipampa-mina Huarcaya (Cerro Quillo); Curipampa-mina Utupara (cerros Ituruta y Jatunsora).
- Sicuani-Muñoa (cerros Yanasalla-Coteloma y Apacheta Aucará).
- Livitaca-Yanaoca (cerro Tocto).
- Hector Tejada (Tojroyo)-Llalli-Ayaviri (Cerro Ichajaja).
- Sector Antoniopampa.
- Sector de la carretera Transmantaro (entre Orcopampa y Cotaruse)

Cuadro N° 40
Áreas afectadas por heladas

Fecha	Lugar	Características y daños ocasionados
25-05-1996	Distrito y provincia de Cailloma	Bajas temperaturas originaron 8 000 personas afectadas con infecciones respiratorias y broncopulmonares; fallecieron 10 personas (5 niños).
31-05-1996	Provincia de Puno	Se reportaron heladas en las provincias de Puno, San Román, Carabaya, Sandia, Huancané, Azángaro, Melgar y Lampa originando intensas olas de frío, causando enfermedades respiratorias agudas y neumonías en la población, especialmente en los niños. 4 835 afectadas con infecciones agudas y 938 con neumonía. 185 personas fallecidas. 2 532 hectáreas de cultivo afectadas.
15-08-1997	Distrito de Pampacolca	125 personas damnificadas; 25 hectáreas de cultivo perdidas.
18-08-1997	Distrito y provincia de Cailloma	2 muertos.
1999	Departamento de Puno	A consecuencia de los efectos de La Niña se presentaron heladas, granizadas y vientos fuertes en el departamento de Puno, causando daños a la agricultura y la población. 28 viviendas destruidas; pérdidas de pastos naturales por efecto de la sequía. Provincias afectadas: San Antonio de Putina, Sandia, Puno, Azángaro, Huancané, Carabaya, Melgar, Moho, San Román.

Fuente: INDECI, Estadísticas de Emergencias producidas en el Perú, 1995,96 y 97

Cuadro N° 41
Áreas afectadas por granizadas

Fecha	Lugar	Características y daños ocasionados
09-10-1996	Distrito de Omacha	Granizada con vientos fuertes en la localidad de Antapallpa, ocasionando daños materiales en techos y ventanas, dejando 90 damnificados, 15 viviendas afectadas y un centro educativo.
06-03-1996	Distrito de Yanaoca	Fuerte granizada en la comunidad campesina de Hancchoyo, ocasionando daños a viviendas y áreas de cultivo; 115 damnificados y 320 hectáreas de cultivo dañados.
03-03-1996	Distrito de Santo Tomás	Ocasionó daños a la agricultura, viviendas y animales de la comunidad campesina de Ccasillo; 16 viviendas afectadas y 69 damnificados.
09-08-1997	Distrito de Puquio	Intransitabilidad en la ruta Puquio-Chalhuanca-Abancay-Cusco, en el sector de Negromayo, con retención de más de 1 000 pasajeros en la ruta; área de 100 km ² , cubierta con nieve.

Fuente: INDECI, Estadísticas de Emergencias producidas en el Perú, 1995,96 y 97



Foto N° 28 Caída de rocas que afectan el sector de la carretera Velille-Coporaque (Cusco)



Foto N° 29 Caída de rocas que compromete el poblado de Putina (Puno)



Foto N° 30 Vista de una zona de derrumbe en el cerro Labrasniyoc, ocurrido en el verano del 2001; represó el río Trapiche



Foto N° 31 Derrumbe en el cerro Jollevirca (entre Andahua y Chachas), en la margen izquierda del río Challahuire. Inestabilidad de taludes, rocas incompetentes (Grupo Yura); zona activa



Foto N° 32 Derrumbe en sustrato calcáreo muy fracturado, corte de la carretera a Chalhuanca (sector Huamanchina). zona inestable



Foto N° 33 Carretera Palca-Vila Vila (sector de Ocuvi). Derrumbe en rocas fracturadas y alteradas



Foto N° 34 Ejemplo de vuelco de estratos en areniscas de la Formación Sandia; carretera Putina - Ananea (km 63+900)



Foto N° 35 Deslizamiento de Jañahuaycco, tipo rotacional, ocurrido el 24-03-2001 en el distrito de Coracora



Foto N° 36 Deslizamiento activo de Yahuicho, valle del río Colca, entre Ichupampa y Lari. Afecta terrenos de cultivo, carretera y algunas viviendas



Foto N° 37 Deslizamiento cerca de Checacupe, carretera Sicuani-Cusco. Se aprecian trabajos de reforestación, zanjas de coronación en el talud comprometido. Zona inestable con lluvias que afectan tránsito carretero



Foto N° 38 Deslizamiento que afecta carretera y línea férrea Juliaca-Arequipa en un tramo de 400 m (km 266+300)



Foto N°39 Deslizamiento de Chaquihuaicco, sector Chantane, km 89+800 carretera Chaviña-Coracora



Foto N° 40 Deslizamiento de Yauriquilla, en la carretera Curasco-Progreso



Foto N° 41 Deslizamiento tipo planar en secuencias de la Formación Aplao-Viraco, carretera Aplao-Viraco, afectada por el sismo del 23-06-2001



(A)



(B)

Foto N° 42 Torrenteras en Puno. En (A) sector puente Umayo, Alta Chacarilla y Ricardo Palma y en (B) avenida Floral, microcuenca Huacar



Foto N° 43 Huayco en quebrada Mulapampa (ocasional a excepcional); corta trocha de acceso a torres de alta tensión, sector Huambo-Lluta; aguas abajo afectó al puente sobre la carretera Alto Sihuas-Huambo



Foto N° 44 Poblado de Choco, ubicado en la confluencia de las quebradas Chalza y Cusca, fue afectado por huayco de carácter excepcional en El Niño de 1998. Se nota depósitos de antiguos flujos en su cauce



Foto N° 45 Huayco de Huisja, cerca al caserío de Pacaychacra, carretera Aplao-Chuquibamba. Flujo ocasional a excepcional



Foto N° 46 Huayco que afecta línea férrea y tramo de carretera Juliaca-Arequipa (sector Lagunillas)



Foto N° 47 Huayco excepcional en la quebrada Charpa, departamento de Ayacucho. El 28-02-96, el relave afectó al pueblo e instalaciones del antiguo asiento minero La Capitana



Foto N° 48 Huayco en la quebrada Huatarcuya, cerca de Chalhuanca, ocurrido en enero del 2001, que interrumpe periódicamente la carretera Nasca-Abancay. Se aprecian bloques de roca de 2 a 3 m de diámetro



Foto N° 49 Huayco ocasional que afecta poblado de Sandia



Foto N° 50 Huayco en la quebrada Camarón, afluente del río Sandia (Huari Huari)



Foto N° 51 Reptación de suelos en el sector de Sucus Pallas, que está afectando terrenos de cultivo



Foto N° 52 Reptación de suelos en el cerro Challapata, afecta áreas de pastos naturales



Foto N° 53 Reptación de suelos en el sector de la quebrada Perhata, carretera a Omacha. Afecta terrenos de cultivo y pastizales



Foto N° 54 Reptación de suelos arenociliosos saturados; afecta tramo de carretera a Sañayca



Foto N° 55 Flujo de lodo excepcional en la quebrada Tapaya, que afectó sembríos en el sector de Nahuira (laguna de Chachas)



Foto N° 56 Movimiento complejo: deslizamiento-flujo en el sector de Chilcapampa; compromete áreas de cultivo, trocha Chivay-Chilcapampa, la cual ya ha sido variada, y sector del hotel cercano a los baños termales La Calera



Foto N° 57 Movimiento complejo: deslizamiento rotacional-traslacional de gran dimensión en el sector de Lari. Afectó principalmente áreas de cultivo. Proceso activo en etapa de estabilización, algunos ajustes y escarpas menores hacia el borde libre cerca al pie del cauce del río Colca



Foto N° 58 Ejemplo típico de un deslizamiento-flujo de pequeña dimensión o "golpe de cuchara", cerca al poblado de Chalhuanhuacho (sector de Puchunco)



Foto N° 59 Movimiento complejo en el sector de Torremani, margen derecha del río Tambopata



Foto N° 60 Flujos de detritos cerca a la mina de Cailloma; taludes de conos de escombros entre 35-45° de pendiente. Flujos antiguos y recientes



Foto N° 61 Dos vistas del proceso de arenamiento en el sector de Tanaka, que afectan tramo entre los km 571 y 576 de la Carretera Panamericana Sur



Foto N° 62 Dunas tipo barkanas en la pampa Matacaballo; dirección predominante N30°O



Foto N° 63 Mantos de arena en las inmediaciones del cerro La Virgen (Ica)



Foto N° 64 Erosión de laderas (cárcavas) observada entre San Martín y Villa Huaylunga; carretera Puquio-San Cristóbal-Huaylunga



Foto N° 65 Erosión intensa de laderas en materiales volcánicos, tufos, frente a la localidad de Pausa



Foto N° 66 Erosión de laderas en el sector de Sucu Pallca, en capas rojas. Afecta algunas áreas de cultivo



Foto N° 67 Áreas de cultivo del sector de Livincay (Sicuani) afectadas por erosión de laderas. Se han efectuado trabajos de conservación de suelos con andenería y forestación con plántones de eucalipto

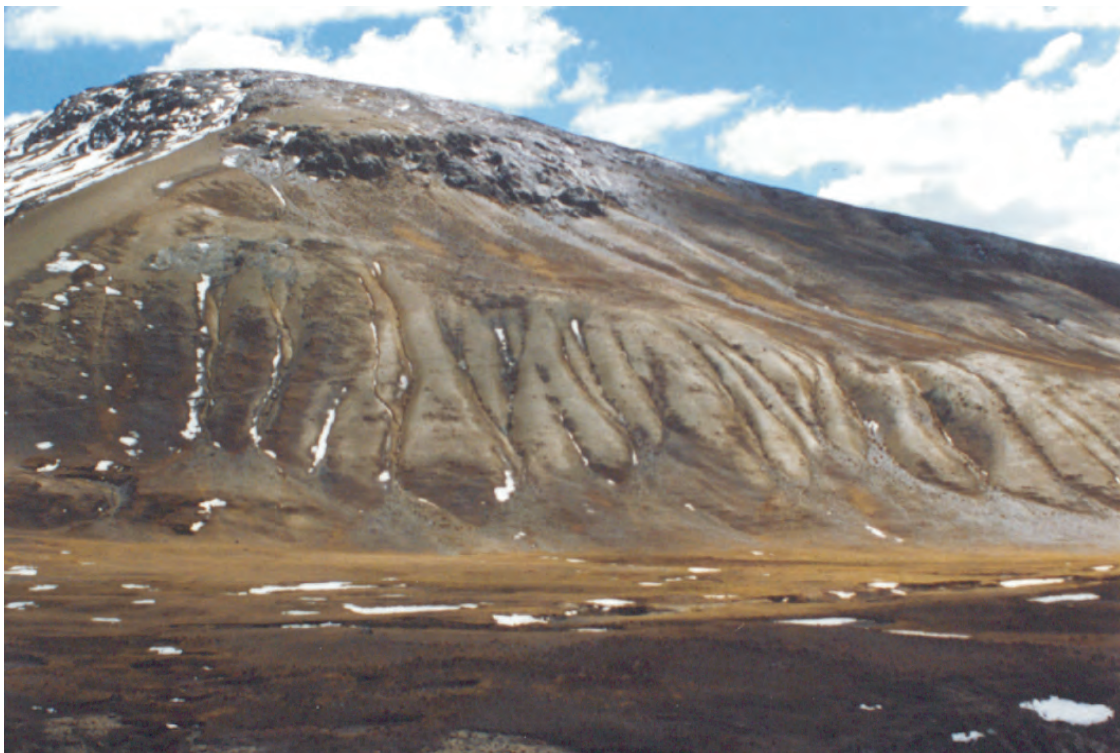


Foto N° 68 Erosión de laderas en la margen izquierda de la quebrada Huicsasamani; carretera Nuñoa-Macusani



Foto N° 69 Erosión en cárcavas, en sedimentos lacustres de la Formación Azángaro. Cerro Pipiache, sector Matanochico, margen derecha del río Azángaro



Foto N° 70 Erosión fluvial en la margen derecha del río Caravelí, sector La Zanja, que afecta terrenos de cultivo



Foto N° 71 Erosión fluvial en la margen derecha del río Acarí, que afecta terrenos de cultivo



Foto N° 72 Erosión fluvial en el sector de La Virgen (Suyckutambo), ambas márgenes del río Cayomani. Afectó puente peatonal. Aguas abajo compromete poblados asentados en ambas márgenes.



Foto N° 73 Erosión fluvial en el sector de Saytocochoa (río Grande) carretera a Putina.



Foto N° 74 Erosión fluvial que afecta tramo de la carretera Putina-Ananea (río Toco Toco)



Foto N° 75 Erosión fluvial en la margen del río Cabanillas. Nótese la defensa con enrocados para la línea férrea y carretera



Foto N° 76 Erosión fluvial en la margen derecha del río Huarcaya, que compromete al sector inferior de poblado de Alca (Cotahuasi). Se han colocado muros de enrocado y arrimado de material con tractor como defensas



Foto N° 77 Erosión fluvial en ambas márgenes del río Huancasayani, que compromete al poblado del mismo nombre



Foto N° 78 Evidencias de hundimiento en rocas calcáreas del Grupo Copacabana; sector de Soracunca, carretera a Muñani



Foto N° 79 Hundimiento por karst en tramo de la carretera Huambo-Alto Sigüas; en la parte inferior afectó un reservorio de agua



Foto N° 80 Peligro de alud o avalanchas de hielo en el nevado de Ananea. Compromete viviendas y zona minera



Foto N° 81 Inundación del río Ica. Viviendas en peligro en la margen derecha, sector Puente Cutervo



Foto N° 82 Otro sector de inundación en el río Ica (sector Secta). En 1972 y 1997-98 afectó extensas áreas de cultivo



Foto N° 83 y 84 Dos vistas de áreas de inundación anual en el río Vilcanota, sectores de San Pedro (vista superior) y San Pablo (vista inferior), que inclusive llega hasta el sector de Raqchi. Compromete áreas de cultivo, áreas pobladas, carretera y línea férrea Sicuani-Cusco



Foto N° 85 Inundación en la margen derecha del río Ramis, afectando terrenos de cultivo



Foto N° 86 Inundación lagunar, sector de Chincheros, que afecta extensas áreas de cultivo



Foto N° 87 Área de inundación circunlacustre, sector Jorilaje, península de Capachica, lago Titicaca (2001)



Foto N° 88 Isla de Uros, afectada por inundación (lluvias del 2001)



Foto N° 89 Bahía de Choco Pampacocha. Inundación del lago de Arapa, afectando áreas cultivadas



Foto N° 90 Inundación lagunar. Laguna de Pampamarca o Tungasuca, sector Tumi



Foto N° 91 Vista del flanco NE del volcán Coropuna, donde se distingue una colada de lavas en bloque, de edad reciente, sobreyaciendo a depósitos morrénicos



Foto N° 92 Vista de conos de escorias en Marbas Chico, dentro del valle de Huambo. Carretera Huambo-Alto Sigwas

Capítulo VII

EVALUACIÓN DEL PELIGRO VOLCÁNICO EN LA FRANJA N° 2

En el sur peruano, el mecanismo de subducción de la placa oceánica de Nasca debajo de la placa continental de América del Sur genera la existencia de un vulcanismo en el Plio-cuaternario, el cual forma parte de la Zona Volcánica de los Andes Centrales (ZVAC). Este vulcanismo tiene lugar en aproximadamente 250 km al este de la fosa peruano-chilena, paralela a las estructuras tectónicas andinas principales de dirección NO-SE.

A lo largo de la cadena volcánica del sur del Perú, existen aproximadamente 12 volcanes activos (fumarólicos, latentes) y potencialmente activos, emplazados durante el Plio-cuaternario, así como numerosos centros volcánicos erosionados emplazados antes del Plioceno y que en la actualidad no muestran actividad volcánica alguna. Dentro de la Franja N° 2 se encuentran los volcanes del Plio-Cuaternario: Ampato, Coropuna, Sabancaya, Sara Sara, Solimana y algunos conos monogenéticos del valle de Andahua, Huambo y Sora, así como los volcanes de Quinsachata (Sicuani) y Santo Tomás (Cusco). La mayoría de estos volcanes han estado activos desde hace varios miles de años, y muchos de ellos han erupcionado hace 2000 años. Relatos sobre la actividad volcánica histórica registrada desde 1530, muestran que algunos de estos volcanes causaron estragos en varios poblados, terrenos de cultivo y obras civiles. Algunos actualmente lo vienen haciendo, manifestando una leve y esporádica actividad fumarólica, caso del volcán Sabancaya; generando alarma y zozobra entre los pobladores, que repercute en las actividades económicas de los poblados.

En este estudio, se analiza la historia geológica de la región, tipos de dinamismo eruptivo y los riesgos volcánicos que presentan los volcanes activos, latentes y dormidos del Plio-Cuaternario: Ampato, Coropuna, Hualca Hualca, Firura, Sara Sara, Sabancaya, Solimana, volcanes monogenéticos de Andahua, Huambo y Sora, entre otros. Por ello se ha desarrollado un estudio estratigráfico y cartografiado geológico sistemático, determinando las fases de la actividad pasada que permitieron establecer los posibles desastres que causarían futuras erupciones mediante la zonación de los eventos.

El presente trabajo contribuye a identificar áreas vulnerables y de alto riesgo, que podrían ser afectadas por una erupción volcánica, en caso de una reactivación de cualquiera de los volcanes activos, latentes y dormidos situados dentro de la Franja N° 2.

7.1 ESTADO DE LOS VOLCANES EN LA FRANJA N° 2

MORCHE Y FÍDEL (1997), basándose en el tipo de actividad volcánica mostrado durante el pasado geológico y en la época histórica, clasificó los volcanes que conforman la cadena volcánica de los Andes del sur en la zona peruana, en cinco categorías: Ver Cuadro N° 42.

Volcanes activos

Son aquellos que muestran o han mostrado algún tipo de actividad eruptiva en los últimos 100 años. El más importante es el volcán nevado Sabancaya.

Volcanes fumarólicos

Muestran una persistente actividad fumarólica en el presente.

Volcanes latentes

Muestran evidencias morfológicas de actividad eruptiva reciente y/o registros históricos de actividad. Entre ellos figuran: Ampato, Coropuna, Sara Sara y los volcanes monogenéticos de Andahua, Huambo y Sora.

Volcanes dormidos

No presentan registros, ni evidencias morfológicas de actividad histórica; pero si evidencias de actividad en el Holoceno o Pleistoceno. Entre ellos figuran: Firura, Hualca Hualca, Solimana y los volcanes monogenéticos de Quinsachata y Santo Tomás.

Volcanes inactivos o extintos

Son los volcanes cuya última actividad se produjo en el Plioceno o pre-Plioceno. Entre ellos figuran varias estructuras volcánicas (ver MORCHE y FIDEL, 1997).

Cuadro N° 42
Clasificación de volcanes en la Franja N° 2

Categoría	Volcanes
ACTIVO	• Sabancaya
LATENTE	• Ampato • Coropuna • Sara Sara • Volcanes monogenéticos de Andahua: Challhue-Mauras, Chilcayoc, Chilcayoc Grande, Cochapampa, Jechapita, Jenchaña, Jullulluyoc, Mauras, Maurhuas, Pucamauros, Pucamauros/Tucsa, Ticscho, Tororocsa, Yanamauros Sur. • Volcanes monogenéticos de Huambo: Marbas Grande, Marbas Chico, Llajuapampa. • Volcanes monogenéticos de Quinsachata • Volcanes monogenéticos de Santo Tomás: Curahuata, Finahui, Japi. • Volcanes monogenéticos de Sora: Misahuana-Mauras, Yanamauros.
DORMIDO	• Hualca Hualca, Firura, Sara Sara, Solimana
EXTINTO	• Varias estructuras volcánicas (ver Morche y Fidel, 1997)

En el Cuadro N° 43 se presenta la localización y características de los principales volcanes activos, fumarólicos, latentes y dormidos, con influencia en la Franja N° 2.

Cuadro 43
Volcanes activos, latentes, fumarólicos y dormidos con influencia en la Franja N° 2

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Altura de la estructura volcánica (m)	Estructural/Litología	Características
AMPATO	15° 49'	71° 52'	6 288	1 988	Estratovolcán andesítico	Estratovolcán constituido por una sucesión de flujos de lavas relativamente delgados, cuya cumbre está cubierta por un casquete glaciar permanente. El edificio volcánico es surcado por quebradas y valles glaciares que descienden por los flancos NO y SO.
HUALCA HUALCA	15° 42' 30"	71° 51' 30"	6 025	1 725	Estratovolcán andesítico que presenta una gran caldera de avalancha en forma de herradura en su flanco norte.	Estratovolcán más antiguo y erosionado del complejo volcánico Hualca Hualca, Sabancaya y Ampato. Durante la mayor parte del año su cumbre se encuentra cubierta de hielo y nieve.
VOLCANES MONOGENÉTICOS DE ANDAHUA, HUAMBO Y SORA	15° 15' 30" 15° 52' 14"	72° 06' 42" 72° 29' 40"	3 800 a 2 800	40 a 300	Amplio campo volcánico con aproximadamente 30 conos de escorias y derrames de lavas de composición andesítica y andesítica basáltica.	Pequeños conos de escorias y derrames lávicos de edad holocénica e historia ligados a una actividad principalmente estromboliana y efusiva.
COROPUNA	15° 31'	72° 42'	6 425	1 900	Complejo volcánico andesítico	Complejo volcánico constituido por seis conos volcánicos y domos de lavas, adyacentes entre si. Los conos están constituidos por una sucesión de flujos y derrames lávicos, sobre los que yacen lavas recientes. Su cumbre presenta un gran casquete glaciar.
FIRURA	15° 13' 30"	72° 38' 08"	5 498	798	Estratovolcán andesítico adyacente a dos conos volcánicos pre-pliocenos (volcanes Soncco Orcco y Jahsaya).	Constituido esencialmente por flujos de lava en bloques delgados y extensos. Se distinguen lavas recientes en el flanco sur del edificio volcánico.
SABANCAYA	15° 48'	71° 52'	5 795	1 600	Estratovolcán andesítico	Estratovolcán activo y fumarólico, constituido por una sucesión de flujos y coladas de lavas. Presenta hielo y nieve en su cumbre. Desde mayo de 1990 hasta 1994 presentó una actividad explosiva caracterizada por la emisión de cenizas y alta actividad fumarólica.
SARA SARA	15° 18' 36"	73° 27' 04"	5 505	2 005	Estratovolcán andesítico con domos dacíticos jóvenes.	Presenta lavas emplazadas durante el comienzo del Holoceno. Se observó actividad fumarólica incipiente en 1963?. Presenta una cobertura de nieve y hielo en su cumbre cuya superficie es de 50 km ² .

Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Altura de la estructura volcánica (m)	Estructural/Litología	Características
SOLIMANA	15° 25'	72° 54'	6 093	1 693	Estratovolcán andesítico con una caldera de avalancha en forma de herradura en el lado sur.	Estratovolcán cuyas lavas y depósitos piroclásticos tienen entre 4 y 0,5 Ma. La última etapa eruptiva estuvo caracterizada por erupciones de tipo freática y freatomagmática.
OTROS VOLCANES (CON INFLUENCIA EN EL ÁREA DE ESTUDIO)						
CHACHANI	16° 12'	71° 31'	6 057	3 100	Complejo volcánico	Constituido por tres conos: cerro Nocarane, cerro La Orqueta (complejo de domos) y Chachani (de forma arqueada y el más joven del complejo volcánico). Fuentes termales de Yura y Socosani, que brotan en sus alrededores, pueden evidenciar una leve actividad hidrotermal del sistema magmático.
MISTI	16° 17'	71° 24'	5 825	2 800	Estratovolcán andesítico	Estrato-cono que consiste de flujos de lava cortos y espesos. La parte alta del edificio volcánico es de forma cónica y presenta un relieve accidentado con pendientes mayores a 40°. En la cumbre existen dos cráteres concéntricos alojados dentro de un cono de lava y escorias en forma de media luna. El cráter joven de 550 m de diámetro y 200 m de profundidad está rodeado de escorias negras y presenta un "tapón" andesítico donde tiene lugar una persistente actividad fumarólica.
HUAYNAPUTINA	16°37'	70°51'	4 800	500	Estratovolcán andesítico que presenta un anfiteatro en forma de herradura (2,5 x 1,5 km), abierto hacia el este (río Tambo).	Presentó una gran erupción pliniana en el año de 1600 dC, con consecuencias trágicas en el sur peruano. El volcán está constituido de flujos de lavas e ignimbritas emplazadas durante el Pleistoceno. El edificio volcánico no presenta características típicas de un estratovolcán. Sin embargo consta de una caldera de avalancha en forma de herradura abierta hacia el este, dentro del cual existen 3 cráteres y conos de ceniza localizados a una profundidad de 500 m de la cumbre.
UBINAS	16° 22'	70° 54'	5 672	1 200	Estratovolcán andesítico, de forma cónica, ligeramente alargada de orientación SE-NO.	Considerado como el más activo de los volcanes del sur peruano por haber presentado 23 episodios eruptivos caracterizados por emisiones de cenizas y alta actividad fumarólica desde 1550.

7.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA PLIO-CUATERNARIA EN LA FRANJA N° 2

En este estudio se analiza el vulcanismo reciente sucedido en la Franja N° 2, desde el Plioceno hasta la actualidad, debido a que existe la posibilidad de que cualquiera de los volcanes activos o potencialmente activos existentes en esta franja vuelvan a presentar actividad similar a la presentada en el pasado geológico reciente.

En el Cuadro N° 44 se presentan las características vulcanológicas de los principales volcanes ubicados en la Franja N°2.

En este estudio obviamos al vulcanismo pre-Plioceno que no ha mostrado actividad durante el Holoceno, ni en la época histórica, ya que es inactivo y con muy pocas posibilidades de reactivación. En muchos casos, los aparatos o estructuras volcánicas (domos, calderas, etc.) generadas durante este período están demasiado o completamente erosionados y meteorizados debido a la actividad glaciaria a la que fueron sometidos principalmente en el Pleistoceno. Actualmente no presentan signos de actividad volcánica alguna. Por el gran volumen y extensión de sus depósitos se infiere que sus actividades explosivas debieron ser de gran magnitud, con consecuencias más catastróficas que el vulcanismo del Plio-Cuaternario.

7.2.1 Actividad Eruptiva en la Franja N° 2 sucedida desde el Plioceno hasta el Holoceno

En la Franja N° 2, existen más de 100 estructuras volcánicas del Plio-Cuaternario, entre las que se encuentran estratovolcanes, domos de lava y conos monogenéticos, que conforman la cadena volcánica de los Andes del sur del Perú. La mayor parte de estas estructuras volcánicas se encuentran en un avanzado estado de destrucción a causa de los procesos de alteración y meteorización ocasionados por la actividad glaciaria, ya que en su mayoría se ubican sobre los 4 500 msnm. Además se han reconocido flujos y coladas de lava emplazados mediante sistemas fisurales durante el Pleistoceno superior y Holoceno.

El vulcanismo efusivo y explosivo ocurrido durante el Paleógeno Neógeno hasta la actualidad generó la formación de variadas estructuras volcánicas (conos volcánicos, domos, calderas) y voluminosos depósitos consistentes en flujos de lava, flujos piroclásticos, caída de tefras, lahares y avalanchas de escombros emplazados en áreas aledañas a los centros de emisión. Durante el Plio-Cuaternario se edificaron inmensos estratovolcanes sobrepasando los 5 500 msnm, entre los que se encuentran los volcanes Ampato, Coropuna, Firura, Solimana, Sara Sara, Sabancaya. Según OLCHAUSKY Y DÁVILA (1994), la edificación de los volcanes Coropuna, Firura y Solimana empezó en el Plioceno, cuyas lavas son reconocidas con el nombre de Volcánicos Barroso inferior. La mayoría de los volcanes mencionados anteriormente han presentado actividad eruptiva

hasta hace algunos miles de años, visualizado en la existencia de depósitos de lavas frescas y depósitos piroclásticos (depósitos de caídas y flujos) que yacen en sus inmediaciones, lo cual hace presagiar que nuestros antecesores sufrieron múltiples problemas a consecuencia de estos fenómenos.

Entre los volcanes que han presentado actividad más reciente, es decir durante el Holoceno, figuran los volcanes Ampato, Sabancaya, Coropuna y los volcanes de Andahua, Huambo y Sora, cuyos productos presentan composiciones relativamente básicas (ver Fotos 91 y 92). El volcán Ampato ha presentado actividad explosiva durante el Holoceno, sugerido por la existencia de un depósito de caída pliniana que fue dirigido hacia el lado suroeste. Coladas y flujos de lavas en bloques de considerables espesores y volúmenes, pero de corta longitud y de composiciones relativamente básicas, afloran en los cuadrángulos de Huambo (valles de Andahua, Huambo y Sora), Chivay (al NE del poblado de Chivay), Chulca, Orcopampa y Cailloma. Dicha lavas fueron emitidas mediante sistemas fisurales profundos, durante una esporádica y corta actividad efusiva, ya que no se encuentran conos o aparatos volcánicos en sus centros de emisión.

7.2.2 Actividad Eruptiva Histórica en la Franja N° 2

Se denomina así, a la actividad eruptiva ocurrida desde la llegada de los españoles al actual territorio peruano, ocurrida en 1530.

Los estudios efectuados sobre la actividad histórica de los volcanes activos y latentes de la Franja N° 2 están basados en la recopilación de reportes históricos, encuestas realizadas a pobladores que viven en inmediaciones de los volcanes desde las primeras décadas del siglo XX, en los catálogos "Volcanoes of the world" (SIMKIN & SIEBERT, 1994) y "The active volcanoes of Peru" (PARODI Y HANTKE, 1966) y en trabajos vulcanológicos recientes realizados por investigadores del INGEMMET e IGP. Estos estudios muestran que desde 1550 ciertos volcanes de la Franja N° 2 presentaron episodios eruptivos constituidos en su mayoría, por emisiones de cenizas y alta actividad fumarólica, durante un período relativamente corto. Entre estos volcanes, figuran el Sabancaya, Ampato y volcanes monogenéticos de los valles de Andahua, Huambo y Sora. Los cuales desde el punto de vista de riesgos y amenazas, han causado víctimas y daños, tanto a la agricultura como a la ganadería (muerte de ganado), repercutiendo consecuentemente en la actividad económica a nivel local y regional.

Desde 1986 el volcán Sabancaya empezó a emitir fumarolas, y desde mayo de 1990 hasta 1994, presentó una actividad freatomagmática caracterizada por la emisión de cenizas y gases que viajaron hasta más de 20 km al NE del cráter con dirección al valle del río Colca (GUILLANDE et al., 1992). En épocas históricas, los volcanes monogenéticos de Andahua, sobre todo los volcanes Jenchaña y Chilcayoc que muestran cenizas frescas sobre su superficie, presentaron una leve actividad explosiva de tipo estromboliana (CABRERA y THOURET, 2000). El volcán Ampato probablemente ha presentado actividad

explosiva durante 1784 y 1785 según reportes históricos. Se supone que al igual que los eventos sucedidos, se produjeron algunos eventos históricos adicionales, de los cuales se desconoce información, más aún, aquellos eventos anteriores a 1550, que suponemos fueron más catastróficos que los actuales por los extensos y voluminosos depósitos encontrados en las inmediaciones de los centros volcánicos.

7.3 EVALUACIÓN DE LAS AMENAZAS VOLCÁNICAS EN LA FRANJA N° 2

Los estudios geológicos de campo, la fotointerpretación geológica, los análisis de imágenes de satélite Landsat TM, la recopilación de los registros históricos, sumados a la recopilación bibliográfica de estudios vulcanológicos efectuados en los últimos años, permitieron determinar las amenazas volcánicas potenciales que se ciernen sobre los poblados, obras civiles y terrenos de cultivos que se localizan alrededor de los volcanes plio-cuaternarios de la Franja N° 2. Estas amenazas volcánicas comprenden: caída de tefras y proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, lahares, flujos de lava, oleadas piroclásticas, explosiones laterales dirigidas, amenazas asociadas al crecimiento y destrucción de domos, a las emisiones de gases y a las avalanchas de escombros.

Para evaluar las amenazas y riesgos volcánicos que presentan los principales volcanes activos, latentes y dormidos de la Franja N° 2, se restableció un registro estratigráfico de los productos emitidos por cada uno de ellos, determinando en forma relativa la extensión y área cubierta por sus depósitos y el modo de depositación de tales productos. Para lograr esta información el trabajo geológico de campo fue complementado con la información bibliográfica existente.

Como fuente de referencia para delimitar zonas de amenazas se tomaron las distancias máximas alcanzadas por los depósitos volcánicos y parámetros propios de ellos (máximo grosor y volumen). Desde luego se supone que la próxima erupción que presente cualquier volcán no diferirá mucho de las anteriores y que el área afectada también será similar.

Además, una estimación sobre el estilo eruptivo que experimente cualquiera de los volcanes plio-cuaternarios en una próxima erupción, está basada en la recurrencia de dichos eventos, obtenida de la información histórica y de su comportamiento en el pasado geológico. Dicha estimación se apoya en los ejemplos de erupciones volcánicas recientes, ocurridas dentro de la Zona Volcánica de los Andes Centrales: volcán Sabancaya (GUILLANDE et al., 1992), volcanes Misti y Huaynaputina (THOURET et al., 1997), y Ubinas (RIVERA, 1998), que son correlacionados con los desastres de origen volcánico ocurridos dentro del Continente Sudamericano (TILLING, 1989).

Cuadro N° 44
Características de los volcanes activos, latentes y dormidos ubicados en la Franja N° 2

Nombre	Estructura	Evolución	Estado actual	Erupciones	Riegos	Referencias
Ampato	Estratovolcán andesítico conformado de flujos y domos de lavas, alineados de norte a sur. Sus flancos empinados poseen 45° de inclinación (parte alta) y de 20° a 15° (parte baja del volcán). En su cumbre presenta glaciares y nieve permanente que cubren una superficie aproximada de 8 km ² .	Su última actividad se desarrolló sobre el domo norte (probablemente durante el Holoceno). El Ampato presentó una actividad efusiva lávica anterior al volcán Sabancaya, traducida por la presencia de coladas de lavas andesíticas que se prolongan debajo de las lavas del volcán Sabancaya. Durante el Holoceno presentó una erupción explosiva de tipo pliniana.	Categoría: Latente. Actualmente no muestra ningún tipo de actividad fumarólica o hidrotermal.	Se reporta actividad fumarólica desde 1784 hasta julio de 1785 (?).	Los aproximadamente 30 000 habitantes que viven en los valles que drenan desde el volcán Ampato, especialmente los habitantes de los valles de Siguan y Majes, pueden ser afectados por lahares (riesgo mayor), caída de piroclastos y flujos piroclásticos.	Morche y Fidel, 1997; Guillaude et al., 1992.
Volcanes monogenéticos de Andahua, Huambo y Sora	Campo volcánico constituido por aproximadamente 30 conos de escorias y flujos de lavas en bloques. La mayoría de los conos están bien preservados y ocupan valles tectónicos. Los conos poseen entre 40 y 300 m de alto, con diámetros que varían de 300 m a 1 200 m.	Según la morfología actual y correlacionando con el método de degradación morfológica de los conos de cenizas (método de Wood, 1981), se asume que los conos fueron emplazados sobre flujos de lava del Plio-Pleistoceno durante cuatro etapas: 1) conos con pendientes de 21° a 23°, altura de 88 m y diámetro de 1 040 m, son del Pleistoceno y Holoceno inferior (ejemplo: Cono Mauras); 2) Conos con pendientes de 25° a 28°, altura de 100 m y diámetro de 650 m son del Holoceno medio (ejemplo: Cono Ticsho, datación C14= 4 050 BP). 3) Conos con pendientes de 30° a 31°, altura de 275 m y diámetro de 1 200 m son del Holoceno superior (ejemplo: Paucamauras Grande) y 4) conos con pendientes >31°, con diámetros de 365 m, y 40 m. de altura, podrían ser de edad histórica (ejemplo: Chilcayoc Chico, datación C14= 370 BP).	Categoría: Latentes. Actualmente no muestran ningún tipo de actividad fumarólica y/o hidrotermal.	Se reporta actividad explosiva histórica el 3 de junio de 1913 (?).	En caso de reactivación de cualquiera de estos volcanes, las amenazas y riesgos son principalmente debidos a la caída de tefras y eyección de proyectiles balísticos (durante erupciones estrombolianas), y derrames de lava sobre zonas pobladas, terrenos de cultivo y obras civiles situadas en áreas adyacentes a los conos volcánicos. El más expuesto a estos tipos de amenazas es el valle de Andahua, en donde se ubican los poblados de Andahua, Misahuanca, Huilluco, Soporo, Chachas, Orcopampa y Ayo.	Cabrera y Thouret, 2000; Morche y Fidel, 1997.

Nombre	Estructura	Evolución	Estado actual	Erupciones	Riesgos	Referencias
Coropuna	Complejo volcánico más extenso y alto del Perú que consiste de seis centros de emisión (conos y domos de lava) distribuidos en un área de 20 km x 12 km. La zona más alta (6 733 msnm) está situada al NO del complejo volcánico. El volcán está cubierto por aproximadamente 130 km ² de hielo permanente a partir de los 5 300 msnm., en el flanco norte, y 4 800 msnm en el flanco sur. Sus flancos son surcados por quebradas y valles relativamente profundos en cuyos techos yacen depósitos proluviales y/o lahares. Valles glaciares son visibles en el flanco norte y sur del complejo volcánico en cuyas márgenes se distinguen morrenas laterales que se prolongan hasta 10 km de distancia del nevado.	El Coropuna estuvo activo desde el Plioceno hasta el Holoceno. La más reciente actividad está manifestada por la existencia de flujos de lava en bloques bien preservados que yacen sobre los flancos NE, SE y oeste, y que ocupan valles glaciares y morrenas de aproximadamente 10 000 años de antigüedad. Estas lavas fueron emitidas a partir de dos centros de emisión situados al este y oeste del complejo volcánico durante un corto episodio efusivo. Además en los flancos SE (km 102 de la carretera Chuquibamba-Cotahuasi) y NO (a 8 km al NO de Viraco) del Nevado Coropuna existen dos niveles de cenizas grises (de 8 y 14 cm de espesor) y lapilli de pómez (de 12 cm de grosor) que provienen de caídas piroclásticas (probablemente provenientes de erupciones vulcanianas), y cuyo emplazamiento fue producido antes del Pleistoceno.	Categoría: Latente. Por la cobertura de hielo que presenta, se puede presumir que no existe actividad termal significativa en la cumbre. Sin embargo afloran fuentes termales en la parte baja de los flancos Norte (río Caliente) y Sur del Coropuna cuyas temperaturas varían entre 18 °C y 51 °C.	No hay reportes de actividad eruptiva alguna ocurrida durante la época histórica.	El volcán Coropuna presenta riesgos potenciales debido a la existencia de grandes volúmenes de hielo permanente en su cumbre y la localización de poblados aledaños a su estructura. Una reanudación de su actividad traería consigo esencialmente la ocurrencia de lahares, que serían canalizados por los valles profundos, principalmente distribuidos en el flanco sur, con consecuencias destructoras en los ríos Capiza y Majes. En su recorrido final se encuentran las localidades de Majes con más de 14 000 habitantes y Camaná con más de 20 000 habitantes. Así mismo puede ser afectado el valle del río Ocoña a través del río Chichas. Durante erupciones explosivas moderadas, caídas de teñras afectarían en un radio mayor o igual a 10 km del volcán.	Morche y Fidel, 1997; Nuñez y Valenzuela, 2000.
Firura	Complejo volcánico con estrato-cono central cuya cumbre está situada a 5 498 msnm. Es surcado por quebradas extensas y profundas, en donde además se distinguen domos de lava y numerosos centros de emisiones parasitarios.	El estrato-cono está constituido por una sucesión de flujos y coladas de lavas andesíticas. Durante su historia eruptiva emitió flujos de lava delgados y extensos que alcanzaron varios kilómetros de longitud. Al pie del flanco sur se distinguen flujos de lava recientes, que ocupan valles glaciares y morrenas de menor o igual a 10 000 años de antigüedad, posiblemente ligados a la actividad eruptiva del Firura.	Categoría: Dormiente. Actualmente no existe actividad fumarólica ni fuentes termales en sus inmediaciones.	No hay reportes de actividad en el pasado histórico.	La cumbre del Firura presenta una cobertura de hielo y nieve permanente, en consecuencia durante una reactivación la amenaza mayor es debido a la formación de lahares. Otras amenazas que presenta durante una reactivación sería debido a la formación de flujos y caída de piroclastos que podrían recorrer hacia el cañón del río Cotahuasi y río Atunmayo (NO del volcán). Una erupción no causaría muchos daños debido a que el volcán se encuentra alejado de zonas pobladas.	Morche y Fidel, 1997

Nombre	Estructura	Evolución	Estado actual	Erupciones	Riesgos	Referencias
Sabancaya	Estratovolcán activo y más joven del complejo volcánico Ampato-Sabancaya-Hualca-Hualca. El edificio volcánico está constituido por una sucesión de flujos y coladas de lavas de composición andesítica que cubren una superficie aproximada de 67 km ² . Presenta un domo al sur del cono principal y un cráter activo de aproximadamente 400 m de diámetro situado en la cima de dicho cono. Durante la mayor parte del año presenta un grueso casquete glaciar sobre su cumbre.	Durante su historia eruptiva presentó largos periodos efusivos separados por periodos de quietud e interrumpido por cortos y violentos episodios explosivos, a veces de tipo pliniano. Los episodios eruptivos recientes han sido sobre todo efusivos, emitiendo coladas de lava en bloque mayores de 40 m de grosor y que alcanzaron distancias de hasta 9 km al este del cráter.	Categoría: Activo. Entre diciembre de 1986 y mayo de 1990 el Sabancaya presentó una gran actividad fumarólica. El 29 de mayo de 1990 dicha actividad fue interrumpida por una fase mayor de actividad explosiva de tipo vulcaniana. Las explosiones estuvieron caracterizadas por las emisiones de cenizas y productos balísticos. Columnas eruptivas generadas durante la erupción se elevaron más de 5 km del cráter cuyas cenizas eran dispersadas a más de 10 km al NE. Actualmente presenta ocasionalmente una leve actividad fumarólica.	Se tienen reportes de su actividad ocurrida en los siglos XVIII y XX (1752, 1784-1785, 1981, 1986, 1988, 1990).	Aproximadamente 30 000 habitantes viven dentro de los valles que drenan desde el volcán Sabancaya (en un radio de 30 km alrededor del volcán). Durante las erupciones volcánicas existen riesgos potenciales por caída de tefras, flujos piroclásticos, flujos de lava y lahares. En los valles de Majes y Siguan, los terrenos de cultivo, viviendas y obras civiles sobre todo de irrigación, pueden ser afectados por la acción de los lahares. Las caídas de tefras pueden causar daños en los poblados, ganadería y agricultura como lo ocurrido en la erupción de 1990, en la cual causó la muerte del ganado en áreas adyacentes al volcán, por la contaminación del pasto y emanaciones venenosas.	Huamán et al., 1994; Morche y Fidel, 1997; Guillaude et al., 1992.
Sara Sara	Complejo volcánico andesítico con presencia de domos dacíticos tardíos en su cumbre.	Se distinguen restos de un estrato-cono denominado Paleo-Sara, que fue parcialmente destruido y cubierto por el estratovolcán neo Sara Sara, constituido de depósitos de varias fases explosivas, entre ellos flujos piroclásticos provenientes del colapso de domos. El Sara Sara ha presentado una intermitente actividad explosiva hace menos de 2 Ma.	Categoría: Dormiente. Actualmente la existencia de aguas termales en los ríos Mirmaca (poblado de Pacapausa) y Pararca (Chacaraya) indican una débil actividad hidrotermal del Sara Sara.	Existen comentarios periodísticos acerca de una actividad fumarólica ocurrida en 1963 (?).	Una eventual erupción del volcán Sara Sara representaría una amenaza potencial para aproximadamente 10 000 personas, dada la ubicación de poblados aledaños a su estructura como Pausa, Incuyo, Lampa, Pararca, Quilcata, Marcabamba y numerosos caseríos donde habitan. Las amenazas que presenta son principalmente por caldas piroclásticas (erupciones explosivas), flujos piroclásticos (provenientes del colapso de una columna eruptiva o crecimiento y destrucción de un domo), oleadas piroclásticas y lahares.	Morche y Fidel, 1997, Morche y Nuñez, 1997, Vatin-Pérignon et al., 1992.

Nombre	Estructura	Evolución	Estado actual	Erupciones	Riesgos	Referencias
Solimana	Estratovolcán parcialmente erosionado, constituido de coladas y flujos de lavas e ignimbritas que yacen sobre un basamento constituido de rocas metamórficas del Paleozoico y Precámbrico. Durante su historia eruptiva sufrió reiterados colapsos del flanco sur donde existe una gran caldera de avalancha con domos de lava. Dicha caldera es surcada por quebradas profundas y valles glaciares.	La actividad eruptiva del Solimana se desarrolla desde hace aproximadamente 4 Ma hasta el Holoceno. Es un centro volcánico andesítico-dacítico que muestra al menos tres etapas evolutivas: pre-caldera, post-caldera y una reciente actividad intracaldera de tipo freática y freatomagmática, en donde se emplazaron secuencias de cenizas y escorias de composición andesítica y andesítica basáltica que yacen sobre todo en la parte baja del flanco oeste.	Categoría: Durmiente. Actualmente, la existencia de aguas termales y precipitados de azufre en el flanco sur del volcán (Cahuanota y Yanque) indican una continua actividad de este volcán.	No hay reportes de actividad en el pasado histórico.	El volcán Solimana presenta nieve y hielo durante la mayor parte del año, en consecuencia la amenaza y riesgo mayor durante una erupción es debido a la formación de lahares que serían canalizados por los ríos Arma y Ocoña, así como por el valle del río Cotahuasi con dirección al río Ocoña, provocando graves daños en las riberas de dichos valles. Otras amenazas que presentaría durante una posible reactivación será debido a la caída de piroclastos y formación de flujos piroclásticos y avalanchas de escombros que serían emplazadas en áreas aledañas al volcán.	Morche y Fidel, 1997; Vatin-Pérignon et al., 1992.

En este estudio también se incluye la descripción sobre el tipo de actividad que presentaron los volcanes Misti, Huaynaputina, Chachani y Ubinas, que sin encontrarse ubicados dentro de la Franja N° 2, de suceder una reactivación, podría generar caídas de tefras o flujos piroclásticos comprometiendo áreas de las localidades ubicadas al sur de la parte central de dicha franja, en donde se encuentran localizados los distritos de Imata, San Antonio de Chuca, áreas de pastizales y un buen tramo de la vía férrea Arequipa-Cusco y la carretera asfaltada Arequipa-Cusco.

Todo lo expuesto referente a las amenazas, se refleja en los mapas de amenazas volcánicas presentados en este estudio.

7.3.1 Amenazas Reconocidas en la Estratigrafía

Los estudios geológicos y vulcanológicos, así como la recopilación bibliográfica efectuada permitieron reconocer y diferenciar las distintas estructuras y depósitos volcánicos producidos durante la historia eruptiva de cada uno de los volcanes de la Franja N° 2, los cuales, dependiendo de sus parámetros y efectos provocados, son indispensables en la evaluación de las amenazas.

En los Cuadros N° 45 y 46 se exponen los tipos de amenazas que presentan los principales volcanes activos, latentes y dormidos de la Franja N° 2.

De acuerdo al tipo de actividad eruptiva mostrada durante la evolución de los volcanes y de acuerdo al grado de recurrencia de los eventos se reconocieron cinco tipos principales de amenazas volcánicas en la Franja N° 2, estas son:

Caída de tefras

Durante una erupción explosiva, las tefras son eyectadas a la atmósfera en forma de una columna eruptiva, para luego caer y depositarse en una extensa área de terreno. La altura que alcanzará dicha columna estará en función del tipo de erupción y tasa de emisión. Las tefras, están constituidas de proporciones variables de fragmentos de rocas arrancados del conducto volcánico (líticos accidentales densos de $\sim 2,6 \text{ g/cm}^3$) y materiales juveniles de baja densidad (pómez de $\sim 1 \text{ g/cm}^3$ y escoria de $1,5 - 2 \text{ g/cm}^3$), cuyos tamaños varían desde cenizas hasta bloques y bombas (proyectiles balísticos). Estos materiales en grandes erupciones explosivas se depositan en áreas mayores de 200 km^2 .

Desde el punto de vista de amenazas y riesgos, las tefras pueden causar víctimas y daños a la propiedad, por el impacto de los materiales que caen sobre éstas, formando una capa encima del terreno. Cuanto mayor sea el grosor, el tamaño de los diámetros y la elevada temperatura, más trágicos serán los efectos. La acumulación de las tefras puede

causar que los techos de las edificaciones, centros educativos y centros médicos colapsen, perturban el tránsito y afectan la agricultura y ganadería. La capacidad destructiva de la caída de piroclastos dependerá de su volumen y dispersión, así como de la toxicidad de los gases asociados. Las cenizas y demás productos asociados a erupciones explosivas pueden contaminar el agua destinada al consumo humano y a la agricultura. Los efectos del enterramiento sobre la vegetación es variable; caída de tefras de tamaño mayor de 1 m, liquidarán la mayoría de los tipos de vegetación.

La tefra suspendida en el aire, puede causar serios problemas respiratorios, dañar las maquinarias y perturbar el transporte aéreo.

La principal amenaza que presentan la mayoría de estratovolcanes (Ampato, Coropuna, Solimana, Sara Sara, Sabancaya), volcanes monogenéticos de los valles de Andahua, Huambo y Sora, y los volcanes monogenéticos de Quinsachata y Santo Tomás, localizados dentro de la Franja N° 2, es la posible caída de tefras, ya que la mayoría de ellos presentaron erupciones recientes de tipo explosivo, caracterizadas por las emisiones de tefras y flujos piroclásticos.

Flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos, son nubes secas y calientes que se desplazan al ras de la superficie del suelo, y están compuestos de una mezcla de bloques, bombas, lapilli y cenizas, contenidos dentro de una emulsión de gases que los soportan. Dichos flujos al ser expulsados a la superficie pueden desplazarse a velocidades de 100 a 300 km/hora y cubrir áreas que van de 1 km² a más de 10 000 km² (HOBLITT et al., 1995). Su movimiento es controlado por la fuerza gravitacional e impulsado por la energía inicial adquirida en el momento de la erupción. Tienen por lo tanto tendencia a desplazarse y encauzarse a lo largo de las quebradas y valles situados alrededor de un centro volcánico.

Los flujos piroclásticos cuyas temperaturas varían en un rango de 350 °C a 800 °C, son comunes en la mayoría de las erupciones volcánicas explosivas. Las amenazas y riesgos ligados a los flujos piroclásticos son debido a su alta velocidad, alta densidad y alta temperatura, incluyen asfixia, entierro, incineración y daños a la propiedad.

Los estudios efectuados en la Franja N° 2, muestran que principalmente los volcanes Ampato, Solimana, Sara Sara, Coropuna y en menor grado el Sabancaya, presentan este tipo de amenaza debido a que en el pasado geológico reciente, dichos volcanes presentaron erupciones con emisiones de flujos piroclásticos o ignimbritas que yacen en los alrededores de estos centros volcánicos.

Lahares

Un lahar está compuesto por una mezcla de fragmentos detríticos de origen volcánico con agua que fluye y se origina directa e indirectamente por la actividad eruptiva de un volcán (McPhie et al., 1993). Los lahares pueden ser producidos por la mezcla del agua meteórica y productos piroclásticos, o por el deshielo de nieve debido al emplazamiento de lava o depósitos piroclásticos calientes.

La distancia alcanzada por un lahar depende de su volumen y puede llegar a más de 100 km, incorporando fuentes adicionales de agua. La forma y la gradiente del valle, también contribuirán en el alcance y desplazamiento del lahar; un valle angosto de pendiente pronunciada permitirá que un lahar de un volumen dado avance a una mayor distancia. Los lahares, por su alta densidad y velocidad pueden destruir las estructuras que se encuentran en su trayecto (como puentes, presas, etc.), enterrar poblados, áreas de cultivo, cerrar y desviar canales de agua produciendo inundaciones. En consecuencia, los lahares aparecen asociados a fenómenos volcánicos y constituyen una amenaza.

La mayoría de volcanes situados en la Franja N° 2, como el Ampato, Coropuna, Firura, Hualca Hualca, Sabancaya, Sara Sara, Solimana, presentan este tipo de amenaza, ya que presentan cumbres situadas entre los 5 000 y 5 800 msnm, donde el hielo y nieve permanecen en forma potente (mayor de 6 m de grosor) durante la mayor parte del año. En consecuencia, los productos juveniles calientes, emitidos durante una erupción efusiva y/o explosiva de los volcanes mencionados anteriormente, pueden interaccionar con la nieve y hielo y generar lahares. Los volcanes monogenéticos de Andahua y Huambo, durante una reactivación también pueden presentar este tipo de amenaza, producido por la interacción de tefras y el agua de escorrentía (río Andahua) que fluye por sus inmediaciones. El volumen y distancia a recorrer está en función del volumen del hielo, volumen del material suelto, temperatura del material emitido y pendiente del volcán.

Avalanchas de escombros

Desde la erupción en 1980 del Monte Santa Helena en los EEUU (SIEBERT et al., 1987), se sabe que estratovolcanes con conos muy elevados y pendientes muy pronunciadas están propensos a presentar movimientos en masa, debido al grado de fracturamiento, alteración de sus flancos, poca resistencia del substrato, fuerte actividad sísmica, erupciones y/o crecimientos de domos, que desencadenan el colapso de una parte del flanco y/o de toda la cumbre del volcán. Estos movimientos de masa se encuentran en numerosos estrovolcanes del sur del Perú, como el Chachani, Misti, Hualca Hualca, Ticsani, Tutupaca y Ubinas.

Las avalanchas de escombros, constituyen una de las amenazas volcánicas mayores, puesto que estas avalanchas pueden involucrar más de 2 km³ de material suelto, y se desplazan a más de 100 km/hora y más de 40 km de su fuente o de la cumbre (HOBLITT

et al., 1995). Pueden ocurrir después de varios meses de una actividad sísmica precursora y de deformación, o extrusiva.

En diversos sectores de la Franja N° 2, afloran depósitos de avalanchas de escombros recientes como resultado del colapso de flancos de volcanes o de estructuras volcánicas. Por ejemplo, al norte del volcán Hualca Hualca afloran depósitos de avalanchas de escombros producidos por repetidos colapsos del flanco norte, registrado probablemente durante el Pleistoceno y Holoceno. Los depósitos de avalanchas causaron un represamiento temporal del río Colca. El volcán Coropuna presenta depósitos de avalanchas de escombros antiguos a 12 km al pie del flanco sur, producidos por el colapso de una parte de dicho flanco del volcán. También avalanchas de escombros son reconocidas aguas abajo del río Arma (Salamanca), provenientes de colapsos del flanco sur del volcán Solimana. Otras avalanchas antiguas y de considerable volumen afloran 3 km al sur del poblado de Chivay (departamento de Arequipa), provenientes del extinto volcán Chucuta.

En consecuencia, la ocurrencia de colapsos o derrumbes de flancos de volcanes han sido comunes y frecuentes durante la evolución de los volcanes de la Franja N° 2, por lo que es necesario tener en consideración este tipo de amenaza en una próxima erupción de cualquiera de los estratovolcanes con conos elevados y con fuertes pendientes.

Flujos de lava y domos

Flujos y coladas de lava son emitidos durante erupciones efusivas. Las lavas de composición ácida e intermedia presentan velocidades de efusión que no superan los 5 metros cúbicos por segundo, y raramente se prolongan más de 8 km con respecto al centro de emisión. Mientras que los flujos basálticos pueden llegar a distancias mayores a 12 km desde su fuente (FRANCIS, 1993). Los flujos de lava causarían graves daños por incendio, impacto e incineración, y consecuentemente enterrarían todo lo que encuentren a su paso. En cualquier caso, los flujos de lava rara vez amenazarían la vida de los pobladores por que les daría tiempo para evacuar la zona.

Por otro lado, un domo se forma cuando la lava que asciende por una chimenea es demasiado viscosa para fluir más de unas decenas o cientos de metros, de tal modo que el movimiento principalmente es hacia el centro del domo (FRANCIS, 1993). Los extremos vienen a ser inestables, pudiendo colapsar y dar lugar a la formación de flujos piroclásticos o explosiones laterales dirigidas por despresurización del domo. La mayor amenaza asociada a domos de lava radica en estos fenómenos. Los flujos piroclásticos pueden producirse de manera repentina y desplazarse a velocidades mayores de 50 m/s a distancias mayores a 20 km de su fuente (MILLER, 1989).

Todos los estratovolcanes, al igual que algunos conos monogenéticos existentes en la Franja N° 2, durante su historia evolutiva han emitido flujos de lava de diversos tipos y composiciones. Además, flujos de lavas recientes emitidos desde sistemas fisurales son

encontrados en los cuadrángulos de Cailloma, Orcopampa y Chulca, donde llegan a tener de 40 a 100 m de alto (grosor total), con volúmenes menores de 1 km³. Dichas lavas en su mayoría son de composición andesítica y andesítica basáltica, recorrieron más de 1 km de distancia. Por otro lado, flujos de lava del Holoceno, emitidos a partir de conos volcánicos son encontrados en los volcanes Sabancaya, Coropuna y conos monogenéticos de Huambo, Sora y Andahua. Estas lavas emitidas durante cortos episodios efusivos son poco voluminosas a excepción del volcán Sabancaya, en donde recorrieron aproximadamente 9 km hacia el este del volcán.

Entre los volcanes que presentan amenazas debido a flujos de lava, se encuentran principalmente los volcanes Sabancaya, Ampato y Coropuna, por que muestran lavas emitidas en una muy reciente actividad eruptiva (Holoceno).

Por otro lado, los domos de lava emplazados durante el Plio-Pleistoceno afloran en diversos sectores altoandinos de la Franja N° 2.

7.3.2 Amenazas No Reconocidas dentro de la Estratigrafía

En base a la estratigrafía reconocida en las inmediaciones de los volcanes, se hizo la evaluación de las amenazas y riesgos volcánicos potenciales. Sin embargo, se debe tener en cuenta, que un volcán presenta un comportamiento variado durante su evolución geológica. En consecuencia, los volcanes de la Franja N° 2, probablemente en el futuro presenten otros tipos de eventos eruptivos o fenómenos asociados a ellos, los cuales no fueron registrados dentro de la estratigrafía volcánica. Además, no se puede predecir con certeza qué tipo de actividad eruptiva se va a producir en el futuro o cuán grande va a ser dicha erupción. Por lo que se hace necesario, hacer estimaciones e inferencias sobre posibles eventos que puedan suscitarse en el futuro. Estas estimaciones están basadas en datos de erupciones recientes que presentaron volcanes similares existentes en la Zona Volcánica de los Andes Centrales (ZVAC).

Entre los eventos no reconocidos en la estratigrafía se encuentran:

Oleadas piroclásticas

Las oleadas piroclásticas están constituidas por cenizas, polvo y gases calientes, los cuales son en muchos casos, más movibles con respecto a las ignimbritas. Las oleadas son flujos diluidos de baja densidad, que tienen más de 100 °C de temperatura, y pueden traspasar barreras topográficas y cubrir altos cerros o cumbres. Generalmente se producen durante las explosiones muy violentas de un volcán, con características freatomagmáticas. Las oleadas están poco confinadas a la topografía del terreno y se desplazan a velocidades de 20 y 50 m/s, pueden alcanzar varias decenas de kilómetros desde su centro eruptivo.

Los daños que causan son debido al enterramiento, asfixia, intoxicación por gases, etc. Estos tipos de depósitos son poco frecuentes en las inmediaciones de los centros volcánicos. Algunos de ellos son distinguibles al norte del volcán Solimana y pertenecen a la actividad explosiva de este volcán, sucedida probablemente en el Holoceno.

Explosiones laterales dirigidas (“blast”)

Las explosiones laterales dirigidas, son fenómenos complejos que comparten características de flujos y oleadas piroclásticas. Pueden afectar amplios sectores de un volcán de hasta 180° alrededor del cráter y alcanzar distancias de algunas decenas de kilómetros. Un ejemplo ocurrió en 1980 en el volcán Monte Santa Helena en EEUU, donde un cuerpo magmático en crecimiento provocó el “hinchamiento del volcán”, y un sismo generó avalancha de escombros, consecuentemente se despresurizó el cuerpo magmático, produciéndose una explosión lateral dirigida. Los depósitos de avalancha y los flujos piroclásticos generados por dicha explosión viajaron alrededor de 28 km del cráter (DECKER & DECKER, 1989). Este proceso se produce generalmente en estratovolcanes que presentan conos alterados, elevados y con fuertes pendientes, donde virtualmente todo indicio de vida sobre el suelo es aniquilado y todas las estructuras son destruidas por la fuerza, impacto, abrasión, enterramiento y calor del flujo.

Las explosiones laterales, han sido poco comunes en la historia eruptiva de los volcanes situados dentro de la Franja N° 2. Aunque no se descarta que en el futuro pueda presentarse este proceso, ya que ocurren en estratovolcanes calco-alcalinos que muestran lavas viscosas y elevado contenido de volátiles, así como flancos alterados e empinados. Estos tipos de fenómenos pueden presentar los volcanes Sabancaya, Ampato, Sara Sara.

Emisiones de gases

La mayoría de estratovolcanes calco-alcalinos del continente americano ligados a procesos de subducción, emiten gases que consisten mayormente en vapor de agua, dióxido de carbono y compuestos sulfurosos. En menor cantidad, monóxido de carbono, cloro, flúor, boro, compuestos de amonio y otros (HOBLITT et al., 1995). Los gases representan una amenaza para los ojos y el sistema respiratorio de personas y animales.

Una emisión de gases tóxicos durante la reactivación de cualquiera de los volcanes de la Franja N° 2, provocaría la muerte de personas y animales que habitan en las partes bajas de los flancos por asfixia e intoxicación, siempre y cuando la concentración y volumen sean elevados.

Sismos volcánicos

La actividad sísmica ligada a procesos volcánicos puede causar daños en las edificaciones u obras civiles, localizadas en áreas aledañas a un volcán en actividad, mediante la formación de rajaduras en sus estructuras.

Los sismos de origen volcánico producido por cualquiera de los volcanes situados en la Franja N° 2, probablemente tendrían magnitud baja, por lo cual hacen poco probable los daños materiales y casi nula la posibilidad de pérdidas humanas. El peligro mayor radicaría en la actividad sísmica prolongada que podría desestabilizar los glaciares y terrenos inestables en áreas aledañas, provocando derrumbes y/o deslizamientos, generando flujos de escombros o lahares que nacen en el nevado y que afectarían áreas cercanas a los cauces.

Ondas de choque

Las ondas de choque, surgen durante determinadas erupciones explosivas debido a la descompresión que existe entre el interior y el exterior del volcán, lo que genera el desplazamiento repentino de masas de aire que se alejan de manera concéntrica desde el punto de erupción. La fuerza de la onda de choque disminuye a medida que se aleja de su centro de emisión (MONSALVE, 1997). Este fenómeno puede traer consigo volcamiento de los árboles, ruptura de vidrios, lanzamiento repentino de personas, etc.

El desplazamiento de las ondas de choque va a depender del tipo de erupción y de las barreras topográficas que existan alrededor del centro volcánico. Si cualquiera de los estratovolcanes situados en la Franja N° 2, presentara dicho fenómeno, áreas pobladas localizadas en inmediaciones de los volcanes podrían verse afectadas, sobre todo aquellas cuyas viviendas están construidas de material rústico, débilmente resistente y/o de fácil destrucción.

Cuadro N° 45
Amenazas por caídas de tefras, flujos piroclásticos y avalanchas de escombros

Volcán	Por caída de tefras y/o eyecciones balísticas	Por flujos piroclásticos	Por avalanchas de escombros	Referencias
AMPATO	En el caso de la ocurrencia de una erupción explosiva en el volcán Ampato, es más probable que puedan producirse caída de tefras que afecten poblados localizados en los valles de río Pichirjima y Siguan (situados al sur y SO del volcán) y en el valle del río Colca (al N del volcán), áreas de cultivo, línea de transmisión eléctrica Mantaro-Socabaya e importantes obras civiles, como el canal de irrigación Majes que pasa por el oeste del volcán. El daño que ocasionará a la propiedad está en función al tipo y magnitud de la erupción. El Ampato durante una de sus últimas erupciones explosivas registradas en el Holoceno depositó una capa de lapilli de pómez de 80 cm de grosor a 25 km al oeste del cráter.	En una gran erupción explosiva pueden producirse flujos piroclásticos que se canalizarían por las quebradas y valles que surcan los flancos SO, sur, SE y este del volcán Ampato con dirección al río Pichirjima, prolongándose hasta el valle de Siguan, en donde se convertirían en lahares, es decir en flujos más diluidos y móviles. Durante su recorrido ocasionarían daños sobre propiedades ubicadas en ambas márgenes de dicho valle. Si los flujos fueran bastante fluidos y voluminosos probablemente también se desplazarían hacia el NE, con dirección al valle del río Colca.	Avalanchas de escombros pueden producirse debido al derrumbe o colapso de los flancos SE, Oeste o Norte del volcán, ya que las lavas de estos flancos se encuentran parcialmente alteradas e hidrotermalizadas. Un colapso de flanco puede ser influenciado por una gran erupción explosiva, un movimiento gravitatorio debido a la poca resistencia del basamento sedimentario (Grupo Yura), o por inestabilidad de flanco.	
COROPUNA	Durante una eventual erupción explosiva los productos iniciales emitidos serían constituidos principalmente de tefras. Dependiendo de la estación climatológica: en la época seca (abril-noviembre) las tefras influenciados por los vientos, tenderán a viajar hacia el NO y en época de lluvia (diciembre-marzo) hacia el SE. Según la magnitud de la erupción las tefras van a caer en áreas aledañas y/o lejanas al centro de emisión. Durante erupciones moderadas (vulcanianas o freatomagmáticas) pueden caer en un radio aproximado de 12 km alrededor del centro de emisión, y durante erupciones de gran magnitud (plinianas) pueden caer a más de 50 km. Hipótesis basada en distancias alcanzadas por tefras provenientes de erupciones plinianas recientes ocurridas en el sur peruano. Además durante dichas erupciones pueden ser emitidos productos balísticos que caerían en áreas aledañas al volcán. Este tipo de fenómeno es por naturaleza impredecible y difícil de evitarlo; una medida de mitigación a seguir sería la evacuación de la población antes de que ocurra el proceso.	En caso de una erupción explosiva del volcán Coropuna es probable que puedan producirse flujos piroclásticos. Por su alta temperatura y movilidad serían altamente destructivos, y pueden ocasionar incineración, asfixia, entierro y abrasión de todo lo que encuentren en su paso. Durante erupciones plinianas se prevé que tendrían un radio de influencia mayor o igual a 25 km, alrededor del volcán. Están sobre todo sujetos a este tipo de amenaza los poblados, terrenos agrícolas y obras civiles situados al Sur del volcán Coropuna. Esta hipótesis está basada en la existencia de ignimbritas recientes que yacen a 20 km al SO del volcán (quebrada Escalera y río Blanco), en donde alcanzan espesores de hasta 3 m. También en el valle del río Llacllajo (carretera Viraco-Tipán) donde existen ignimbritas que alcanzan hasta 8 m de espesor.	Durante una erupción explosiva o el crecimiento de un domo dentro del volcán Coropuna puede producirse el colapso de uno de sus flancos generando depósitos de avalanchas de escombros. Estos depósitos si provienen del colapso del flanco Sur pueden ocasionar daños en varios poblados y terrenos de cultivo situado en la parte baja de dicho flanco donde se localizan los poblados de Viraco, Pampacolca, Llato, Tipán, entre otros. Esta hipótesis está basada en la existencia de depósitos de avalancha de escombros de aproximadamente 80 m de espesor que yacen a 20 km al Sur (poblado de Pampacolca e inmediaciones del poblado de Tagre) y SE (sector de Yactana) del volcán Coropuna.	Núñez y Valenzuela, 2000.

Volcán	Por caída de tefras y/o eyecciones balísticas	Por flujos piroclásticos	Por avalanchas de escombros	Referencias
SABANCAYA	Según el tipo de actividad mostrado durante su última crisis (1990-1994) y su comportamiento eruptivo pasado, existen dos escenarios eruptivos posibles: 1) un dinamismo vulcaniano o freatomagmático que daría lugar a la formación de una columna eruptiva poca elevada (entre 5 y 20 km de altura), constituido por productos piroclásticos y cuyo volumen sería $< 1 \text{ km}^3$. Estos productos se depositarían en una superficie poca extensa ($\approx 100 \text{ km}^2$). 2) Dinamismo subpliniano o pliniano que generaría una columna eruptiva muy elevada ($\approx 20 \text{ km}$), con productos voluminosos ($> 1 \text{ km}^3$) y sobre una región que excede 1000 km^2 . Los productos consistirían de lapilli, con grosores aproximados de 10 m a 20 m cerca al cráter, de 2 m a 10 km y 40 cm a 60 km del cráter. Mientras que las cenizas y el polvo podrían sobrepasar 300 km en la dirección del viento dominante (hacia el NE o SO, según las estaciones). Hipótesis basada en la erupción de 1990 y en erupciones históricas presentada por los volcanes Ubinas y Huaynaputina.	Flujos piroclásticos pueden producirse en caso de la ocurrencia de erupciones vulcanianas, freatomagmáticas, plinianas y/o por el crecimiento y destrucción de domos. Los flujos piroclásticos dependiendo del tipo de erupción y volumen del magma emitido pueden recorrer grandes distancias y traspasar los controles topográficos. Dichos flujos en su mayoría serían canalizados en las quebradas y valles que surcan los flancos SE, SO (con dirección al valle de Sigüas), NE y NO del volcán (con dirección al valle del río Colca), afectando poblados, terrenos de cultivo y obras de infraestructura situados en áreas aledañas al volcán. Por su alta temperatura causarían incineración, asfixia, entierro y abrasión de todo lo que encuentran a su paso.	Avalanchas de escombros, pueden producirse por el derrumbe o colapso de cualquiera de los flancos SE, oeste, este, y/o eventualmente el flanco norte del volcán debido a la existencia de rocas fracturadas, por inestabilidad de flanco o debido a una gran erupción explosiva. Las avalanchas probablemente serían de poco volumen ya que la parte superior del cono volcánico es poco alterado y fracturado. En consecuencia la distancia a recorrer por las avalanchas sería mínima, sin embargo considerando la cantidad de nieve y hielo que permanece en la cumbre del volcán, los lahares derivados de dicho evento pueden canalizarse y desplazarse en las quebradas, a mayor distancia.	Guillande et al., 1992
SARA SARA	En una eventual erupción explosiva del Sara Sara pueden producirse caídas de tefras en zonas aledañas al volcán. En caso de producirse una erupción pliniana las tefras serían lanzados al aire cubriendo más de 40 km de distancia alrededor del volcán, basado en la existencia de un depósito de caída de lapilli de pómez que yace a 25 km al sur del Sara Sara, en donde mide 1,20 m de grosor. Durante erupciones moderadas (vulcanianas) los productos emitidos serían de menor diámetro y recorrerían menor distancia. Las tefras pueden causar víctimas y daños a la propiedad por el impacto de los materiales que caerían sobre éstas, formando una capa encima del terreno. La acumulación de las tefras puede causar que los techos de viviendas colapsen, perturben el tránsito, afecten la agricultura y ganadería, y contaminen el agua destinado al consumo humano. Cuanto mayor sea el espesor del depósito, el tamaño de los diámetros y la elevada temperatura, más trágicos serán los efectos. Entre los poblados que podrían ser afectados por dicho fenómeno se encuentran: Quilcata, Pararca, Pausa, Lampa y otros.	Flujos piroclásticos pueden ser originados por el colapso de una columna eruptiva (durante una erupción pliniana o freatomagmática) o por el crecimiento y derrumbe de domos. Estos flujos se desplazarían por las quebradas que descienden de los flancos norte, este, SO, oeste y/o NE (meseta de Pausa) del volcán. Por su alta temperatura y alta velocidad serían muy destructores, produciendo enterramiento, quemaduras, asfixia, impactos, abrasión, etc., de todo lo que encuentren a su paso. Esta hipótesis sobre la ocurrencia de flujos piroclásticos está basada en la existencia de depósitos de flujos de pómez y cenizas en capas de 1 a 3 m de grosor que yacen en las quebradas Mirmaca, Putaca y Añazo (flancos norte, oeste y este del volcán, respectivamente).	Avalanchas de escombros pueden originarse si se produce el derrumbe de cualquiera de los flancos del volcán, sobre todo del flanco este, que es el más alto, y con pendiente más pronunciada, debido a una erupción volcánica o el crecimiento de un domo de lava. Esta hipótesis se basa en la existencia de depósitos de avalancha de escombros a 11 km al NE del volcán (inmediaciones del poblado de Pausa) ligados a la actividad eruptiva del Sara Sara.	Morche y Nuñez, 1997.

Volcán	Por caída de tefras y/o eyecciones balísticas	Por flujos piroclásticos	Por avalanchas de escombros	Referencias
SOLIMANA	Durante una eventual erupción explosiva del Solimana se producirían caídas de tefras que afectarían centros poblados, terrenos de cultivo y pastizales, y obras de infraestructura localizados alrededor del volcán, sobre todo de aquellos situados en la parte baja de los flancos SO (valles del río Chichas y Ocoña) y Norte del volcán (valle del río Cotahuasi). La caída de tefras provocará daños y víctimas por el impacto de los materiales que caen sobre estas, formando una capa sobre el terreno. La acumulación de las tefras puede causar que los techos de las edificaciones colapsen, perturben el tránsito, afecten la agricultura y ganadería, y contaminen el agua destinada al consumo humano. Las tefras, entre ellos los productos balísticos y los lapillis por ser pesados y de mayores diámetros caerían en áreas cercanas, mientras que las cenizas y el polvo pueden viajar hacia mayores distancias influenciados por los vientos. En época seca (abril-noviembre) las tefras pueden viajar hacia el NO y/o en época de lluvia (diciembre-marzo) hacia el SE.	Flujos piroclásticos pueden ser originados por el colapso de una columna eruptiva (durante una erupción pliniana o freatomagmática) o por el crecimiento y derrumbe de domos. Los flujos generados se desplazarían por las quebradas que descienden principalmente de los flancos SO, sur y norte del volcán. Por su alta temperatura y movilidad serían muy destructores, produciendo enterramiento, quemaduras, impactos y abrasión, de todo lo que encuentren a su paso. Se encuentran amenazados por este fenómeno poblados localizados en los valles del río Chichas y Ocoña, así como poblados que se asientan en ambas márgenes de las quebradas que descienden del flanco norte, con dirección al valle del río Cotahuasi.	Durante su historia eruptiva el volcán Solimana ha presentado varios colapsos de su flanco sur. En una próxima erupción del volcán Solimana es probable que pueda producirse el colapso de una parte de su estructura, ya que esta se encuentra fracturada, parcialmente erosionada e hidrotermalizada. Si se produjera este proceso, los depósitos resultantes se canalizarían por el flanco sur con dirección al valle del río Chichas y Ocoña, en donde se convertirían en lahares. Las avalanchas durante su emplazamiento causarían destrucción de la propiedad y de todo lo que encuentre a su paso, así como un cambio de la topografía.	
VOLCANES MONOGENETICOS DE ANDAHUA, HUAMBO Y SORA	En una reactivación de cualquiera de los volcanes situados dentro de los valles de Andahua, Huambo y Sora se produciría principalmente la emisión de tefras y productos balísticos durante una actividad netamente estromboliana o freatomagmática. Según la naturaleza de las erupciones estrombolianas, las tefras serían emitidas a corta distancia (pocos kilómetros con respecto al centro de emisión) y en poco volumen. En el valle de Huambo, la amenaza por reactivación es de mediano a largo plazo (decenas a centenas de años). Sin embargo en el valle de Andahua, la amenaza por reactivación es de corto a mediano plazo (decenas de años), debido a la existencia de tefras y productos balísticos de edad histórica. Están sujetos a este tipo de amenaza los poblados de Andahua, Ayo, Chachas, Orcopampa, Sopor, entre otros; así como terrenos de cultivo y obras civiles (carreteras y línea de transmisión eléctrica Mantaro-Socabaya).			Cabrera y Thouret, 2000.

Cuadro N° 46
Amenazas por flujos de lava, domos de lava, lahares y explosiones laterales dirigidas

Volcán	Por Flujos de lava	Por Domos de lava	Por Lahares	Por Explosiones laterales dirigidas	Referencias
AMPATO	El volcán Ampato ha presentado una actividad efusiva durante el Plio-Pleistoceno, emitiendo lavas andesíticas y dacíticas, cuyo recorrido máximo fue de 6 km, alrededor del volcán. En una eventual erupción efusiva, pueden ser emitidos flujos de lavas que se desplazarían por las laderas del volcán para luego canalizarse por las quebradas que surcan el estratocono. Es decir, por las quebrada y valles de los flancos SE y SO, hasta una distancia aproximada de 6 km. Esta hipótesis se basa en la distancia recorrida por los antiguos flujos de lavas que forman el cono volcánico. El peligro que ocasionarían los flujos de lava se manifiesta por el daño parcial o total debido al enterramiento e incineración de terrenos de cultivos, áreas de pastizales que encuentren a su paso.	En el volcán Ampato puede producirse el crecimiento y destrucción de un domo de lava, probablemente en el flanco norte, el cual puede generar flujos de bloques y cenizas que pueden desplazarse por los flancos del volcán. El trayecto a seguir por los flujos está en función del lugar de emplazamiento del domo. Igualmente el crecimiento de un domo puede ocasionar el colapso de una parte del volcán. Entre los peligros inmediatos ligados a este proceso, está la generación de avalanchas de escombros que pueden desplazarse por la parte baja de los flancos SE, S y SO del volcán hasta más de 10 km de distancia.	Lahares pueden producirse durante una actividad eruptiva debido a la interacción de productos calientes emitidos y el hielo y nieve que permanece en la cumbre del volcán durante todo el año. También lahares pueden producirse sin actividad eruptiva durante épocas de lluvia debido al desprendimiento de masas de hielo, pero serían de menor volumen. Los lahares producidos por cualquier tipo de proceso se canalizarían por los flancos S, SO, NE y NO del volcán. La distancia alcanzada por los lahares está en función del tipo de erupción o evento que lo produzca y estación del año. Lahares producidos durante erupciones plinianas pueden alcanzar más de 30 km del volcán incorporando fuentes adicionales de agua. En las quebradas de los flancos SE (a 9 km del cráter) existen espesas secuencias de lahares (> 5 m) producidas durante épocas de lluvia.	En el volcán Ampato puede ocurrir una explosión lateral dirigida debido al crecimiento y despresurización de un domo de lava. Aunque durante su historia eruptiva el Ampato no ha presentado este fenómeno es necesario tener en consideración este tipo de amenaza que se produce en estratovolcanes con conos elevados y de pendientes fuertes.	

Volcán	Por Flujos de lava	Por Domos de lava	Por Lahares	Por Explosiones laterales dirigidas	Referencias
COROPUNA	El volcán Coropuna ha presentado una actividad efusiva reciente, probablemente durante el Holoceno, emitiendo coladas de lavas andesíticas, a partir de tres centros de emisión cuyo recorrido fue de 8,5 km. Antiguos flujos de lava emitidos por el Coropuna, antes del Pleistoceno, afloran hasta 24 km de distancia del volcán (SO del poblado de Pampacolca y margen izquierda del río Llaclajó). Durante una erupción efusiva pueden ser emitidos flujos de lavas que se desplazarían por las laderas para luego canalizarse principalmente por las quebradas del flanco sur (Cosponja, Buena Vista, Tastane y Tualiqui); pudiéndose prolongar hasta los poblados Pampacolca y Viraco. Los efectos que ocasionarían los flujos de lava se traducen por el daño parcial o total debido al enterramiento e incendio de todo lo que encuentra a su paso. De producirse este fenómeno las zonas que podrían ser afectadas comprenden poblados, áreas de cultivos, obras civiles que se encuentran localizados cerca al nevado, sobre todo en el flanco sur. Además la emisión de lavas puede ocasionar la fusión de una parte del casquete glaciar el cual produciría lahares que serían más peligrosos que las lavas.	Dentro del complejo volcánico Coropuna puede crecer un domo, el cual puede derrumbarse y dar lugar a la formación de flujo de bloques y cenizas (nubes ardientes) que podrían expandirse sobre los flancos del volcán para luego canalizarse, por las quebradas recorriendo distancias mayores a 5 km. Las quebradas por donde serían canalizados los flujos dependen del lugar de la surgencia del domo. Los flujos piroclásticos generados pueden afectar terrenos de cultivo y pastizales, poblados aledaños al volcán, y obras de infraestructura. Esta Hipótesis se basa en la existencia de domos de lava en la cumbre del complejo volcánico. Por otro lado, el crecimiento de un domo puede generar el colapso parcial de un flanco del volcán, produciendo avalanchas de escombros, que dependiendo del flanco afectado, pueden afectar poblados, terrenos de cultivo y obras civiles.	En una posible actividad del volcán Coropuna, lo más probable es que se produzcan lahares por la fusión de la nieve y hielo que existen en la cumbre del volcán, estas descenderán por las quebradas arrastrando todo el material suelto que se encuentren sobre los lechos. Las quebradas en sus nacientes poseen pendientes fuertes (> 30°), pasando luego a pendientes suaves (<10°), en una distancia relativamente corta lo que impulsaría a los lahares a viajar distancias muy largas. En la margen izquierda del río Llaclajó y río Tastane, se observan secuencias de lahares de hasta 15 m de espesor pertenecientes a la actividad del Coropuna. Los lahares pueden desplazarse por las quebradas Buena Vista, Cosponja, Tualiqui y el río Tastane (flanco sur), los cuales forman parte de las nacientes del río Majes. En las riberas de estos ríos se localizan los poblados de Viraco, Machahuay, Pampacolca, Tipán, Aplao, y otros caseríos. El problema se ahondaría durante grandes erupciones explosivas, pues la distancia probable que llegaría el lahar en el lado sur, sería hasta el río Majes y posteriormente hasta la Costa, afectando a todos los poblados que se encuentran a lo largo del valle de Majes. En el flanco norte, los lahares podrían llegar hasta el río Atunmayo y río Arma, afectando a pequeños caseríos como Maucallacta.	El Coropuna puede presentar una explosión lateral dirigida la cual afectaría grandes áreas de terreno aledaños al volcán, en una superficie aproximada de 600 km ² . Los productos emitidos durante dicha explosión pueden desplazarse a velocidades extraordinarias de hasta 100 m/s y traspasar los rasgos topográficos. Por lo observado en el registro estratigráfico de este volcán no se tienen evidencias de este tipo de fenómeno.	Núñez y Valenzuela, 2000.

Volcán	Por Flujos de lava	Por Domos de lava	Por Lahares	Por Explosiones laterales dirigidas	Referencias
SABANCAYA	El Sabancaya en una posible actividad efusiva emitiría flujos de lavas, que se canalizarían sobre todo por las quebradas que surcan los flancos este, oeste, SE, SO, NE y NO del cráter vivo. Las composiciones de los tipos de lava, serían similares a las presentadas durante el pasado geológico. La distancia a recorrer de los flujos lávicos, están en función de la tasa de emisión y pendientes de los flancos del volcán, alcanzando probablemente una distancia menor a 10 km. Esta hipótesis se basa en la distancia alcanzada por flujos de lava antigua, que forman el estrato cono y lavas recientes (probablemente del Holoceno), de 18 m de grosor a 9,5 km al este del volcán.	En el volcán Sabancaya puede crecer un domo, que en el curso de su crecimiento, puede derrumbarse y dar lugar a la formación de flujos de bloques y cenizas que se emplazarían alrededor del edificio volcánico, recorriendo distancias mayores a 6 km del volcán. Las amenazas y riesgos ligados a flujos piroclásticos, debido a su alta velocidad, y alta temperatura, incluyen asfixia, entierro e incineración. Estos afectan las poblaciones y terrenos de pastizales situados en áreas aledañas al volcán, sobre todo en el flanco NO, donde se localizan los poblados de Maca, Achoma, Ichupampa, Lari, entre otros.	Pueden producirse lahares durante con o sin actividad eruptiva (interacción de los productos juveniles calientes y el hielo que permanece en la cumbre del volcán). Se encuentran sobre los lechos. La distancia a recorrer por los lahares, está en función del tipo de erupción, época del año y cantidad de hielo y nieve disponible en la cumbre del volcán. Posiblemente alcancen una distancia mayor a 15 km del cráter. Entre los poblados amenazados por dicho proceso, se encuentran: Achoma, Maca, Yanque, Ichupampa; Cabanaconde; localizados en la parte baja del flanco NE y los poblados localizados en las cabeceras del río Sigas.	El crecimiento de un domo dentro del Sabancaya, puede dar lugar al colapso de una parte del volcán y a la consecuente despresurización y ocurrencia de una explosión lateral dirigida con emisiones de flujos de cenizas y pómez, que viajarían a más de 10 km al SE, NE y NO del volcán, existiendo amenazas y riesgos en los valles del Colca y Sigas. Esta hipótesis se basa en la erupción ocurrida en el estratovolcán Santa Helena en 1980 (EEUU).	Guillen et al, 1992.
SARA SARA	En una posible actividad efusiva del volcán Sara Sara serían emitidos flujos de lavas de composición dacítica y/o andesítica, cuyo desplazamiento a través de las laderas sería muy lento, cubriendo grandes extensiones para luego canalizarse principalmente por las quebradas que surcan los flancos norte, este y SO. Estas lavas por su naturaleza presentarían altas temperaturas de hasta 900 °C por lo cual pueden causar graves daños por incendio, incineración y enterramiento de todo lo que encuentren a su paso. En cualquier caso los flujos de lava rara vez amenazarían la vida de los pobladores por que les daría tiempo para evacuar la zona. Las lavas pueden desplazarse a más de 6 km del volcán, basado en la distancia recorrida por los flujos de lava que forman el edificio volcánico.	En el Sara Sara puede producirse el crecimiento y posterior derrumbel de domos de lava, debido a que en el pasado geológico reciente dicho volcán ha presentado el mismo fenómeno, generando depósitos de bloques y cenizas depositados en la parte baja de los flancos SE, SO y oeste. Estos depósitos de bloques y cenizas generados durante dicho proceso pueden desplazarse por los flancos del volcán, alcanzando distancias mayores a 6 km de la cumbre. Estos flujos por su alta temperatura y movilidad pueden afectar los poblados de Pausa, Quilcata, Pararca, Acoquipa y demás caseríos aledaños al Sara Sara.	En una erupción del volcán Sara Sara los productos juveniles emitidos pueden interaccionar con la nieve y hielo que existe en la cumbre del volcán, durante la mayor parte del año, entre 5 200 y 5 505 msnm, produciendo lahares o flujos de barro que descenderían principalmente por las quebradas y valles que se encuentran en la parte baja de los flancos este, NE, oeste y SO del edificio volcánico. Los lahares pueden alcanzar velocidades extraordinarias, provocando procesos de abrasión y/o enterramiento de materiales que encuentren en su paso, así como inundaciones. En las quebradas Ushpamarca y Mirmaca (flanco NE del volcán), los lahares han tenido un recorrido mayor de 15 km, y a lo largo del valle del río Huanca Huanca y Uchubamba han tenido mayor recorrido. Lahares son también encontrados en las inmediaciones de Pausa, Lampa y Quilcata.	Aunque el Sara Sara durante su historia eruptiva no ha presentado una explosión lateral dirigida, es necesario considerar un escenario eruptivo que considere la ocurrencia de dicho proceso, el cual produciría flujos piroclásticos muy diluidos, móviles y calientes, que se desplazarían a algunas decenas de kilómetros sobre la superficie, sin obedecer el control topográfico existente. En consecuencia existen importantes poblados, terrenos de cultivo y obras civiles situados alrededor del volcán Sara Sara amenazados por dicho proceso.	Morche y Núñez, 1997.

Volcán	Por Flujos de lava	Por Domos de lava	Por Lahares	Por Explosiones laterales dirigidas	Referencias
SOLIMANA	En una muy poca probable actividad efusiva del estratovolcán Solimana pueden generarse flujos de lava que serían viscosos y se desplazarían a corta distancia del centro de emisión, siguiendo las laderas y quebradas que surcan al volcán. La distancia alcanzada por los flujos no superaría los 14 km desde el centro de emisión, basado en la distancia alcanzada por los flujos que conforman el edificio volcánico. En consecuencia los daños que ocasionarían a los poblados y terrenos de cultivo serían mínimos por la ubicación relativamente alejada de éstos y por que daría tiempo para evacuar la zona. Un peligro mayor asociado a la generación de flujos de lava sería la formación de lahares, debido a la interacción de estos con la nieve que permanece en la cumbre del volcán.	En el volcán Solimana es probable que se produzca el crecimiento de domos, ya que este tipo de proceso se ha dado a lo largo de su historia eruptiva reciente. Los peligros inmediatos asociados al crecimiento de domos sería la formación de flujos piroclásticos debido al derrumbes de éstos. Los flujos descenderían por las quebradas que surcan el volcán, especialmente por las quebradas del flanco sur con dirección al río Chichas y Ocoña, hasta una distancia mayor de 6 km.	Lahares pueden ser producidos debido a la interacción del hielo y nieve que permanece en la cumbre del volcán y productos juveniles calientes emitidos por una erupción volcánica. Los lahares descenderían por las quebradas y valles que se encuentran en la parte baja de los flancos sur, SE y norte del volcán, arrastrando todo el material suelto que encuentren a su paso. Los lahares pueden alcanzar velocidades extraordinarias, provocando procesos de abrasión y/o enterramiento de materiales que encuentren en su paso, así como represamientos e inundaciones.		
VOLCANES MONOGENÉTICOS DE ANDAHUA, HUAMBO Y SORA	En los valles de Andahua, Huambo y Sora durante una erupción efusiva y/o asociada a una erupción estromboliana pueden producirse flujos y coladas de lava. Éstos serían de composición relativamente básica y por ende fluidas que recorrerían distancias mayores a 8 km desde su centro de emisión. Basado en la existencia de flujos y coladas de lava que afloran en el valle de Andahua emitidos a partir de centros volcánicos y sistemas fisurales.				Cabrera y Thouret, 2000.

7.4 MAPAS DE AMENAZAS VOLCÁNICAS

Se presentan dos mapas de amenazas volcánicas (Mapas N° 12 y 13), que consisten en representaciones gráficas de zonas potencialmente expuestas a los efectos de procesos eruptivo, que pueden generar los volcanes activos y latentes de la Franja N° 2, durante una eventual erupción. En estos mapas se identifican zonas amenazadas alrededor de un volcán. El punto de partida para la elaboración de estos mapas, ha sido el reconocimiento del área de distribución de los productos asociados a la actividad eruptiva pasada de cada volcán. Adicionalmente, para la elaboración de los mapas se ha tenido en cuenta la estratigrafía volcánica, composición de los productos emitidos, la morfología volcánica y los patrones de vientos. Estos mapas tienen dos propósitos primarios: (1) Planear el uso de tierras alrededor de los volcanes, que se supone son compatibles con las amenazas de futuras erupciones y (2) Determinar qué áreas deben ser evacuadas y evitadas durante las erupciones.

En estos mapas se ha efectuado una zonificación de cada uno de los procesos volcánicos que puede producirse durante una futura erupción. En el Cuadro N° 47 se presentan los centros poblados y las obras de infraestructura, ubicados en la Franja N° 2, que pueden ser afectados por futuras erupciones volcánicas.

7.5 ASPECTOS PETROGENÉTICOS DEL VULCANISMO PLIO-CUATERNARIO

El sur del Perú, oeste de Bolivia y norte de Chile, alberga un vulcanismo plio-cuaternario denominado Zona Volcánica de los Andes Centrales (ZVAC), ligado a la subducción de la placa oceánica de Nasca, debajo de la placa continental de América del Sur. Este vulcanismo se produce aproximadamente a 250 km de la fosa peruano-chilena en donde se encuentra el plano de Benioff, entre 120 y 150 km de profundidad (JAMES, 1971).

Diversos estudios petrogeoquímicos efectuados sobre volcanes del Plio-Cuaternario del sur peruano muestran, que la mayoría de estos volcanes son de naturaleza calcoalcalina, altamente potásicos, con predominancia de andesitas, y generados principalmente por la fusión parcial del manto (LEFÉVRE, 1979). Además, en este proceso intervienen otros procesos complejos de AFC (asimilación, contaminación y cristalización fraccionada) y mezcla de magmas derivados de la base de la corteza continental y magmas provenientes del manto, como lo mostrado por EISSEN et al., 1998, LEGENDRE, 1999, y RIVERA, 2000 en el estudio efectuado sobre los volcanes Misti y Ubinas.

Análisis y estudios isotópicos de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $\text{Nd}^{133}/\text{Nd}^{134}$ efectuados sobre productos volcánicos emitidos por los volcanes Solimana, Misti y Ubinas, muestran que los magmas provenientes del manto, son contaminados por la corteza continental durante su ascenso a la superficie, debido al gran grosor de la corteza en esta zona (> 70 km, JAMES, 1971).

Los magmas que resultan de los procesos descritos anteriormente ascienden por el interior de la corteza continental y se acumulan en uno o varios reservorios superficiales, donde evolucionan por cristalización fraccionada. En efecto, los resultados de análisis químicos de elementos mayores y trazas de lavas y productos piroclásticos emitidos por los volcanes Solimana (VATIN-PÉRIGNON et al., 1992), Sabancaya (GUILLANDE et al., 1992), Sara Sara (MORCHE Y NÚÑEZ, 1997) y Misti, Ubinas y Huaynaputina, entre otros, muestran distribuciones lineales entre el aumento de los tenores en SiO_2 y los elementos mayores, y el aumento de los tenores en SiO_2 durante la disminución de los tenores en elementos traza (por ejemplo Rb, Ni y Co). Estos resultados son interpretados como una evolución del magma debido principalmente a un proceso de cristalización fraccionada en una cámara magmática superficial. Dicha cámara, periódicamente es total o parcialmente vaciada durante las erupciones volcánicas.

7.6 ASPECTOS POSITIVOS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

A pesar de la variedad de desastres que puede ocasionar una erupción volcánica, los volcanes son entes benéficos para el planeta y los seres que lo habitan. A continuación se enumeran los principales beneficios que los volcanes y sus productos nos brindan:

- Productos piroclásticos y lavas que al descomponerse sirven de gran ayuda en la agricultura, proveyendo de nuevos y buenos suelos para pastos y cultivos, esto sucede luego de cierto período de tiempo. El valor de los suelos volcánicos se debe a la gran cantidad de minerales que contienen.
- Los volcanes proveen de materiales de construcción, como lavas o como depósitos piroclásticos (ignimbritas). Los primeros son utilizados como bases de edificaciones y material de fundición de pisos y columnas; mientras que los depósitos piroclásticos pueden ser utilizados para fundir ladrillos o bloques. También son ampliamente utilizados como materiales de construcción ya que son de gran calidad y dureza. Las ignimbritas “sillares” sirven para la construcción de edificaciones, actualmente son utilizados en muchas ciudades de nuestro país, como: Arequipa, Santo Tomás, etc.
- Las fuentes termales ligadas a la actividad volcánica proveen de saludables termas que pueden ser utilizados como baños medicinales, sus usos son amplios pudiendo usarse contra el reumatismo y la artritis, entre otros. Estos manantiales deben sus propiedades curativas a la gran cantidad de minerales disueltos en ellos. Además, las fuentes termales sirven como atractivo turístico.
- Los productos volcánicos pueden ser aprovechados para generar energía eléctrica, sin hablar de utilizar los volcanes activos como fuente de energía termal, fuente de energía limpia y renovable, lo que ya se está estudiando en Ecuador y otros países de América Latina.

- Los volcanes ofrecen gran interés para el turismo, ofreciendo actividades tan variadas como excursión, andinismo, camping, deporte de invierno, etc. Los volcanes de nuestro país ofrecen ecosistemas únicos donde anida una cantidad nada apreciable de aves y donde se pueden observar especies como venados, pumas, vizcachas, etc.
- Los volcanes, sobre todo los de gran altura, atrapan gran cantidad de humedad, convirtiéndose en glaciares que dan origen a cuencas hidrográficas, posibilitando la vida vegetal y animal y proveyendo al hombre de fuentes de agua para el consumo y la industria.
- Los volcanes proveen también de minerales para joyería y siderurgia; asociado a la actividad volcánica se puede encontrar minerales como el hierro, cobre, zinc, plomo, uranio, oro, plata, etc. En la Franja N° 2 existen numerosos yacimientos de minerales desarrollados en ambientes volcánicos, por ejemplo el extinto volcán Ccarhuaraso (Ayacucho).

7.7 RECOMENDACIONES PARA MINIMIZAR LAS AMENAZAS VOLCÁNICAS

- Las áreas circundantes a un volcán activo no deben ser utilizadas para fines urbanos, ni para la construcción de obras importantes de infraestructura por lo menos en 10 km a la redonda del volcán, ya que durante una eventual erupción el área puede ser afectada por caída de tefras, flujos piroclásticos y/o lahares.
- No se deben ocupar los fondos de los ríos y quebradas que descienden de un volcán activo, ya que durante una eventual erupción, éstas pueden ser afectadas por lahares y flujos piroclásticos.
- Los puentes que cruzan los ríos y quebradas que descienden de un volcán activo deben tener suficiente luz y altura para permitir el paso de lahares, flujos piroclásticos y/o flujos de lava generados durante una erupción volcánica.
- Los techos de las casas que se construyan cerca de los volcanes deben ser a dos aguas con pendientes superiores a los 20° y en caso de intensa caída de cenizas, los techos de las viviendas deben ser rápidamente limpiados, ya que si se mojan pueden provocar el colapso de éstas.
- Se debe educar a los pobladores que viven en poblaciones cercanas a los volcanes activos, mediante cartillas de divulgación, afiches y reuniones de coordinación con personal especializado o profesores de geografía o maestros de escuelas sobre la manera de comportarse y los pasos a seguir durante una crisis volcánica.
- Se debe efectuar un planeamiento para el uso de tierras, así como establecer sistemas de monitoreo y alertas, medidas de evacuación ante emergencias,

medidas de protección y preparación. La mitigación de daños de cualquier evento volcánico, debe ser presidida por instituciones del estado; tanto educativas, sociales, de salud y de las fuerzas policiales, quienes basados en resultados de los estudios geológicos y vulcanológicos deben preparar a la población y elaborar normas constructivas que tengan en cuenta los eventos volcánicos.

- Ante la necesidad de apoyo técnico consultar con los especialistas de amenazas y riesgos volcánicos del INGEMMET.

Cuadro N° 47

Poblados y obras civiles que pueden ser afectados durante erupciones volcánicas

Volcán	Poblados localizados en áreas aledañas	Población (aproximada) fuente: INEI, 1995	Viviendas (aproximada) fuente: INEI, 1995	Obras de ingeniería localizadas en áreas aledañas
AMPATO	Achoma, Cabanaconde, Cajamarcana, Callalli, Canocota, Cahuara, Coporaque, Chinini, Chivay, Choco, Huacachiguero, Huanca, Huambo, Ichupampa, La Calera, La Mina, Lari, Lluta, Maca, Madrigal, Malata, Marcapampa, Mocca, Pinchollo, Sallalli, Tapay, Tuti, Yanque.	33 500	10 050	- Proyecto Especial Majes (sistema de irrigación de los valles de Sigwas y Majes): obras de conducción (túneles y canales). - Central Hidroeléctrica de Lluta - Mini-central Hidroeléctrica de Huambo - Línea de transmisión eléctrica Mantaro-Socabaya - Sistemas viales: - Carretera Arequipa-Huambo-Cabanaconde- Chivay, - Carretera Arequipa-Chivay-Cusco, Carretera Chivay-Coporaque-Ichupampa-Lari-Madrigal-Cahuara, Carretera Arequipa-Calloma-Arcata, en el valle de Majes y Sigwas, carreteras vecinales.
COROPUNA	Acopallpa, Andahua, Andaray, Aplao, Arhuin, Cahuanota, Carmen Alto, Chanchillay, Chapacoco, Chichas, Chilcainmarca, Chiringay, Chuquibamba, Cotahuasi, Huancarqui, Huilluco, Huami, Ispacas, Iray, La Central, LLato, Machahuay, Maucallacta, Misahuanca, Orcopampa, Panahua, Pampachacra, Pampacolca, Pilcuy, Puca Puca, Puchunco, Quenuamarca, Rituy, Salamanca, San Antonio, Santa Catalina, Sihuan, Toro, Tipan, Ungro, Uñon, Viraco, Yachanguillo, Yanaquihua, Yanque y otros caseríos.	22 290	6 720	- Sistemas viales: - Carretera Aplao-Chuquibamba-Cotahuasi, - Carretera Chuquibamba-Mauca Llacta-Andahua, Carretera Aplao-Viraco-Andahua-Orcopampa. - Carretera Chuquibamba-Pampacolca-Viraco, carretera Chuquibamba-Yanaquihua-Andaray. - Minicentrales hidroeléctricas - Represa de Chuquibamba - Antenas de telecomunicaciones
FIRURA	Alca, Antabamba, Ayahuasi, Cahuana, Capilla, Cotahuasi, Huaynacotas, Luicho, Lucha, Maucallacta, Mungui, Pampa, Perca, Pettcoce, Puchunco, Puica, Taurisma, Tomepampa, Visue.	13 850	4 530	- Sistemas viales: - Carretera Arequipa-Chuquibamba-Cotahuasi-Alca-Puica, carretera Chuquibamba-Andahua-Orcopampa. - Línea de transmisión eléctrica Mantaro-Socabaya

Volcán	Poblados localizados en áreas aledañas	Población (aproximada) fuente: INEI, 1995	Viviendas (aproximada) fuente: INEI, 1995	Obras de ingeniería localizadas en áreas aledañas
HUALCA HUALCA	Achoma, Cabanaconde, Cajamarcana, Callalli, Canocota, Cahuara, Coporaque, Chinini, Chivay, Choco, Huacachiguero, Huambo, Ichupampa, La Calera, Lari, Lluta, Maca, Madrigal, Malata, Marcapampa, Mocca, Pinchollo, Sallalli, Tapay, Tuti, Yanque.	30 500	10 000	- Proyecto Especial Majes: obras de conducción (túneles y canales). - Central hidroeléctrica de Lluta - Sistema de irrigación en los valles de Sigwas y Majes - Sistema vial: - Carretera Chivay-Cabanaconde-Huambo, carretera Arequipa-Chivay-Cusco. - Carretera Arequipa-Cailloma-Orcopampa-Arcata, en el valle de Majes y Sigwas, - Carreteras vecinales.
SABANCAYA	Achoma, Cabanaconde, Cajamarcana, Callalli, Canocota, Cahuara, Coporaque, Chinini, Chivay, Choco, Huacachiguero, Huanca, Huambo, Ichupampa, La Calera, La Mina, Lari, Lluta, Maca, Madrigal, Malata, Marcapampa, Mocca, Pinchollo, Sallalli, Tapay, Tuti, Yanque.	33 500	10 050	- Proyecto Especial Majes (sistema de irrigación de los valles de Sigwas y Majes): obras de conducción (túneles y canales). - Central hidroeléctrica de Lluta - Mini-central hidroeléctrica de Huambo - Línea de transmisión eléctrica de Mantaro-Socabaya - Sistema vial: - Carretera Chivay-Cabanaconde-Huambo-Arequipa, - Carretera Arequipa-Chivay-Cusco, - Carretera Chivay-Coporaque-Ichupampa-Lari-Madrigal-Cahuara, - Carretera Arequipa-Cailloma-Arcata, en el valle de Majes y Sigwas, carreteras vecinales.

Volcán	Poblados localizados en áreas aledañas	Población (aproximada) fuente: INEI, 1995	Viviendas (aproximada) fuente: INEI, 1995	Obras de ingeniería localizadas en áreas aledañas
SARA SARA	Acoquipa, Acos, Airoca, Aulla, Calera, Casire, Colta, Collahuacho, Colloni, Conchaca, Corculla, Chacaraya, Chaicha, Chumillo, Chumpi, Huacachipa, Hualpahuasi, Huancara, Huayllas, Huayrara, Incuyo, Ocollo, Otococho, Pausa, Pararani, Pararca, Paucaray, Pirca, Pomacocha, Pullo, Pullusca, Quilcata, Lacaya, Lampa, Manzanayoc, Maraycasa, Marcabamba, Mirmaca, Nagua, Sallasalla, San Antonio, San José de Ushua, Santa Rosa, San Sebastián de Sacraca, Sayla, Sequello, Sondor, Tarco, Tauria, Tonco, Tonsio, Yuracchuasi.	10 600	3 180	Sistemas viales: Carretera Caraveli-Incuyo-Pausa Carretera Pausa-Quilcata-Pararca, Carretera Incuyo-Chumpi-Coracora, Carretera Chala-Cháparra-Quicaccha-Incuyo, Carretera Lampa-Marcabamba. Carretera Yauca-Pullo-Incuyo.
	Acchapuna, Ancaro, Ayanca, Cahuanota, Caspe, Chachillay, Charcana, Chaucalla, Chichas, Cotahuasi, Huachuy, Huajanchu, Huarhua, Huilluchupa, Maucallacta, Queyopata, Quechualla, Queñamarca, Quichuaña, Quismo, Salamanca, Santa Catalina, Taurisma, Tomepampa, Toro, Velinga, Yachanguillo, Yanque.	9 520	3 700	Sistemas viales: Carretera Arequipa-Chuquibamba-Cotahuasi, Carretera Cotahuasi-Ancaro, Carretera Cotahuasi-Caspe. Antenas de telecomunicaciones.
VOLCANES MONOGENÉTICOS DE LOS VALLES DE ANDAHUA, HUAMBO Y SORA	Valle de Andahua y Sora: Andahua, Ayo, Chachas, Chapacoco, Chilcaimarca, Huacarama, Huilluco, Misahuanca, Ñahuira, Orcopampa, Panahua, Soporó, Tintaymarca, Umachulco. Valle de Huambo: Anansalla, Huambo, Chinini, Sajarhua.	12 600	3 650	Sistemas viales: Carretera Camaná-Aplao-Viraco-Andahua- Orcopampa, Carretera Orcopampa-Andahua-Ayo, Carretera Orcopampa-Cailloma-Callalli-Arequipa, Carretera Arequipa-Huambo-Cabanaconde. Línea de transmisión eléctrica Mantaro-Socabaya.

Capítulo VIII

PELIGRO SÍSMICO

8.1 SÍSMICIDAD

En el Perú, los focos sísmicos están ubicados cerca de la zona de convergencia de las placas litosféricas (Continental Sudamericana y Oceánica de Nasca). La referida convergencia determina la colisión de ambas placas y consecuentemente la inflexión del borde oriental de la placa de Nasca bajo la placa Continental según la dirección ENE; así mismo, la placa Continental resulta de un cabalgamiento sobre la placa de Nasca.

Dicha zona de inflexión y cabalgamiento, se denomina zona de subducción. Morfológicamente configura un relieve submarino que por su posición y alineamiento da lugar a la Fosa de Milne-Edwards o Fosa de Lima.

La fosa mencionada es inferior a los 5 000 m de profundidad, contrastando con las elevaciones de la Cordillera de los Andes que superan los 5 000 msnm, como los nevados Coropuna, Sara Sara, Solimana, etc.

La región sur peruana, donde se ubica el área de estudio (Franja N° 2), está influenciada por los sismos generados en la placa de Nasca (90%) y por los sismos producidos por deformaciones y está asociada a los fallamientos tectónicos activos existentes en el Perú, esta actividad sísmica es de menor frecuencia y de magnitudes moderadas.

En el presente capítulo se revisa toda la actividad sísmica ocurrida en el pasado, así como algunos resultados e interpretaciones de carácter preliminar, referentes a aceleraciones y períodos de retorno para diferentes intensidades en la escala modificada de Mercalli, para sismos que puedan ocurrir en la región de la Franja N° 2, con el objetivo de contribuir en la zonificación del peligro sísmico y consecuentemente a la prevención de daños.

El área de estudio comprende parte de los departamentos de Arequipa, Ica, Arequipa, Ayacucho, Apurímac, Cusco y Puno.

8.2 HISTORIA SÍSMICA DE LA FRANJA N° 2

El sur del Perú, específicamente la Franja N° 2 (departamentos de Ica, Arequipa, Ayacucho y Apurímac, Cusco y Puno), ha sido afectado por grandes sismos ocurridos en los años 1664, 1846, 1914, 1942 y 1996, este último destruyó las ciudades de Nasca, Palpa e Ica.

El Mapa N° 14 muestra las líneas isosistas del terremoto del 24 de agosto de 1942 (Ceresis), en el Mapa N° 15 se observan las isosistas del terremoto del 12 de noviembre de 1996 ($M_w = 7,7$) acaecido últimamente, según CHATELAIN et al., (1997); y en el Mapa N° 16 se muestra las isosistas del terremoto de Arequipa del 23 de junio del 2001 ($M_w = 8,2$), según el Instituto Geofísico del Perú.

La historia que se conoce con relación a acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, según datos históricos disponibles, indican una intensa actividad sísmica en la Franja N° 2 (sur del Perú), ocurrida entre los Siglos XVI y XX.

Los sismos más significativos y algunos destructivos que han ocurrido en el área de la Franja N° 2, se describen en el Cuadro N° 48. Este trabajo está basado principalmente en el estudio de SILGADO E., (1978), quien describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú entre 1582 y 1979, complementada con la información proporcionada por el Instituto Geofísico del Perú (1998), así como en el Catálogo de Sismos del Centro Regional de Sismicidad e Ingeniería Sísmica - CERESIS. Ver Fotos del 93 al 98.

Cuadro N° 48
Sismos más significativos que ocurrieron en la Franja N° 2

Lugar	Fecha	Hora	Coordenadas		Magnitud (Ms)	Intensidad (MM)	Profundidad (km)
			Latitud	Longitud			
Arequipa	19-07-1959	15:06	15°00'	70°30'	7,0	VII	200
Arequipa	13-01-1960	15:40	16°00'	73°00'	7,5	VI	63
Nasca	15-01-1960	09:30	15°00'	75°00'	7	VII	150
Apurímac	15-01-1971	10:33	14°12'	73°30'	5,7	IX	54
Ica	12-05-1664	09:15	14°06'	75°51'	7,8	X	15
Ica	04-04-1568	00:00	14°23'	75°43'		IX	80
Yanaoca	00-00-1581	00:00	14°06'	71°30'	15	X	15
Costa Ica	20-10-1687	11:30	15°12'	75°54'		X	28
Ica	30-03-1813	09:30	14°12'	75°48'		VII	50
Ica	24-08-1942	17:51	15°00'	76°00'		IX	60
Ica	12-05-1664	14:15	14°23'	75°43'		IX	80
Ica	27-07-1846	20:15	14°06'	75°51'		X	15
Ayacucho	02-12-1914	18:55	15°06'	73°12'		X	15
Caravelí	11-10-1922	09:50	16°00'	72°30'	7,4	VII	50
Chalhuanca	14-10-1971	05:34	14°12'	73°27'	5,7	IX	54
Nasca	12-11-1996	11:59	14°54'	75°54'	6,8	VII	90
Arequipa	23-06-2001	15:33	16°05'	73°46'	6,9	VIII	33

Algunos sismos que ocasionaron daños en la Franja N° 2 han sido los siguientes:

- **24 de noviembre de 1604.**- 13:30 horas; la conmoción sísmica arruinó las ciudades de Arequipa y Arica. Un Tsunami destruyó aparte de Arica y el puerto de Pisco. Tuvo una magnitud de 7,8 y una intensidad de VIII MM.
- **20 de octubre de 1687.**- 06:30 horas; gran movimiento sísmico ocurrido en la ciudad de Arequipa que causó serios daños en los templos y viviendas, los efectos secundarios de este sismo trajeron como consecuencia el agrietamiento de muchos km de extensión entre Ica y Cañete, el mar inundó parte del litoral comprendido entre Chancay y Arequipa.
- **10 de julio de 1821.**- 05:00 horas; terremoto que causó graves daños en los pueblos de Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y valle de Majes. Murieron 60 personas en Chuquibamba y 32 en Caravelí, tuvo una magnitud de 7,9 y una intensidad de VII MM.
- **06 de agosto de 1913.**- 17:13 horas; terremoto que destruyó la ciudad de Caravelí, produjo desplome de todos los edificios de dicha ciudad y derrumbes en las laderas de los valles. Hubo 4 heridos, además afectó otras poblaciones como Chuquibamba. En Atico se destruyeron muchos edificios resultando un muerto y varios heridos. Tuvo una magnitud de 7,7 y una intensidad de VIII MM. En Cailloma y Ocoña se sintió con una intensidad de VI MM.
- **21 de mayo de 1917.**- 03:56 horas; afectó a Cailloma; Arequipa quedó en ruinas por un violento terremoto que dejó 22 muertos y muchos heridos.
- **24 de agosto de 1924.**- A las 17:51 movimiento registrado en los departamentos de Ica y Arequipa, causando gran destrucción, murieron 30 personas por desplome de casas.
- **11 de octubre de 1939.**- 09:59 horas; se registró un fuerte sismo. Causó graves daños en el pueblo de Chuquibamba y Caravelí, además provocó daños en las ciudades de Arequipa y Moquegua. Se sintió con gran intensidad en las localidades de Puquio, Quicacha, Palpa, Chala y Mollendo, alcanzando una intensidad de VII MM en Chuquibamba.
- **20 de julio de 1948.**- 06:03 horas; sismo ligeramente destructor en las poblaciones de Caravelí y Chuquibamba. En el área epicentral alcanzó el grado de VI-VII MM. La magnitud alcanzó los 7,1.
- **26 de febrero de 1952.**- 06:31 horas; movimiento sísmico de magnitud 7,5 en la escala de Richter, afectó los poblados de Coasa y Macusani en el departamento de Puno.
- **15 de enero de 1958.**- 14:29 horas; terremoto en Arequipa, repercutió en los poblados de la Franja N° 2. La Carretera Panamericana Sur en el sector comprendido entre Chala y Arequipa quedó cubierta en varios trechos por deslizamientos, siendo más afectada el tramo entre Camaná y Atico.
- **13 de enero de 1960 .**- 10:40 horas; fuerte terremoto en Arequipa que repercutió a la zona de estudio, cuyo radio de perceptibilidad fue de 750 km aproxi-

madamente, sintiéndose en toda la extensión de los departamentos de Cusco, Apurímac y Ayacucho.

- **16 de febrero de 1979.**- 05:08 horas; fuerte terremoto en el departamento de Arequipa que ocasionó algunas muertes y muchos heridos. Este sismo produjo severos daños en las localidades de Chuquibamba y pueblos del valle de Majes, con intensidad de VII en la Escala Internacional de Intensidad Sísmica MKS.
- **23 de julio de 1988.**- 14:30 horas; terremoto de 6,2 grados en la escala de Richter, afectó los poblados de Maca, Lari y otras localidades del valle del Colca en Arequipa. Hubo 12 muertos, 70 heridos, 800 damnificados, 323 viviendas derrumbadas, 5 locales públicos destruidos.
- **4 de octubre de 1995.**- 00:24 horas un temblor que sacudió las localidades cusqueñas de Pillpinto, Acos, Sangará y Pomacanchi. En Pillpinto la mayoría de las viviendas fueron severamente dañadas, alcanzando una intensidad sísmica de grado V en la Escala Modificada de Mercalli. Por testimonios de los pobladores, el sismo fue percibido como un movimiento súbito y vertical, acompañado con ruido subterráneo, parecido a la caída de un objeto muy pesado. 175 viviendas quedaron dañadas y 22 destruidas con 25 personas heridas y 935 damnificados. El servicio de agua potable quedó paralizado por la rotura de la tubería en la quebrada Ocollohuayco. Hubo derrumbes en la carretera de Pillpinto hacia Accha.
- **12 de febrero de 1999.**- 01:17 horas; un fuerte sismo ocurre en Caravelí y produce el derrumbe del talud del cerro destruyendo 15 viviendas, 400 viviendas afectadas y edificios públicos, así como desprendimiento de cornisas y caída de muros de algunas viviendas. 29 personas heridas. La Carretera Panamericana Sur quedó interrumpida en el km 917.
- **23 de junio de 2001 .**- A las 3:30 pm, hora local, se produjo un terremoto de gran magnitud en la costa sur del Perú de magnitud 6,9. Este sismo sacudió fuertemente durante más de un minuto las localidades ubicadas a más de 500 km a la redonda, y repercutió en poblados de la Franja N° 2, que se les denomina distritos afectados como son: Acarí, Jaquí, Caravelí, Carhuacho, Taura, Toro, Cotahuasi, Huaynacotas, Condesuyos, Chuquibamba, Viraco Pampacolca, Andahua, Cabanaconde, Huambo, Aplao, Chivay y Yura en el departamento de Arequipa y también los distritos de las provincias de Parinacochas y Paucar del Sara Sara en Ayacucho, dejando un saldo para Ayacucho de 5 fallecidos, 73 heridos, 3 851 damnificados, 2 desaparecidos y 1 359 viviendas destruidas y en Arequipa en total 34 fallecidos, 1 991 heridos, 7 386 damnificados, 64 desaparecidos, 13 622 viviendas afectadas y 8 635 viviendas destruidas.
- **09 de agosto de 2001.**- 02:07 horas, un sismo de magnitud 5,0, sacudió el poblado de Antabamba en el departamento de Apurímac, con 5 muertos y 17 personas heridas. La intensidad máxima fue de IV a V MM. Las localidades más afectadas fueron Juan Espinoza Medrano, el cual presenta daños en casi

el 90% de las viviendas . En el poblado de Antabamba fueron afectadas alrededor de 120 familias y 200 viviendas destruidas. Asimismo en las comunidades campesinas de Chuñohuaco, Molloco, Huactacanca, Silco Queuñamarca y Ccocho el porcentaje de daños de las viviendas es del 100%, es decir, quedaron inhabitables.

En el Cuadro N° 49 se presentan los sismos más importantes que afectaron la región y cuya historia se conoce.

8.2.1 Intensidades

A partir de la información macrosísmica (sismos > VII), se ha obtenido la información de los mapas de Isosistas de algunos sismos destructores que han tenido incidencia sobre la Franja N° 2, donde se emplazan áreas urbanas (ciudades de Ica, Palpa, Nasca, Juliaca, Puno, Sicuani, Espinar, Ayaviri y numerosos distritos y poblados menores). Estos mapas permiten ver la cuantificación de los daños producidos de acuerdo a las intensidades.

De la información del Cuadro N° 49 se ha determinado que la intensidad máxima en la Escala Modificada de Mercalli (EMM), de los sismos que han ocurrido en la Franja N° 2, varía entre VII a X grados.

Esta información es congruente con la mostrada en los siguientes mapas:

8.2.2 Mapa de Distribución de Sismos Destructores

Elaborado por SILGADO E. 1978, (Mapa N° 17), de acuerdo a esta referencia, podemos observar que el área de estudio ha sido afectada por terremotos con intensidades de VII hasta X. Aquí se incluye los poblados afectados por los terremotos de Nasca(1996) y el de Arequipa (2001).

8.2.3 Mapa de Distribución de Máximas Intensidades

Elaborado por HURTADO A. Y M. JORGE MENESES – Proyecto SISRA – CERESIS, 1984 (Mapa N° 18), según esta referencia, el área de la Franja N° 2, correspondería a una zona con intensidades máximas entre V y X, observándose las zonas de VIII y VI, con una mayor extensión de aproximadamente 30% y 25% respectivamente. Se menciona un va-

lor extremo de carácter local cerca a los poblados menores de Cañahuas y Pucará en Arequipa.

8.2.4 Mapa de Zonificación Sísmica del Sur del Perú (Reglamento Nacional de Construcciones 1982)

Según esta referencia, la región sur del Perú, dentro de la latitud 14°00' a 16°00', se considera dividida en dos zonas de las tres clasificadas de acuerdo a la sismicidad observada y la potencialidad sísmica de dichas zonas, se ha determinado a la zona 1 como Sismicidad Alta y corresponden a los departamentos de Ica, Arequipa, Apurímac. La zona 2, de sismicidad media corresponde a los departamentos de Cusco y Puno. Ver Mapa N° 19.

8.3 SISMOTECTÓNICA DE LA REGIÓN

Los principales elementos tectónicos en la región occidental de Sudamérica son la Cordillera Andina y la Fosa Perú–Chile, los mismos que están estrechamente relacionados con la alta sismicidad o actividad sísmica observada y otros fenómenos tectónicos presentes en toda la región.

El margen continental occidental de Sudamérica, donde la placa oceánica de Nasca subduce la placa Continental, es una de las regiones más activas y de los bordes de placa, el mayor de la tierra.

Los rasgos tectónicos más importantes en el área de influencia, lo constituyen la Fosa Perú-Chile, la Dorsal de Nasca, la porción hundida al norte de la península de Paracas (Zona de Deformación Sismotectónica, DEZA, 1972), la Cordillera Andina, las unidades de deformación, la actividad magmática y los sistemas regionales de fallas normales e inversas distribuidas sobre el continente.

De estos elementos tectónicos, la Dorsal de Nasca tiene un rol importante en la constitución tectónica en el extremo occidental del Perú y frente al departamento de Ica, marcando notables cambios en la continuidad de otros rasgos tectónicos, tales como la orientación de la Cordillera Andina y la geometría del proceso de subducción de la placa de Nasca.

Nuestro principal interés está centrado en las fallas activas, a lo largo de las cuales se esperan desplazamientos. De acuerdo al estudio sobre observaciones acerca de la neotectónica del Perú (SEBRIER et al., 1982) y la actualización del Mapa Neotectónico del Perú (MACHARÉ et al., 1991), se ha determinado la ubicación de fallas activas en el sur del Perú (Franja N° 2) y son:

Cuadro N° 49
Datos macrosísmicos ocurridos en el área de estudio

Fecha	Hora	Lugar	Intensidad	Observaciones
1647-05-13		Ica	VII	La Villa Valverde de Ica, llamado Pueblo Viejo quedó destruida por este terremoto, sufriendo también la Costa Sur.
1664-05-12	14:15:00	Ica	IX	La ciudad quedó destruida causando la muerte de 300 personas. Las iglesias de San Francisco y San Agustín, quedaron averiadas. La tierra se abrió en varias partes, formando abras y horribles profundidades que parecían bocas para tragarse a la gente. El río se dividió en 6 partes, rebalsando algunos pozos de la ciudad. Arrancando de raíz algunos árboles grandes. En Pisco perecieron ahogadas 60 personas.
1813-03-30	04:30:00	Ica	VII	Destruyó casas y templos, causando la muerte de 32 personas. Se formaron grandes grietas en el cauce del río, surgiendo gran cantidad de lodo.
1846-07-27	20:15:00	Ica	X	Daños causados en Ica por el terremoto acaecido en Lima, la duración de la sacudida se estimó en más de 2 minutos pasando sus moradores en vela. Hubo réplicas hasta el día siguiente, de hasta 30 eventos.
1913-11-04	16:33:00	Aymaraes	VI	Destrucción de los caseríos Casaya, Soraya, Tarray, Puente, Huaquipa, Soñai, fuertes daños en las aldeas de Colcabamba, Amoral y en otras. Murieron alrededor de 150 personas. Se sintió con fuerza en Chalhuanca y en Abancay, ocasionó algunos daños a las construcciones. Al norte de Andahuaylas y Ayacucho, la intensidad del sismo declinó nuevamente.
1914-09-11	06:48:00	Caravelí	VI	Se repitió en Caravelí, reedificado después de la catástrofe de 1913, este sismo dejó en escombros la ciudad. Ocasionando derrumbes en los cerros aledaños. En Nasca hubo víctimas y el desplome de la nueva iglesia. En Ica se sintió fuerte, al igual que en Atico
1914-12-02	18:55:00	Parinacochas	X	Fuerte Sismo que causó la muerte de 34 personas y daños de consideración en los pueblos de Pararca, Pausa, Colta, Oyolo, Corcuilla, situados en la divisoria de la Cordillera Occidental, cerca del límite departamental entre Ayacucho y Arequipa. El pueblo de Pararca y Pausa están situados al pie del extinto volcán.
1915-09-02	17:28:00	Ica – Palpa	VI	Causó gran alarma, sentido en las sierras de Yauyos, en Lunahuaná, Cerro Azul y Pisco. La réplica del 21 fue a las 18:40 horas, percibiéndose en todos estos lugares.
1915-12-28	18:40:00	Caravelí	VI	Fortísimo temblor que cuarteó viviendas, agrietó parte de las torres de la iglesia y causó deslizamientos de las partes altas de los cerros. En Acarí causó desplome de las casas y otros deterioros. Alarma en Ica, con cierta intensidad. Fue sentido a lo largo de la costa entre cañete y Atico.
1971-05-21	03:56:00	Cailloma-Arequipa	VII	Cailloma quedó en ruinas por un violento movimiento. Dejó un saldo de 22 muertos y muchos heridos.
1920-10-07	15:54:00	Ayacucho-Arequipa	VII	Terremoto en las zonas limítrofes de los departamentos de Ayacucho y Arequipa. Santa Lucía capital del distrito de Lucanas, quedó tan destruida que sus pobladores tuvieron que refugiarse en carpas levantadas en su Plaza de Armas. En los distritos de Acarí y Jaquí del departamento de Arequipa, hubo numerosos daños materiales y algunas pérdidas de vidas. En Chala ocasionó el derrumbe de la pared y columna de la iglesia, así como cercos de las haciendas. Otros daños se produjeron en Cochendo, estación del Ferrocarril de Puno. Gran alarma causó en Caravelí y Huanta. Sentido intensamente en la ciudad de Arequipa, Mollendo, Ica y Chíncha.
1922-10-11	09:50:00	Caravelí	VII	En el Pueblo de Caravelí se derrumbaron muchas casas. En Arequipa y en el puerto de Mollendo causó daños de consideración. Otros efectos se notaron en Acarí y Quicacha, fuerte en Ica, Nasca, Puquio, Palpa, Chala y Cañete.
1931-06-18	09:35:00	Tinta-Cusco	VII	Gran destrucción en el pueblo de Tinta en Cusco por efecto de un fortísimo temblor. Se desplomó la iglesia y muchas viviendas. El suelo se agrietó desprendiéndose gran cantidad de piedras de los cerros inmediatos. Causó alarma en los pueblos de Sicuani, Checacupe y Yanaoca, en los que no se registraron daños.
1932-12-09	03:36:00	Ica Lima Arequipa Ayacucho Apurímac	VI	Temblor de carácter regional sentido en una área aproximada de 180 000 km ² que abarcó todo el departamento de Ica y parte de los departamentos de Lima, Arequipa, Ayacucho y Apurímac. Su intensidad y duración causaron alarma en la ciudad de Ica. Los edificios y construcciones importantes no sufrieron daño. La sacudida, a juzgar por ciertos observadores, tuvo mayor intensidad en el puerto de Pisco y más al sur en Chala y Santa Lucía. Epicentro en el Valle de Acarí, según los datos instrumentales de Lima, Huancayo y La Paz.

Fecha	Hora	Lugar	Intensidad	Observaciones
1939-06-23	23:00:00	Acomayo Canas	VI	Violento temblor que conmovió las provincias de Acomayo y Canas situadas en la cordillera de Vilcabamba, Cusco. La destrucción estuvo localizada en el pueblo de Pomacanchi (3 077 msnm), edificado a orillas de la laguna del mismo nombre. Por la hora en que se produjo ocasionó 37 muertos y 40 heridos. El movimiento se sintió intenso en las poblaciones vecinas de Yanaoca, Tinta, Checacupe, Tambopata y Sicuani. En Pomacanchi los posteriores movimientos trajeron a tierra las construcciones de adobe que resistieron el primer movimiento.
1939-10-11	23:00:00	Lima	VII	El Observatorio Sismológico de Lima registraba un movimiento sísmico proveniente de unos 650 km al SE de Lima. Las comunicaciones venidas del sur informaban que el pueblo de Chuquibamba (3 050 msnm) situado en el valle del río Majes había sido afectado. Su iglesia, la cárcel y la municipalidad, sufrieron graves daños. Además se produjo el desplome de muchas casas. En la aldea de Chuquibambilla (3 343 msnm) en las inmediaciones del río Vilcabamba, tributario del Apurímac se destruyeron muchas viviendas, lo mismo que en Caravelí en la vertiente del Pacífico. El sismo causó otros daños en Arequipa y Moquegua, con gran intensidad se sintió en los poblados de Puquio, Quicachapalca y en los puertos de Chala y Mollendo.
1942-08-24	17:51:00	Ica-Arequipa	VII	Terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, situada entre los paralelos 14° y 16° de latitud sur. Tuvo una intensidad de IX MM apreciada en un área de unos 18 000 km², donde ocurrió gran destrucción. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas habitaciones y 25 heridos por diversas causas fue sentido con intensidad de III a IV en la misma escala, en un área elíptica aproximada de 408 000 km², lo cual comprendía el N de la ciudad de Huaraz, al NE Cerro de Pasco y Oxapampa. Al E del Cusco y al S de Moquegua fueron notables dentro del área epicentral los efectos sobre las construcciones. Se estimó que el 30% de las edificaciones de la ciudad de Nasca sufrieron ruina total. Quedaron en escombros las poblaciones vecinas de Acari y Jaquí, extendiéndose los daños hasta las poblaciones de Quincacha, Atiquipa y Palpa. En la ciudad de Caravelí sólo resistieron el sismo los edificios de reciente construcción. En Ica la pesada cúpula de la iglesia del Señor de Luren, se desplomó, habiéndose constatado diversos desperfectos en las casas de esa ciudad, como en las de Pisco y Chincha. Los pueblos cordilleranos de Coracora, Huancapi y otros, experimentaron algunos daños. En el puerto de Chala, la sacudida alcanzó tal violencia que varias personas fueron arrojadas al suelo al perder estabilidad; un testigo narraba "las casas tenían movimiento semejante a la de un barco azotado por una tempestad", sufriendo el nuevo Hotel de Turistas cuarteamiento de sus paredes. Más al SE, la torre de la Catedral de Arequipa quedó algo inclinada después de la recia sacudida. Entre los diversos efectos de este sismo se cuentan: a.-El levantamiento de un metro de espigón que servía de embarcadero en la bahía de San Juan, prueba de una emersión local de la costa, se afirmó haberse observado después del terremoto según Broggi (1946). b.- Derrumbe de los cerros en los tramos de la carretera de acceso al interior, especialmente a la altura de Puquio y en otros lugares de la vertiente occidental, como también al NO de la población de Cangallo, de la vertiente del Atlántico. c.- Formación de grietas en los cerros rocosos de Calpa, jurisdicción de Caravelí, los cuales tenían varias pulgadas de extensión. d.- En el puerto de Lomas, el mar se retiró más de 200 m, regresando luego para inundar la población, destruyendo embarcaciones, almacenes de la Aduana y causando heridos. El movimiento sísmico fue también sentido fuerte en las poblaciones de Camaná, Chuquibamba, Aplao, y Mollendo, del departamento de Arequipa, mientras que en Moquegua, Huancayo, Cerro de Pasco, Ayacucho, Huancavelica, Cusco, Cajatambo, Huaraz y Lima, declinaba en intensidad. De acuerdo con la mayoría de los testigos el sismo tuvo más de un minuto de duración (véase el Mapa de Isositas y la ubicación de cuatro replicas de acuerdo con las lecturas de Lima, Huancayo y La Paz, ajustadas según los tiempos de recorrido de Careago y Calvé-1965 (Mapa N° 8).
1934-01-30	24:00:00	Canas	VII	Ocurrió un sismo destructor en los pueblos de Yanaoca y Pampamarca, de la provincia de Canas, departamento del Cusco. El fenómeno tuvo carácter local y causó 75 muertos y 200 heridos.

Fecha	Hora	Lugar	Intensidad	Observaciones
1950-12-09	21:50:00	Ica	V	Fuerte temblor que ocasionó en la ciudad de Ica la muerte de cuatro personas, doce heridos y averías de consideración en algunas construcciones de adobe. El sismo se sintió en una extensión mayor de 490 000 km², que comprendió las ciudades de Chimbote, Huaraz y Cajamarca al N; Cerro de Pasco, Satipo, Gran Pajonal al NE; Cusco al E; y Moquegua al S. Aproximadamente el grado VII MM la máxima intensidad en un área de 900 km². En los barrios humildes de la ciudad de Ica, el movimiento averió muchas casas de adobe y quincha, mientras que en la parte central quedaron intactas gran porcentaje de las construcciones de ladrillo y adobe. En este último sector los daños se limitaron a caídas de cornisas, desarticulaciones de daños y desprendimiento de enlucido. No sufrieron las modernas construcciones de concreto armado. En algunos Pueblos del interior el sismo causó algunos daños en la vivienda. Sobre el terreno provocó, la apertura de grietas en algunos terrenos de sembríos, de los cuales surgió agua hasta una hora después del sismo. Ocurrieron derrumbes en la carretera de Ica a Córdova, en Pacarán y en el Pueblo de Huaitará. En el Puerto de Pisco, se observó una salida de mar de unos 5 m.
1951-03-04	16:18:00	Chala-Caravelí	VI	Sismo originado en las cercanías de Chala y ligeramente destructor en Caravelí, donde alcanzó el grado VI MM. Se sintió en una extensión de unos 135 000 km ² .
1952-05-03	19:14:00	Ica		Fuerte y prolongado temblor a la altura del paralelo 14° Lat. S. En la ciudad de Ica provocó caída del enlucido de las paredes y algunas cornisas. Grado V-VI MM. El movimiento se sintió en Lima (Grado III-IV). En Huaitará (IV-V) y Nasca (III-IV). El epicentro en base a los registros de Lima, Huancayo y La Paz, fue de 14,4° Lat. S. 76,1° Long. O, con posición geográfica localizada en el litoral, cerca del cerro Morro Quemado.
1955-07-21		Caravelí		Movimiento sísmico sentido a lo largo de la Costa entre los paralelos 11° a 18° latitud sur. En la ciudad de Caravelí, departamento de Arequipa, ocasionó algunos agrietamientos de paredes y el derrumbe de la Iglesia del Beatario (Grado VI-MM). Alarma en las ciudades de Ica y Arequipa. Distancia de los observatorios de Lima y La Paz, 580 y 560 km respectivamente (para un foco de 60 km de profundidad).
1955-10-09	16:03:00	Unión-Arequipa		Movimiento sísmico que causo destrucciones y averías de viviendas en el caserio de Margui (3 200 msnm) provincia de la Unión, departamento de Arequipa, situado sobre una ladera escarpada. Daños en el caserio de Toro, donde murió una persona. En Cotahuasi, capital de esa provincia, ocasionó desperfectos en algunas casas antiguas, resentidas por sismos anteriores.
1971	05:34:00	Aimaraes - Apurímac	IX	Sismo destructor localizado en la provincia de Aimaraes, departamento de Apurímac. Ocasiónó 4 muertos y 15 heridos. Se estimó que el 10% de las viviendas quedaron destruidas y un 40% bastante dañadas. Los pueblos más afectados fueron: Capaya, Mosseca y Sañaico, ubicados en la margen izquierda del río Pachachaca. Perales (1971) observó agrietamientos del terreno en los carminos de herradura de Sapñaico, (Huayllo, Chacapunte, Mosecca, Hurquizo y Huarocci), algunos de 500 m de longitud y 5 m de abertura; derrumbes se produjeron a lo largo del valle de Pachachaca y quebradas subsidiarias donde las pendientes son bien pronunciadas y las rocas bastantes meteorizadas. Los deslizamientos obstruyeron diversos tramos de la carretera Abancay-Chalhuanca. También el sismo ocasionó variaciones en el régimen de las aguas subterráneas con aparición momentánea de manantiales. Relataba un testigo: "En Totoya, los relojes marcaban las 5:26 de la mañana un extraño ruido proveniente de lejos fue escuchado y segundos después la tierra se estremeció y en treinta segundos dejaba a su violento paso muertos, heridos y viviendas destruidas. Gigantescas rocas se desprendían, dañando algunas casas y represando el río que corre por el medio. Los pobladores no comprendían lo sucedido y desesperados entre los escombros buscaban cada uno a sus seres queridos. La tierra quedó temblando por varios días. Fuerte terremoto que duró 1 minuto, causando la muerte de 17 personas, más de 16 000 heridos, 5 200 viviendas destruidas y 93 000 damnificados (según Defensa Civil).

Fecha	Hora	Lugar	Intensidad	Observaciones
1996-11-12	11:59:00	Ica-Nasca	VII	La Carretera Panamericana Sur y vías alternas que comunican con las provincias de Caravelí-Camaná (ambas en Arequipa) y la zona rural de Pisco (en Ica), permanecían interrumpidas por enormes piedras y cúmulos de tierra desprendidas de cerros contiguos. La población de Nasca ocupó en horas de la tarde las calles y plazas públicas. En Chíncha murieron 2 personas y Pisco, donde también los pobladores instalaron precarios refugios a la interperie. En Acarí y Jaquí fallecieron 5 personas. Hubo derrumbes en las minas de Socavan y quedaron atrapadas personas en Pisco y Ayacucho. Fuerte movimiento telúrico que afectó el sur del Perú (Arequipa, Moquegua, Tacna y parte de Ayacucho), Causando cuantiosos daños materiales e inutilizando un 80% de su infraestructura, 119 personas murieron, 2 753 heridos y 218 923 damnificados, 24 890 viviendas destruidas.
2001-06-23	15:33:00	Arequipa-Moquegua-Tacna	VII-VIII	Las casas se cayeron como castillo de naipes y atraparon a sus ocupantes. Algunos tramos de la Carretera Panamericana Sur quedó bloqueada por enormes rocas, que se desprendieron de los cerros, la tierra se abrió en varias vías de penetración con grietas de hasta 1m de diámetro. La comunicación telefónica se vió interrumpida seriamente. Hubo corte del suministro de energía eléctrica y agua potable. Casi todas las radioemisoras y estaciones de televisión de dicha región dejaron de emitir señales debido al daño de sus locales y al corte temporal que sufrió la fibra optica de la red Sur. Las ondas telúricas pudieron ser registradas en Arica, Antofagasta (Chile) y en la localidad de Cochabamba (Bolivia). En Arequipa una de las torres de su catedral de la plaza de armas se desplomó y la otra quedó averiada. Un Tsunami afectó el litoral costero en los sectores de Ocoña, Camaná, Quilca y Matarani. El valle de Camaná fue el más afectado no sólo por la densidad de la población, si no por la altura del Tsunami (7 m de altura) y extensión horizontal de inundación que fue de más de 1 km tierra adentro, que destruyó 2 000 hectáreas de terrenos de cultivos y más de 200 casas dañadas, se reportó 23 personas fallecidas y 62 desaparecidas.

8.3.1 Falla de Huambo-Cabanaconde:

Ubicada entre los pueblos de Huambo y Cabanaconde en las mesetas volcánicas de la Cordillera Occidental, a más de 100 km al NNO de Arequipa. En esta zona se tienen dos fallas importantes y paralelas: fallas de Trigal y de Solarpampa que tienen un rumbo E-O y buzan 65° S, ellas se extienden sobre 10 km de longitud y sus movimientos recientes son del tipo normal.

Ambas fallas afectan el vulcanismo cuaternario más reciente (Holoceno) y parecen haberse movido durante su emplazamiento. (Ver Foto N° 99).

8.3.2 Falla de Quilcapunco

Se localiza a 10 km al este y NE de la ciudad de Quilcapunco en las faldas de los cerros Jutinapata y Pucasusuya respectivamente entre Challhuani y Curupata. El trazo de la falla, de alrededor de 20 km, se ha formado por la reactivación neotectónica de una falla regional que afecta a las areniscas del Grupo Ambo, comprometiendo a depósitos glaciares.

8.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISMOS

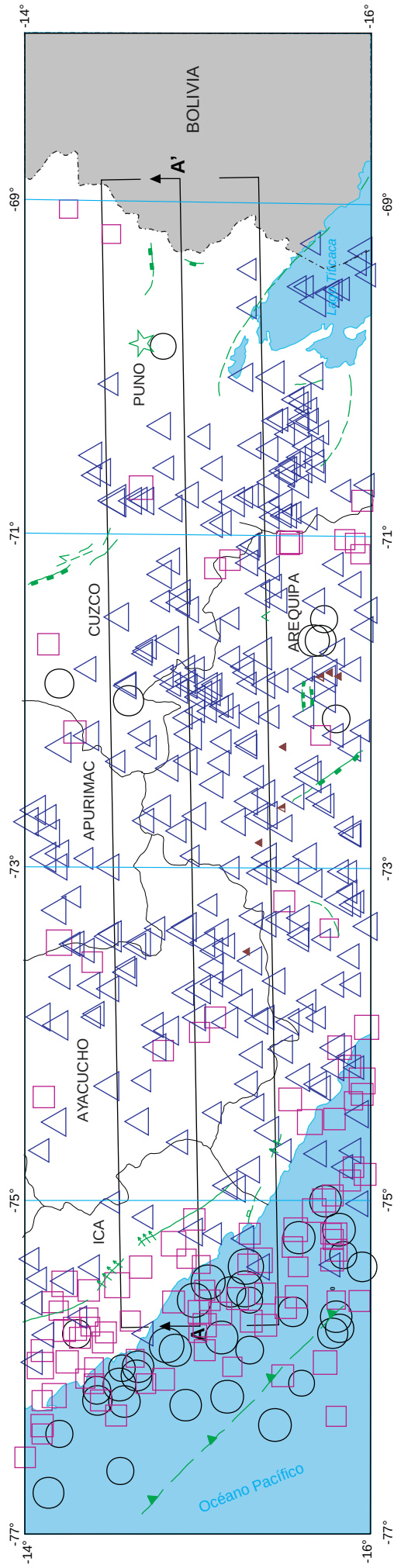
La ubicación de los hipocentros ha mejorado en tiempos recientes, por lo que pueden considerarse los siguientes períodos de obtención de datos sismológicos: 1) Antes de 1900: datos históricos descriptivos de sismos destructores. 2) 1900-1963: datos instrumentales aproximados. 3) 1963-1992: datos instrumentales más precisos.

Esta información se encuentra recopilada en el catálogo sísmico del proyecto SISRA (1985), actualizado hasta el año 1992 con datos publicados por ISC.

En la Figura N° 2 se presenta un mapa de distribución de epicentros de la región sur del Perú, elaborado en base al catálogo sísmico del proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina) patrocinado por CERESIS. Dicho mapa presenta los sismos ocurridos entre 1963 y 1992, con magnitudes en función de las ondas de cuerpo, Mb.

Además se han dibujado las diferentes profundidades focales de los sismos superficiales (0-70 km), sismos intermedios (71-300 km) y sismos profundos (301-700 km). En la Figura N° 3 se presenta la ubicación del perfil transversal perpendicular de la costa con un ancho de 150 km y una longitud de 750 km.

Los sismos en el área de influencia presentan el mismo patrón general de distribución espacial que el resto del territorio peruano, es decir, la mayor actividad sísmica se encuentra en el mar, paralelo a la costa. Se aprecia la subducción de la placa de Nasca, ya



Plegamiento	Flexural	Anticlinal	Sinclinal
Activas			
Cuaternarias (no activas)			

Vulcanismo	Holocénico	Volcanes con actividad histórica	▲
		Volcanes activos actividad "Holocénica"	▲
	Plio-cuaternario		▲

Fallamiento	Activas	Cuaternarias (no activas)
Falla Normal		
Falla Inversa		
Falla Transcurrente		
Falla con sentido de deslizamiento desconocido		
Falla Normal probable		
Falla Inversa probable		
Falla Probable "en general"		

Leyenda



Profundidad



Catálogo SISRA
Referencia : CERESIS - IGP - 1991



Mapa de distribución de Epicentros

Fig. N° 2

que hacia el continente la profundidad focal aumenta (ver Fig. N° 3). También se producen sismos en el continente, que son superficiales e intermedios y que están relacionados a fallas existentes.

8.4.1 Estudio Sísmico Probabilístico

El peligro sísmico puede evaluarse probabilísticamente con el método desarrollado por CORNELL (1968). La primera parte del método consiste en una revisión de la actividad sísmica del pasado, para determinar las fuentes sismogénicas considerando las características tectónicas de la región. Luego se determina la recurrencia de las zonas sismogénicas.

Se han utilizado las fuentes sismogénicas definidas por CASTILLO (1993). La determinación de estas fuentes está basada en el mapa de distribución de epicentros de nuestro país. Se ha agrupado en fuentes de subducción y fuentes continentales.

La ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio y la teoría de probabilidades es aplicable en el análisis del riesgo de su ocurrencia. La expresión matemática de la integral resume la teoría desarrollada por Cornell en 1968 para analizar el riesgo sísmico.

La evaluación de esta integral es efectuada por el programa de cómputo RISK desarrollada por Mc GUIRE (1976) en el cálculo de peligro sísmico, el mismo que ha sido aplicado en el presente trabajo.

La información existente hasta el año 1963 es incompleta, ya que no se cuenta con valores de magnitudes de onda de cuerpo Mb y profundidad focal. Se decidió considerar la información a partir de 1963 para el análisis estadístico de recurrencia.

La recurrencia de los terremotos se determina de acuerdo a la expresión de Richter (1968):

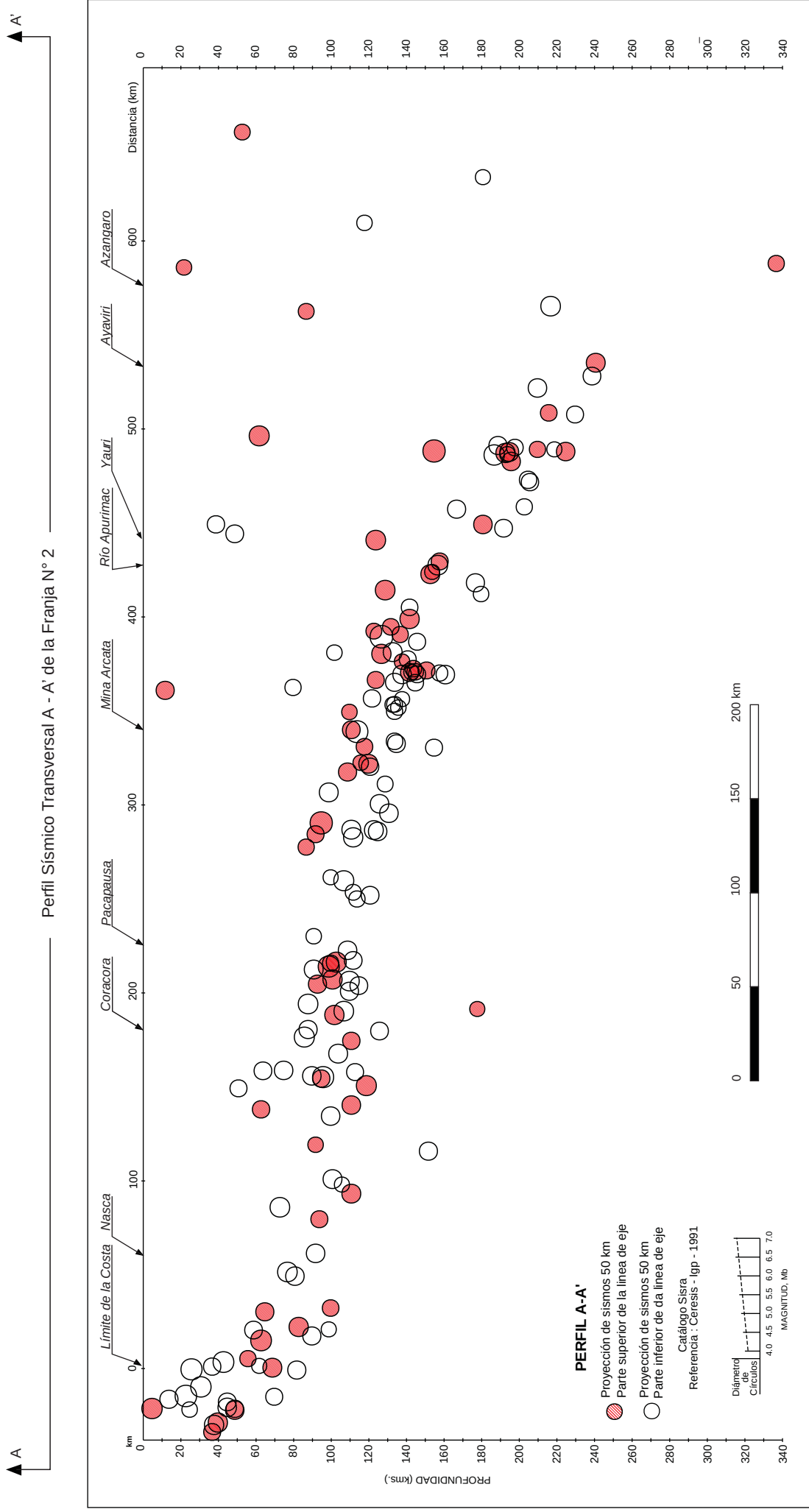
$$\text{Log } N = a - bM$$

Donde:

N = número de sismos de magnitud M ó mayor por unidad de tiempo.

a,b = parámetros que dependen de la región.

Para coeficientes de atenuación se ha utilizado para los sismos de subducción la ley de atenuación de aceleraciones propuesta por CASAVARDE Y VARGAS (1980).



Proyección de Perfil Franja N° 2 (Lat. 14° - 16°) zona sur

Fig. N° 3

8.5 DETERMINACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

Se ha determinado el peligro sísmico de localidades y puntos distribuidos, equidistantes en toda la franja sur del Perú, utilizándose la metodología e información pertinente disponible en la literatura. Se ha empleado el programa RISK desarrollado por Mc Guire (1976) con datos de la Ley de Atenuación de Casaverde y Vargas (1980) para los sismos de subducción y Mc Guire (1974) para los sismos continentales.

Se han utilizado las fuentes sismogénicas y parámetros de recurrencia definidos por CASTILLO (1993).

El Cuadro N° 50 muestra los resultados de las aceleraciones sísmicas para las distintas localidades, sus coordenadas geográficas y períodos de retorno para 30, 50, 100, 200, 400, 475 y 1000 años.

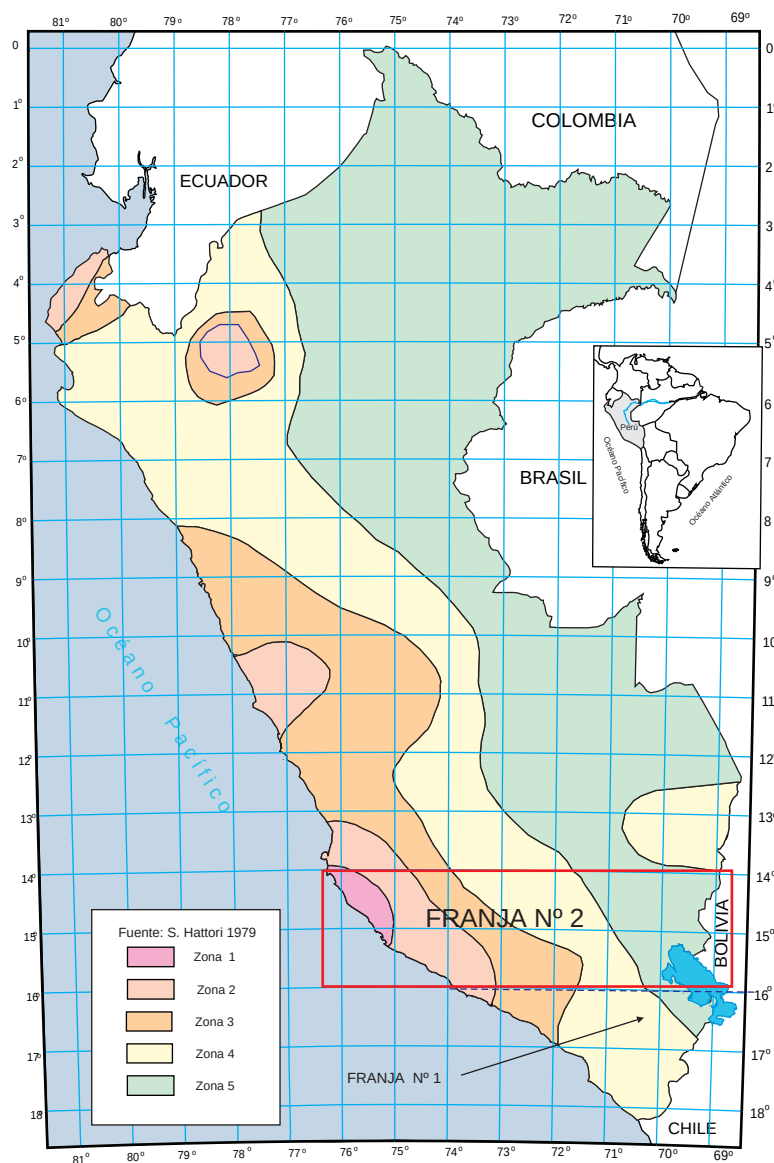
8.6 ACELERACIÓN Y PERÍODOS DE RETORNO

En la Figura N° 4 se presentan los resultados de los estudios efectuados por S. Hattori, en relación a las aceleraciones espectrales e intensidades máximas, cuyo procedimiento de obtención ha sido revisado, analizado y comparado con los mapas anteriores de intensidades, encontrándose concordancia en cuanto a la ubicación de las zonas más críticas o desfavorables, así como los valores máximos de intensidades.

En el Cuadro N° 50 se presentan las aceleraciones máximas esperadas para los diferentes poblados que están enmarcados dentro de la Franja N° 2.

Según esta referencia los puntos de observación del presente trabajo corresponden a 5 zonas (zonas 1, 2, 3, 4 y 5) delimitadas en la franja.

A la zona 1, le corresponde una intensidad máxima X MM y un período de retorno de 100 años con una aceleración máxima de 0,564 g. En esta zona se ubican Ica y Palpa.



Periodo de retorno

ZONA	50	100	200
1	0,404 IX	0,564 IX-X	0,564 IX-X
2	0,160 VII-VIII	0,298 VIII-IX	0,399 IX
3	0,106 VII	0,149 VII-VIII	0,192 VIII
4	0,053 VI	0,106 VII	0,149 VII-VIII
5	0,021 V	0,021 V	0,053 VI

Aceleraciones espectrales e intensidades máximas por zonas para diferentes periodos de retorno

Fig. N° 4

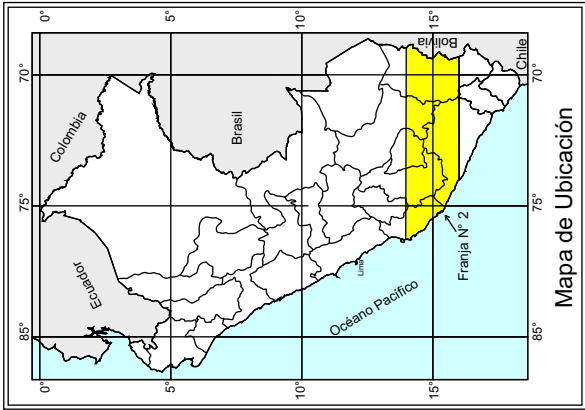
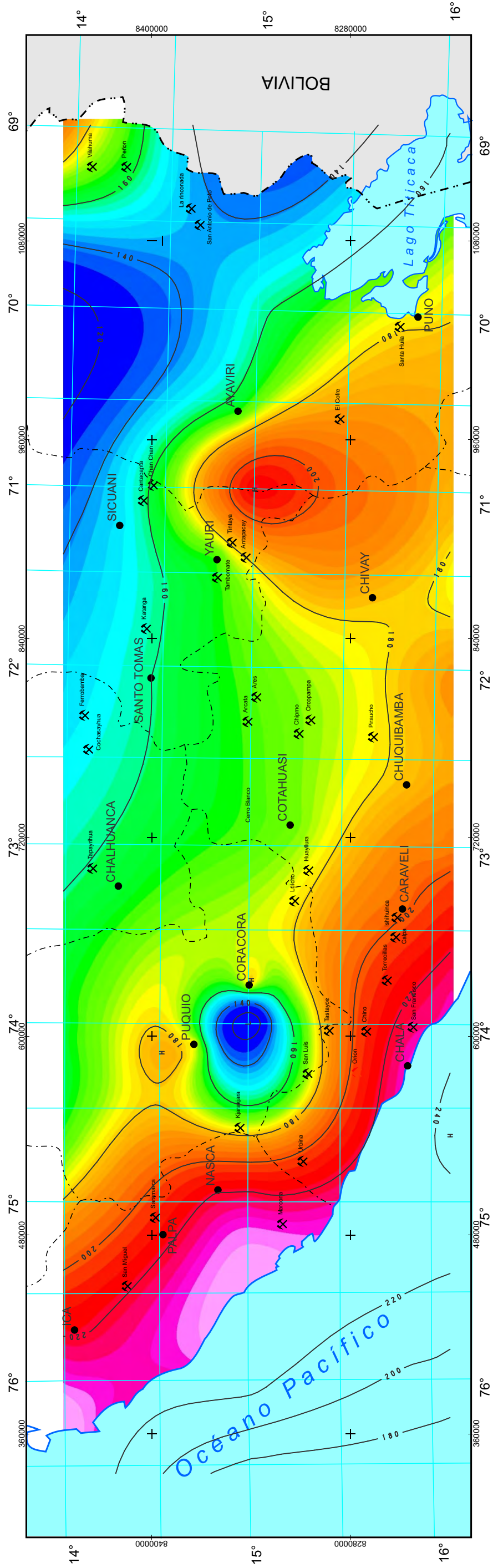
Cuadro N° 50
Aceleraciones máximas esperadas (% g)

Lugar	Período de retorno (años)						
	30	50	100	200	400	475	1000
1.- Ica -75°44' - 14°04'	0,217	0,247	0,294	0,343	0,406	0,424	0,508
2.- Nasca -74°56' - 14°50'	0,218	0,248	0,295	0,342	0,404	0,422	0,504
3.- Coracora -73°47' - 15°01'	0,179	0,202	0,237	0,273	0,321	0,334	0,395
4.- Chala -74°14' - 15°52'	0,23	0,262	0,311	0,361	0,428	0,446	0,534
5.- Puquio -74°07' - 14°43'	0,179	0,202	0,237	0,273	0,321	0,334	0,395
6.- Chalhuanca -73°14' - 14°17'	0,163	0,182	0,212	0,242	0,281	0,292	0,343
7.- Cotahuasi -72°13' - 15°13'	0,171	0,191	0,224	0,256	0,299	0,311	0,366
8.- Chuquibamba -72°13' - 15°13'	0,182	0,204	0,239	0,275	0,322	0,333	0,396
9.- Caravelí -72°39' - 15°52'	0,197	0,222	0,262	0,303	0,357	0,372	0,443
10.- Santo Tomás -73°22' - 15°50'	0,16	0,178	0,207	0,236	0,275	0,285	0,334
11.- Chivay -71°36' - 15°37'	0,182	0,204	0,237	0,271	0,316	0,328	0,386
12.- Sauri -71°25' - 15°49'	0,168	0,188	0,219	0,249	0,291	0,302	0,353
13.- Sicuani -71°13' - 14°17'	0,15	0,168	0,195	0,222	0,258	0,268	0,314
14.- Puno -70° 02' - 15°53'	0,178	0,199	0,232	0,265	0,309	0,32	0,376
15.- Ayaviri -70°35' - 14°55'	0,165	0,185	0,215	0,245	0,285	0,296	0,347
16.- Palpa -75°11' - 14°32'	0,219	0,248	0,294	0,336	0,397	0,414	0,495

La zona 2 corresponde a una intensidad máxima de IX MM y para un período de 100 años una aceleración máxima de 0,298 g. Se enmarcan dentro de este sector los pueblos de Tambo Quemado, Nasca, El Ingenio, Chumpi, Lomas, Yauca, Chala y Caravelí.

La zona 3 corresponde a una intensidad máxima esperada de VIII MM y para un período de 100 años una aceleración máxima de 0,149 g. Se ubican poblados como: Andamarca, Puquio, Coracora, Pausa, Chuquibamba, Cotahuasi, Yanque, Viraco, Pacapausa, los nevados Coropuna, Solimana y Firura y una serie de lagunas.

La zona 4 corresponde a una intensidad máxima esperada entre VII y VIII MM para un período de 100 años una aceleración máxima de 0,149 g, se ubican poblados como: Huancané, Condoroma, Héctor Tejada, Yauri, Santo Tomás, Parcona, Puica, Coporaque, Yanaoca, Antabamba, Chuquibambilla.



MAPA DE ACELERACIONES
(Miligals) - 30 años

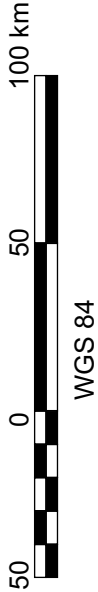


Fig. N° 5

La zona 5 corresponde a una intensidad máxima esperada entre V a VI MM y para un período de 100 años le asigna un valor de aceleración máxima de 0,021 g. En esta zona se ubican los poblados de Puno, Juliaca, Azángaro, Arapa, Lampa, Capachica, Sicuani, Macusani, Sandia, Huancané, etc.

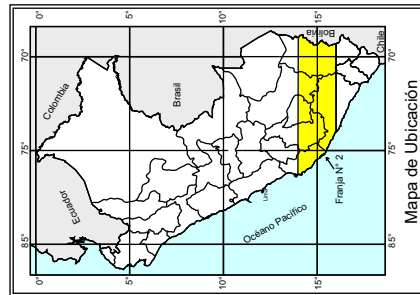
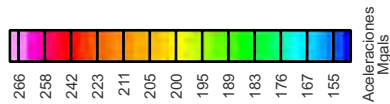
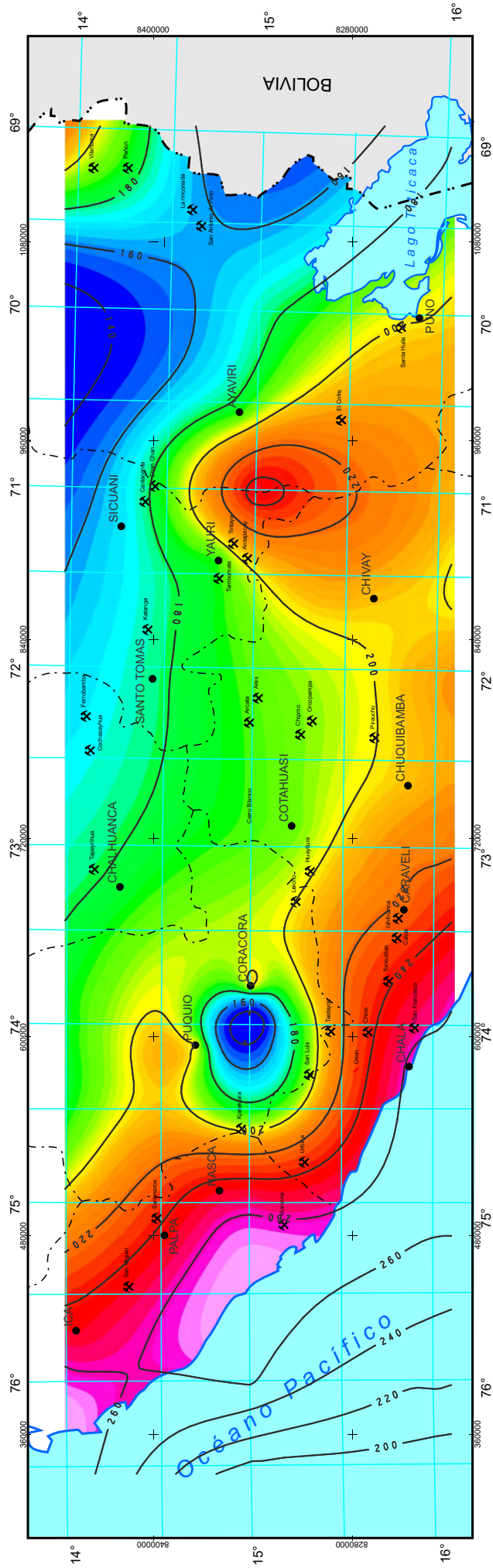
Los resultados de las aceleraciones máximas esperadas se muestran en el cuadro adjunto a la Fig. N° 4 y puede ser bien comparadas con los estudios de S. Hattori.

De acuerdo a las características de la sismicidad procesada se obtiene una zonificación de peligro regularmente alineada con dirección a la cadena volcánica y otros rasgos estructurales del sur del Perú. Se puede destacar dos distribuciones de altos valores de aceleraciones máximas esperadas para 30, 50 y 100 años, la primera se localiza en la zona de convergencia (litoral costero) y el océano Pacífico y es de gran envergadura cerca de los poblados de Palpa, Nasca, Ica, Chala y la otra zona puntual, se encuentra en el sector de la mina Tintaya (Yauri) y Ayaviri.

Las aceleraciones máximas obtenidas para un período de retorno de 30 años (Fig. N° 5) muestran para la ciudad de Ica un valor de 0,217 g, Palpa de 0,219 g, Nasca de 0,218 g, Chala 0,230 g, Caravelí de 0,197 g; hacia el sector este los valores disminuyen como en Coracora, que tiene un valor de 0,179 g, Cotahuasi 171 g, Ayaviri 0,165 g y Puno 0,178 g. Los valores de Isoaceleraciones varían de 0,102 g (Pto. 15° con 74°) a 0,244 g (Pto. 14° con 76°'30').

Para un período de retorno de 50 años (ver Fig. N° 6) los valores de isoaceleraciones varían de 0,115 g a 0,278 g, los contornos muestran la misma tendencia anterior donde los valores máximos se encuentran como una estructura alineada paralela a la costa (afectando principalmente a las ciudades de Ica, Palpa, Nasca y Chala) y cuyos valores muestran para la ciudad de Ica 0,247 g, Palpa de 0,248 g, Nasca de 0,248 g, Chala de 0,262 g y Caravelí con 0,222 g hacia el sector este, encontramos, los valores de moderados a bajos como en Puquio con 0,202, en Sicuani 0,168 g, Coracora 0,202 g. Puno con 0,199 g.

Para un período de 100 años (Fig. N° 7), las isocurvas de aceleraciones muestran igual similitud con la anterior pero con valores mayores de máxima aceleración que varían de 0,131 g $< a < 0,331$ g. Se ha determinado para la ciudad de Ica un valor de 0,294 g, Palpa con 0,294 g; Nasca 0,295 g, Chala 311 g, Caravelí 0,2622 g, los focos más fuertes se ubican en el mar frente al litoral costero. Hacia el sector este, los valores van decreciendo, sin embargo en el sector entre Yauri y Ayaviri, tenemos un alto a $> 0,260$ g, los valores mínimos se ubican cerca de Coracora con $a < 0,200$ g, igual en el sector Este y NE de Yauri, Para Cotahuasi se ha determinado un valor de 0,224 g, Chalhuanca de 0,212 g, Puno con 0,232 g, Cotahuasi con 0,224 g.



**MAPA DE ACELERACIONES
(Miligals) - 50 años**

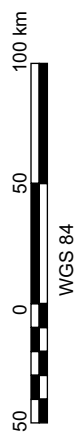
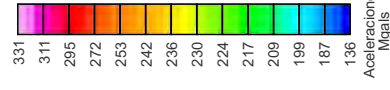
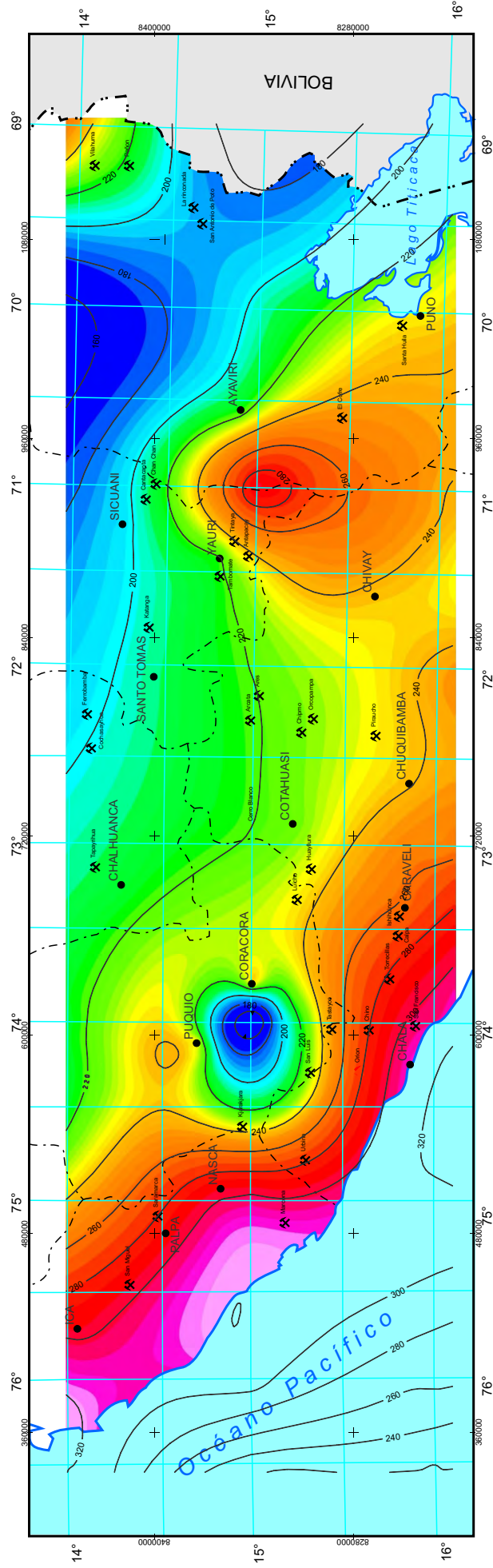


Fig. N° 6



MAPA DE ACELERACIONES (Miligals) - 100 años

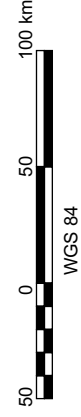
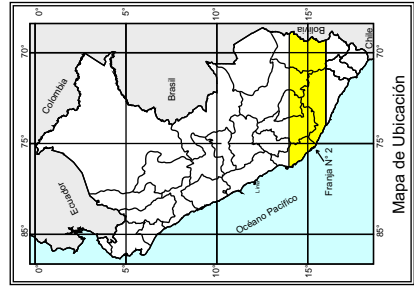


Fig. N° 7



8.7 TSUNAMIS

El origen de un tsunami o maremoto se debe a levantamientos o hundimientos de los fondos oceánicos, causados por sismos de origen tectónico. A diferencia de las olas generadas por los vientos, que sólo mueven partículas superficiales, los tsunamis remueven masas de aguas profundas.

La magnitud de un tsunami se mide por la altura máxima de la ola y destrucción que causa en la costa. El Cuadro N° 51 propuesto por el Profesor Imamura muestra los grados de magnitud de un tsunami. Se conoce como Run-up la cota topográfica máxima (referida al nivel medio del mar) alcanzado por la inundación:

Cuadro N° 51
Magnitud del tsunami (según Imamura)

Magnitud Tsunami (m)	Altura máxima de la ola (m)	Descripción de los daños
0	1 a 2	No se producen
1	2 a 3	Se inunda la casa Las de madera sufren daño
2	4 a 6	Edificaciones de madera, embarcaciones y personas son arrastradas. Graves daños a lo largo de los 400 km de costa
3	10 a 20*	Graves daños a lo largo de más de 500 km de costa.
4	más de 30	

***Nota del autor:** Estas alturas se alcanzarían si se tienen aguas profundas cerca de la costa y los vértices de bahías en forma de U, V y W.

8.7.1 Importancia del Estudio Histórico de los Tsunamis

La recopilación de documentos y depuración de relatos de tsunamis ocurridos y que afectaron a poblaciones costeras, constituye un arma muy útil para evaluar los posibles efectos que en un futuro los tsunamis puedan ocasionar en dichos lugares, así como para orientar los procedimientos y acciones de los pobladores, antes y después de producirse estos eventos. Desde el punto de vista de la protección de la población y planificación urbana, esto último es muy importante.

En el Cuadro N° 52 se reporta toda la información con relación a los tsunamis, sismos tsunamigénicos y lugares registrados a lo largo del litoral costero de la Franja N° 2, según Wold Data Center A for Solid Earth Geophysics, Boulder Colorado (P. Lockridge).

Los terremotos tsunamigénicos que se muestran en el Cuadro N° 8.5, han ocurrido en la costa sur del Perú, y norte de Chile, los eventos de mayor magnitud ocurrieron en 1604, y con una magnitud de 8,5. Desde 1877, no ha ocurrido uno de grandes proporciones, sin embargo podemos mencionar el Tsunami producido por el terremoto del 12 de noviembre de 1996 de magnitud 7,7 Mw que afectó las costas de Ica.

Sismos tsunamigenicos ocurridos en el sur del Perú

Evento	Origen Tiempo H:M	S i s m o				T s u n a m i	
		Coordenadas		Magnitud	Profundidad (km)	Runup (M)	Magnitud
		Latitud (S)	Longitud (O)				
*1604-11-24	16:13	17°54'	71°00'			16	4
1647-05-17		14°12'	75°42'			2,8	
1908-12-26		14°00'	78°00'	8,2	33		
1942-08-24	22:05	15°00'	76°00'	8,6	60	2	2
1950-12-10	02:50	14°36'	76°18'	7	80	0,7	
1960-01-13	15:41	15°48'	72°48'	7,8	160	5,7	
1996-11-12	11:59	15°28'	75°56'	7,7	46	0,2	
*2001-06-23	20:33	16°09'	73°24'	7,6	33	6	2

*Indica que el sismo ha causado un tsunami destructivo

En el Cuadro N° 53 se muestran las ciudades de la costa sur del Perú de la Franja N°2, que reportaron tsunamis originados en toda la región continental, desde el año 1604.

Cuadro N° 53

Ciudades de la costa sur del Perú que reportaron tsunamis originados en toda la región

Año	Mes	Día	Origen (País)	Ciudad reportada en Perú	Lat.	Long.	Runup	Daño
1942	8	24	PERÚ	LOMAS	15°33'	74°50'	2	X
1960	11	20	PERÚ	SANTA ROSA	14°43'	70°13'		X
1960	11	20	PERÚ	SAN JUAN	15°22'	75°07'	0,3	
1966	10	17	PERÚ	SAN JUAN	15°22'	75°07'	0,3	
1960	11	20	PERÚ	SAN JOSÉ	14°43'	75°07'		X
1868	8	13	N. CHILE	CHALA	15°51'	74°13'	15,0	X
1877	5	10	N. CHILE	CHALA	15°51'	74°13'	3	
1966	11	12	PERÚ	SAN JUAN	15°27'	75°14'	0,2	
2001	6	23	PERÚ	CAMANÁ	16°09'	73°24'	6	X

El Cuadro N° 54 muestra los efectos y el número de damnificados causados por tsunamis peruanos, siendo el más devastador para el Perú, el tsunami del 13 de agosto de 1868.

Cuadro N° 54
Sumario de efectos y números de damnificados ocasionados por
tsunamis peruanos en la Franja N° 2

Año	Mes	Día	Ciudades reportadas	Efectos	N° de damnificados
1950	12	9	ICA – CHINCHA	En el puerto de Pisco se salió el mar 5 m	--
1942	8	24	ICA – AREQUIPA	En el puerto Lomas el mar se retiró 200 m regresando luego a inundar la población y varó embarcaciones	--
1868	8	13	CHALA	Salidas del mar en Pisco, olas grandes de hasta 9 m	En Chala mueren 30 personas
1877	5	9	CHALA	Inundación de Chala. Olas grandes	---

8.7.2 Posibles Efectos de Tsunamis en la Franja N° 2

En los 330 km del litoral que comprende la Franja N° 2 (quebrada de Los Médanos-sector de Salinas de Otuma cerca Punta Gallinazos), no se tiene una investigación muy precisa de efectos de los tsunamis en los puertos de San Juan, Lomas. Sin embargo se pueden detallar algunos alcances del puerto de Chala.

El objetivo de este estudio ha sido determinar el tiempo de llegada de la primera ola de un tsunami a las costas de Arequipa e Ica, específicamente en la localidad de Chala; la altura estimada de la ola y la determinación de las rutas de evacuación. En un inicio se ha delimitado la zona de inundación, luego se ha estimado el tiempo crítico para que la población que se encuentra dentro de la zona de inundación, pueda evacuar en forma rápida y segura; y por último, se han identificado los lugares que servirán a la población como refugios de emergencia, si está dentro de la zona inundada, y refugios temporales, si están fuera de esta zona.

Para el presente estudio, se ha considerado la zona costanera del sur del Perú entre los paralelos 14° y 16°, comprendiendo la localidad de Chala (Arequipa), por ser la de mayor importancia e influencia y sobre todo por ser la más vulnerable ante la ocurrencia de un sismo tsunamigénico.

Se ha tomado el modelo de un terremoto tsunamigénico de similares características del ocurrido el 13 de agosto de 1868 (Ms: 8,5 y $m = 4$). En el Cuadro N° 55 se presenta la altura de ola y el tiempo de arribo de la primera ola del tsunami a Chala.

Cuadro N° 55

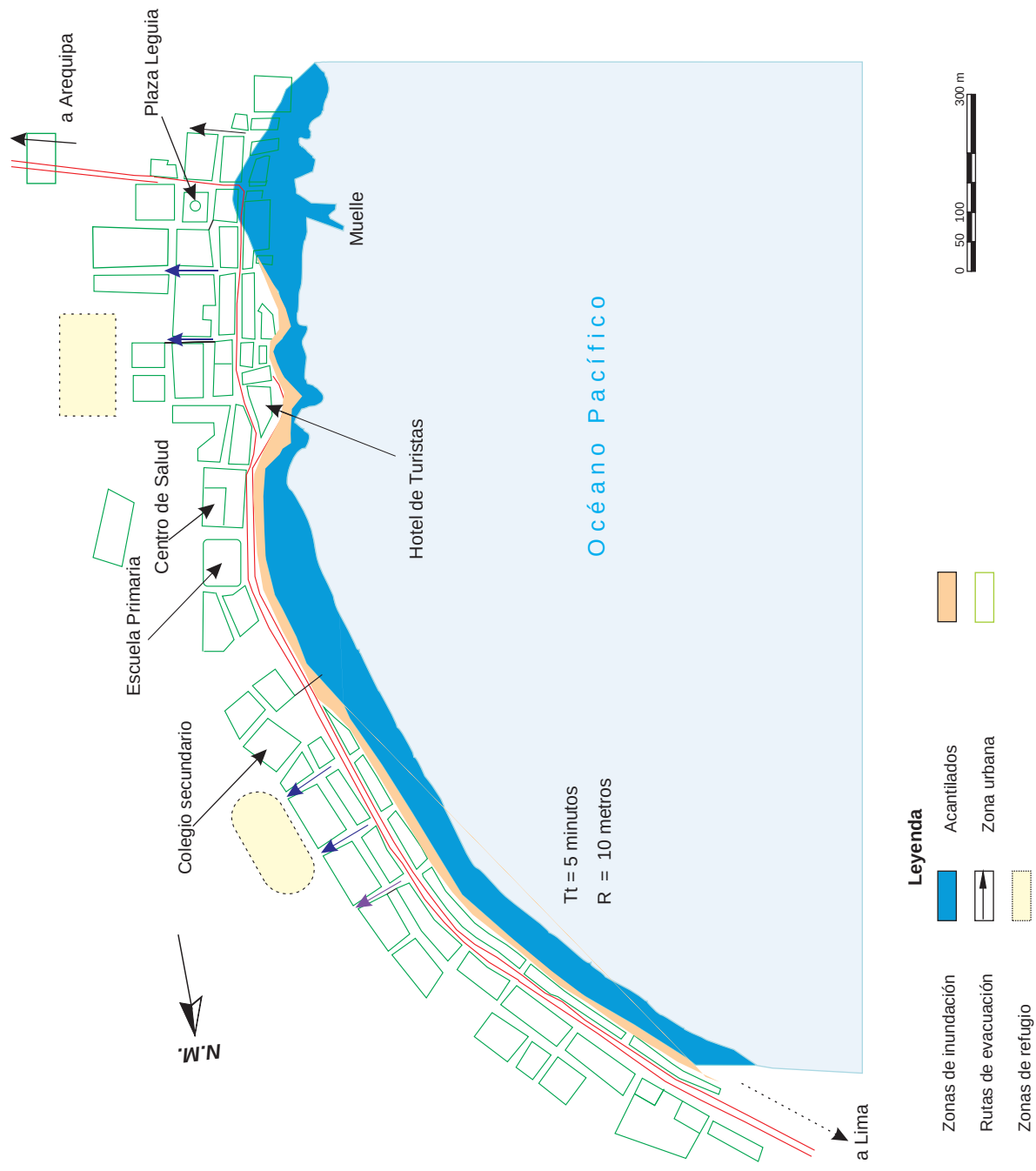
Ciudad	Arribo de la primera ola (minutos)	Altura de ola (M)
CHALA	5	9,78

Chala está ubicada al norte del departamento de Arequipa a 630 km de la ciudad de Lima, y 430 km de la ciudad de Arequipa, con una población de 2 539 habitantes según el censo de 1993 (INEI), a esto hay que agregar la población de los asentamientos menores que suman aproximadamente 2000 habitantes más, es decir un total de 5 000 habitantes aproximadamente.

El pueblo se encuentra situado sobre una plataforma estrecha de 200 a 300 m entre los cerros y acantilados, el suelo predominante es un macizo rocoso que aflora en muchas zonas de la ciudad.

El tiempo efectivo que tiene la población para salir de la zona de inundación es de 5 minutos, en este tiempo es posible ponerse a salvo, ya que las vías perpendiculares a la zona de Inundación ganan altura rápidamente. La cota promedio donde estaría a salvo la población son 15 msnm y esta cota está a la altura de la Plaza Leguía, la Parroquia "Virgen del Carmen", el Centro de Salud de Chala, la distancia a recorrer es de aproximadamente 100 m como máximo para ponerse a buen recaudo y hasta los refugios temporales 300 m. (Ver Figura N° 8).

La zona de Inundación por tsunamis afectaría aproximadamente a 28 viviendas, en las cuales el material predominante en sus paredes es: 25% material precario, 25% son de madera, un 25% de albañilería y un 25 % son de concreto armado (GARCÍA Y KUROIWA, 1994).



Mapa de inundación en caso de TSUNAMI en Chala - Arequipa
Referencia: E. García, 1994.



Foto N° 93 Vista del muelle de San Nicolás (Marcona). Se observan grietas y fisuras ocasionadas por el sismo de Nasca del 12-11-1996



Foto N° 94 Vista de la iglesia de Acarí Viejo, que fue afectada por el sismo de Nasca del 12-11-1996



Foto N° 95 Vista exterior de un centro educativo en Nasca, afectado fuertemente por el terremoto del 12 de noviembre de 1996



Foto N° 96 Colapso de techo y paredes de una vivienda en la localidad de Acarí Viejo; sismo de Nasca de 1996



Foto N° 97 Tramo de la carretera Aplao-Tipán-Viraco, afectado por derrumbes (sector de Capiza), interrumpida por un período de 30 días a raíz del sismo del 23-06-2001



Foto N° 98 Vista del poblado de Pampacolca, que muestra su iglesia afectada en parte por el sismo del 23-06-2001



Foto N° 99 Trazo de la falla Filos Unca, falla neotectónica. Carretera Cabanaconde-Huambo



Foto N° 100 Falla neotectónica: sector Jutinapata



Foto N° 101 Falla neotectónica: sector Chahuani-Curupata (cerro Pacasusuya)

Capítulo IX

ZONIFICACIÓN DEL RIESGO Y ÁREAS CRÍTICAS

9.1 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN

Las interrogantes a resolver respecto a la vulnerabilidad de una área frente a los peligros geológicos y/o hidrológicos son: ¿dónde podrían ocurrir los daños?, ¿dónde se encuentran los puntos débiles?, ¿cuál es el impacto de perder los servicios en un determinado lapso de tiempo?, ¿qué inversión en mitigación resolvería este problema?, ¿cuál es el costo-beneficio de esa inversión?. De acuerdo a estas interrogantes, este capítulo tiende a proporcionar al usuario (administradores del sector público y privado, población en general) respuestas relacionadas con la ubicación de los peligros geológicos e hidrológicos (donde pueden ocurrir los daños), así como la ubicación de las principales obras de infraestructura y las posibles poblaciones afectadas (puntos débiles).

El riesgo existe, allí donde una población determinada está expuesta a un peligro geológico y/o hidrológico. Se considera al riesgo como algo que puede ser evaluado directamente en función de una serie de conocimientos sobre el peligro y sus consecuencias potenciales, así como el grado de vulnerabilidad del área donde se localiza.

En la última década se han desarrollado numerosas experiencias en el campo del cartografiado de peligros y riesgos geológicos, estando todavía en una etapa de adecuación a los conceptos relacionados con el tema.

Las zonificaciones geotécnicas y de peligros geológicos/hidrológicos constituyen herramientas valiosas y necesarias para los fines de planificación territorial y mitigación de los desastres naturales.

El objetivo principal de una zonificación de peligros geológicos/hidrológicos es indicar las zonas con ocurrencias de fenómenos con efectos desastrosos.

El uso de mapas para sintetizar los datos de peligros (amenazas) y para combinarlos con datos socioeconómicos, facilita el análisis y mejora la comunicación entre los participantes en el proceso de manejo de peligros (amenazas).

En este caso presentaremos mapas de múltiples amenazas y mapas de instalaciones críticas, así como la combinación de estos.

9.2 MAPAS DE OCURRENCIA DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE ACUERDO CON LA BASE DE DATOS GEOREFERENCIADA

Teniendo como base la **BDGR** (Base de Datos Georeferenciada) incluida en el “Album de Mapas de Riesgos Fisiográficos y Climatológicos” (INGEMMET, 1997), se procedió a su depuración, verificación y mantenimiento, teniendo como resultado un listado con 1 496 datos de peligros geológicos/hidrológicos en la Franja N° 2.

En base a la información obtenida de la BDGR, se han preparado mapas de ocurrencias por cada peligro geológico/hidrológico, teniendo en cuenta su intensidad y riesgo, conceptos cualitativos incluidos en la toma de datos de campo, que corresponden a los términos de peligro y vulnerabilidad respectivamente.

Se presenta el Mapa de Inventario de Peligros Geológicos/Hidrológicos (**MIPG**) a escala 1:750 000, cuya base cartográfica fue tomada de las hojas fotogramétricas del IGN, digitalizadas a escala 1:100 000. Este mapa nos permite presentar gráficamente cada peligro con un símbolo particular de acuerdo al tipo de peligro y riesgo. En el Mapa N° 11 se presentan los peligros geológicos/hidrológicos (MIPG) localizados en la Franja N° 2.

9.3 MAPA DE PELIGROS MÚLTIPLES (MPM)

El propósito principal del MPM es presentar la información relacionada a los diferentes peligros en el área de estudio (Franja N° 2) en un solo mapa, ofreciendo información espacial de los peligros geológicos/hidrológicos de diferente intensidad, riesgo y área de impacto, así como el tipo de ocurrencia actual y potencial.

En base a la información proporcionada por los mapas de ocurrencias de Peligros Geológicos/Hidrológicos (MPG), al cartografiado de campo, a la geomorfología, unidades litológicas y pendientes, se preparó el Mapa de Peligros Múltiples (MPM).

A este mapa también se le conoce como mapa compuesto, de síntesis o de superposición de peligros (amenazas). De éste se obtiene una idea más precisa sobre los peligros en un área determinada. También servirá para recomendar técnicas de mitigación comunes para una misma porción del área de estudio.

Dada la complejidad y la eventualidad de los peligros geológicos e hidrológicos, se analizan y presentan por separado, los Mapas de Peligros Múltiples de remoción en masa e hidrológicos, los Mapas de Amenaza Volcánica y los Mapas de Peligro Sísmico.

A continuación se analizarán las áreas donde los peligros geológicos de remoción en masa e hidrológicos tienen mayor incidencia.

9.3.1 Mapa de Áreas Sujetas a Deslizamientos, Movimientos Complejos, Caídas (desprendimientos de rocas, derrumbes), Aludes y Hundimientos

Se incluyen en esta categoría los deslizamientos, caídas (desprendimiento de rocas, derrumbes y vuelcos) y movimientos complejos. Estas amenazas o peligros geológicos se localizan principalmente en los flancos (generalmente laderas de fuerte pendiente) de los valles de la costa y la selva alta, así como en los acantilados de la franja litoral y en los cortes de carretera, donde las condiciones litológicas, precipitaciones pluviales, presencia de agua y pendientes les son favorables.

Se identifica el alto y moderado riesgo por medio de imágenes Landsat TM5, fotografías aéreas y trabajos de campo. (Ver Mapa N° 20).

Las zonas de muy alto riesgo se localizan en: la cuenca alta del río Acarí, cuenca alta del río Yauca, cuenca media del río Colca (sector Tuti- río Majes, cuenca alta del río Chalhuanca, cuenca alta del río Oropesa (sector Chuquibambilla), cuenca alta de los ríos Cocha y Santo Tomás, sector selva alta (cuenca alta de los ríos Chuchuini, Limbani, Patambuco, Huari Huari y Tambopata).

Las zonas sujetas a alud o avalanchas de alto riesgo se localizan en la cordillera de Ananea, poniendo en peligro las operaciones mineras y viviendas de las minas Rinconada.

Se han localizado también áreas de alto riesgo, en las cuencas media y baja de los ríos y quebradas de la costa: ríos Yauca, Viscas, Nasca, Acarí, Yura, Cháparra, Ocoña; y las quebradas de Ayapana, Ingenio, Huanu Huanu, etc. Cuenca alta de los ríos Jatun Mayo, Soras, Chiltorolla; área localizada entre Marangani, Macusani y Villa de San Antón, etc.

9.3.2 Mapa de Áreas Sujetas a Flujos y Arenamiento

Los flujos hídricos (huaycos), por lo general, están circunscritos a la reactivación periódica o excepcional de ríos y quebradas, debido a la presencia de fuertes precipitaciones. Se inician frecuentemente en los flancos de las cuencas medias de los ríos, afectando áreas comprendidas en su recorrido, aguas abajo, hasta su desembocadura. (Ver Mapa N° 21).

En la Franja N° 2 las zonas sujetas a alto riesgo se localizan principalmente en los ríos, quebradas y sus tributarios que drenan al océano Pacífico: ríos Grande, Llauta, Viscas, Nasca, Acarí, Yauca, Cháparra, Ocoña, Colca, Capiza; quebradas Ayapana, Ingenio, Huanu Huanu, etc.

En la ciudad de Puno, debido a su morfología y por la presencia de fuertes precipitaciones, se reactivan las diversas torrenteras que cruzan la ciudad hacia el lago Titicaca,

afectando a la zona urbana, pudiendo ocurrir desastres como el de la ciudad de La Paz (Bolivia) en febrero de 2002 (ver Cuadro N° 56). Estas torrenteras están clasificadas como microcuencas, sus características se presentan en el Cuadro N° 56.

Las zonas de riesgo moderado se localizan en la cuenca baja del río Acarí, en la cuenca media y baja del río Yauca; cuenca media del río Caravelí, en el río Andahua, río Colca (tramo Tisco-Maca); en el río Crucero (tramo Crucero-Villa de San Antón) y en algunas quebradas al sureste del lago Parinacochas.

9.3.3 Áreas Sujetas a Arenamiento

En la Franja N° 2, las áreas sujetas a arenamiento se localizan en las pampas costaneras y las áreas cercanas al mar. Se identifican por la presencia de campos de arena, dunas, barcanas y médanos. (Ver Mapa N° 21).

Las áreas de alta amenaza se ubican en los sectores de Tanaca, Chaviña; y las de C° Aguila, Pampa Prieto, C° Cruz Chico, Pampa Camino Enladrillado, Pampa Santa Cruz, Orovilca y C° Portachuelo, al oeste de la ciudad de Ica. Las de amenaza baja a moderada se ubican en Pampa Los Médanos, C° Colorado, al oeste de Ocucaje; Pampa Blanca, Clavelinas, Santa Cruz, al suroeste de Palpa; Dunas Usaca, Dunas C° Miramar, Bajada de Lechuza y Lomas de Marcona, al norte de Marcona; Pampa Quita Lomas y C° Lagunal, en la margen derecha de la Qda. Carbonera; C° Blanco, en la margen izquierda de la Qda. Carbonera; Pampa Colorada, pampa Mata Caballo y el cruce de la Carretera Panamericana Sur con San Juan de Marcona, y pampa El Toro al sureste de Acarí.

9.3.4 Mapa de Áreas Sujetas a Erosión de Laderas

Se identifica la alta y moderada amenaza por medio de imágenes Landsat TM5, fotografías aéreas y trabajos de campo. (Ver Mapa N° 22).

En la Franja N° 2 la erosión de laderas está ligada a las formaciones sedimentarias del Paleógeno y Neógeno, siendo las áreas sujetas a alto riesgo, las localizadas en las tobas que abarcan gran parte del cuadrángulo de Nasca, al este de la ciudad de Nasca. Los piroclastos de la pampa del Confital, al SO del cuadrángulo de Lagunillas. Los materiales inconsolidados que se ubican al NO de la ciudad de Puno, sector Cabanillas. Los estratos incompetentes de las formaciones cretácicas localizadas al norte de los cuadrángulos de Azángaro y Sicuani.

Las áreas de riesgo moderado se localizan, entre otras, en las rocas tobáceas ubicadas al sureste del cuadrángulo de Condoroma y los depósitos cuaternarios entre Ananea y Crucero, cuadrángulos de Putina y Limbani.

Cuadro N° 56
Microcuencas con problemas de torrenceras que afectan la ciudad de Puno

Microcuenca	Ubicación	Área de influencia	Población	Comentarios
Llavín	Al norte de la ciudad	Longitud: 3 000 m 300 ha Universidad del Altiplano.	3 000 habitantes más 18 000 alumnos de la universidad, cuenta con el 60% de servicios.	Canalizado en la parte baja, falta mantenimiento
Azoguini-Dos de mayo	Al noroeste de la ciudad	Longitud: 3 000 m 200 ha	3 000 habitantes, cuenta con el 70% de servicios.	Canalizado en la parte baja, sin mantenimiento
Ventilla	Parte alta y oeste de la ciudad	Longitud: 4 000 m 600 ha	3 000 habitantes, cuenta con el 60% de servicios.	Faltan trabajos de mantenimiento en el canal que atraviesa la ciudad y desemboca en el lago
Río Mañazo	Ubicada al oeste de la ciudad	Longitud: 2 000 m 2000 ha	4 000 habitantes, cuenta con el 80% de servicios.	Está canalizado el tramo que cruza la ciudad de Puno, falta mantenimiento
Río Pucamayo	Ubicado al oeste de la ciudad	Longitud: 2 000 m 200 ha	4 000 habitantes, cuenta con el 70% de servicios.	Canalización de 200 m en la parte baja de la ciudad, falta mantenimiento
Pacheco Vargas	Al suroeste de la ciudad	Longitud: 2 000 m 150 ha	3 000 habitantes, cuenta con el 70% de servicios.	Canalización de 700 m en la parte baja de la ciudad, falta mantenimiento
Huayna Pucará	Al sureste de la ciudad	Longitud: 4 000 m 600 ha	8 000 habitantes, cuenta con el 80% de servicios.	Canalizado 2 000 m, por tramos, problemas de funcionamiento y mantenimiento
Salcedo (Rinconada)	Al sureste de la ciudad	Longitud: 5 000 m 800 ha	3 000 habitantes, cuenta con el 50% de servicios.	No cuenta con obras de canalización
Salcedo II (Aprovisa)	Al sureste de la ciudad	Longitud: 5 000 m 800 ha	5 000 habitantes, cuenta con el 60% de servicios	Canalización de 1 600 m, falta de mantenimiento

9.3.5 Mapa de Áreas Sujetas a Inundaciones y/o Erosión de Riberas

Las áreas sujetas a inundaciones en la Franja N° 2, están localizadas en las riberas de los lagos Titicaca y Arapa, en la laguna de Umayo y en los numerosos ríos que drenan a éstos (ríos Ramis, Azángaro, Coata, Huancané, etc.). También se ubican en las áreas circundantes a numerosas lagunas, así como en la cuenca baja de los ríos (ligadas en muchos casos a la erosión de riberas) y en los sectores donde los ríos entran a terrenos de baja pendiente, principalmente en la desembocadura de los mismos. Las inundaciones y la erosión de riberas se repiten anualmente, con diferente intensidad, entre los meses de diciembre y marzo. (Ver Mapa N° 23).

En los ríos de la cuenca del Pacífico: Cháparra, Yauca, Acarí, Nasca, Grande e Ica; la actividad fluvial extraordinaria, producto de intensas precipitaciones pluviales, elevan el caudal de estos provocando cuantiosos daños por erosión e inundación. Estos problemas también se presentan en las cuencas medias de los ríos Ocoña-Cotahuasi y Majes-Colca.

En la cuenca alta de los ríos interandinos (cuenca del Atlántico), como el Urubamba, Apurímac, Pampas, Inambari y Tambopata; estos peligros se presentan con menor intensidad.

Las precipitaciones pluviales extraordinarios de los años 1984 y 1985, causaron inundaciones en las riberas del lago Titicaca, ocasionando la destrucción de asentamientos humanos y grandes pérdidas en el rubro agropecuario, daños considerados los más catastróficos de las últimas décadas. En el año 1986 el lago Titicaca llegó a desbordar inundando gran parte de la población ribereña de la ciudad de Puno, llegando hasta el estadio Torres Belón.

Los ríos Ramis y Huancané se desbordaron en el año 1997, afectando 1 000 ha de terreno agrícola.

En el Cuadro N° 57 se presentan las principales áreas afectadas por la activación de los peligros geológicos/hidrológicos en el departamento de Puno entre enero y marzo del 2001.

9.3.6 Áreas Sujetas a Hundimientos

En la Franja N° 2, se han localizado dos zonas con hundimientos (karts). La primera, al este de la franja (cuadrángulo de Putina), en la carretera Azángaro-Sandía, en rocas calcáreas de la Formación Copacabana; y la segunda en las cercanías de la localidad de Huambo (cuadrángulo de Huambo) en rocas calcáreas de las formaciones Gramadal (Grupo Yura) y Arcurquina. (Ver Mapa N° 20).

Cuadro N° 57

Peligros geológicos/climatológicos que afectaron al departamento de Puno enero-marzo 2001

Peligro	Provincia	Distrito	Localidad	Causas	Daños	
					Terrenos de cultivo (ha)	Familias afectadas
INUNDACIÓN	HUANCANÉ	VILQUE CHICO	24 comunidades	Fuertes precipitaciones pluviales y desborde del lago Titicaca.	7 939	3 017
INUNDACIÓN		HUANCANÉ	Viscachane, Coallata, Cojache y otras comunidades.	Fuertes precipitaciones pluviales y crecimiento del lago Titicaca y desborde del río Huancané.		
INUNDACIÓN		PUSI	Pusi	Fuertes precipitaciones pluviales y crecimiento del lago Titicaca.		
INUNDACIÓN		TARACO	Taraco	Fuertes precipitaciones pluviales y crecimiento de los lagos Titicaca y Arapa Desborde del río Ramis.		
INUNDACIÓN		HUATASANI	Huatasani	Fuertes precipitaciones, desborde del río Milliraya		
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		LAMPA	Pichincha, Lipicache y varias comunidades.	Fuertes precipitaciones y desborde de los ríos Lampa y Quisca.		
INUNDACIÓN	LAMPA	VILA VILA	Vila Vila	Fuertes precipitaciones y desborde del río Vila Vila		230
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		OCUVIRI	Ocuviri	Fuertes precipitaciones y desborde del río Ocuviri		34
INUNDACIÓN		CABANILLAS	Cabanilla	Fuertes precipitaciones y desborde de los ríos Cabanillas y Porotoyo.		20
INUNDACIÓN		CALAPUJA	Condina, Achaya y otras comunidades.	Fuertes precipitaciones y desborde de los ríos Pucará y Azángaro.	232	
INUNDACIÓN		NICASIO	Salsapata, Comparo, Yucajache y otras comunidades.	Fuertes precipitaciones y desborde del río Azángaro, así como también por el crecimiento de la laguna de Titicocha.	177	
INUNDACIÓN		SANTA LUCÍA	Santa Lucía	Fuertes precipitaciones y desborde de los ríos Cabanillas y Compuerta.		35
INUNDACIÓN	PUNO	COATA	6 comunidades	Fuertes precipitaciones pluviales y crecimiento del lago Titicaca Desborde del río Coata.		505
INUNDACIÓN		ÁCORA	Comunidades cercanas a las orillas del lago Titicaca.	Fuertes precipitaciones pluviales y crecimiento del lago Titicaca.		
INUNDACIÓN		HUATA	Huata y Marcoparque	Fuertes precipitaciones y crecimiento del lago Titicaca		150
INUNDACIÓN		PAUCARCOLLA	Comunidades parte baja y Collana	Fuertes precipitaciones y crecimiento del lago Titicaca y desborde del río Totorane.		128

Peligro	Provincia	Distrito	Localidad	Causas	Daños	
					Terrenos de cultivo (ha)	Familias afectadas
INUNDACIÓN	PUNO	CAPACHICA	Comunidades campesinas	Fuertes precipitaciones y crecimiento del lago Titicaca		
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		MANAZO	Pueblo y comunidades	Fuertes precipitaciones y desborde de los ríos Yanarico, Conaviri, Quipache y Qda Tocsalla.		100
INUNDACIÓN		VILQUE	Machamarca, San Jerónimo	Fuertes precipitaciones, crecimiento de la laguna Umayo y desborde de los ríos Vilque Conavire y Challamayo.		50
INUNDACIÓN		ATUNCOLLA	Sorata	Fuertes precipitaciones, crecimiento de las lagunas Umayo, Atuncocha y Cupecocha, así como el desborde del río Ilpa.		40
INUNDACIÓN		PUNO	C.C. Los Uros	Fuertes precipitaciones y crecimiento del lago Titicaca		300
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN	SAN ANTONIO DE PUTINA	PUTINA	Barrio de San Francisco, Población y comunidades.	Fuertes precipitaciones y acción dinámica de los ríos Pongongoni y Lloquecolla.		50
INUNDACIÓN		QUILCAPUNCO	Población y comunidades	Fuertes precipitaciones y desborde de los ríos Combuco y Ticani.		370
INUNDACIÓN		ANANEA	Ananea	Fuertes precipitaciones y desborde de los ríos Inambari y Grande.		20
		P. VILCAPAZA	Ayrapuni			
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		SINA	Sina	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Sina		150
HUAYCO	SANDIA	PHARA	Phara	Fuertes precipitaciones y acción dinámica de las quebradas Comunidad y Cullucahi.		97
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		SANDIA	Sandia	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Sandia		
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		CUYO CUYO	Terrenos de cultivo y comunidades cercanas a las orillas del río.	Fuertes precipitaciones y acción dinamica del río Cuyo.		
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		PATAMBUCO	Terrenos de cultivo y comunidades cercanas a las orillas del río.	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Patambuco.		20
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		LIMBANI	Limbari	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Limbari		70
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN	MELGAR	AYAVIRI	Ayaviri	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Ayaviri		58
		UMACHIRI		Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Umachiri		
		LLALLI		Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Llallimayo.		

Peligro	Provincia	Distrito	Localidad	Causas	Daños	
					Terrenos de cultivo (ha)	Familias afectadas
		CUPI		Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Cupimayo.		
		MACARI		Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Turmanomayo.		
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		AZÁNGARO	Azángaro	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Azángaro.		60
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		ACHAYA	Comunidades campesinas	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Achaya	174	
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		CAMINACA	Comunidades campesinas	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Ramis	213	
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		PUCARÁ	Pucará	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Pucará		60
INUNDACIÓN		SAMAN	Chucaripo-Rinconada	Fuertes precipitaciones pluviales y crecimiento del lago Arapa.	1 046	21
INUNDACIÓN		MUÑANI	Muñani y comunidades	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Tarucani		174
INUNDACIÓN		JULIACA	Juliaca, aeropuerto, El Carmen, Cesar Vallejo, 11 barrios de Juliaca, Satélite, Chalhuaní, Local de Enace, Cacachi, P J Revolución.	Fuertes precipitaciones		1 116
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN	SAN ROMÁN	CABANILLAS	Cabanillas	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Cabanillas.		
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		CARACOTO	Suches, Canchi chico, Canchigrande.	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Coata		279
EROSIÓN DE RIBERAS E INUNDACIÓN		AJOYANI	Ajoyani	Fuertes precipitaciones y acción dinámica del río Ajoyani		10
TOTAL DE DAÑOS					72 360	7 143

Fuente: M.A. Oficina de Información Agraria, D.R.A. Puno

COE - SINADECI - PUNO

9.3.7 Áreas Sujetas a Peligros Volcánicos

Las áreas sujetas a los peligros volcánicos, están relacionados a los centros volcánicos activos localizados en la Franja N° 2. Los tipos de amenazas están descritos en el Capítulo VII y en los Mapas N° 12 y 13.

9.3.8 Zonificación Sísmica

El peligro sísmico queda representado, para fines de aplicaciones prácticas, por el Mapa de Zonificación Sísmica de la Franja N° 2, presentado en el Capítulo VIII y Mapa N° 19. Este mapa, divide el área de estudio en dos zonas: Zona 1: Sismicidad Alta y Zona 2: Sismicidad Media.

Las características de los suelos, la geología y la topografía tienen una importante influencia en la severidad de los daños y su distribución geográfica.

Tsunamis: para este caso se reportan datos de las posibles áreas costeras que pueden ser afectadas por estos fenómenos, como las ciudades costeras de Chala, Marcona y Lomas.

En el Mapa N° 24 se presentan los peligros múltiples en forma integrada de la Franja N° 2.

9.4 MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS MÚLTIPLES E INSTALACIONES CRÍTICAS

Luego de combinar los Mapas de Peligros Múltiples (MPM), el Mapa de Instalaciones Críticas (MIC) y el Mapa de Densidad Poblacional (MDP), se muestra cuales son las áreas en las que se requiere mayor información, diferentes técnicas de reducción de amenazas o atención inmediata cuando ocurre un evento peligroso.

El mapa resultante sirve para analizar la vulnerabilidad y el riesgo, además de fomentar la concientización sobre los peligros o amenazas tanto geológicos como hidrológicos que ocurren en la Franja N° 2. La información presentada nos muestra, también, cómo los peligros pueden afectar adversamente la vida, la propiedad o las actividades socio económicas, en base a la ubicación, severidad del fenómeno y su probabilidad de ocurrencia. (Ver Mapa N° 25).

Son muchas las ventajas que se obtienen al hacer un MIC y compararlo o combinarlo con un MPM e integrar ambos en el proceso de planificación del desarrollo. Si se incorporan las técnicas apropiadas para reducir la vulnerabilidad en cada etapa del proce-

so de planificación, pueden evitarse o disminuirse significativamente los desastres sociales y económicos.

Los mapas combinados de MPM y MIC pueden ser utilizados por los organismos encargados de planificación del uso de la tierra, preparación y respuesta a un desastre, servicios públicos incluyendo energía, transporte y comunicación; así como también seguridad nacional y comunitaria. Esta combinación también es importante cuando se preparan proyectos de inversión para solicitar financiamiento bancario a nivel nacional e internacional.

9.5 INSTALACIONES CRÍTICAS

Cuando un área está expuesta a más de un peligro, un mapa de peligros múltiples (MPM) ayuda al equipo de planificación a analizarlos respecto a la vulnerabilidad y el riesgo, especialmente cuando está combinado con el Mapa de Instalaciones Críticas (MIC). Esto facilita la interpretación de la información sobre peligros usada para la toma de decisiones.

“Instalaciones críticas” comprende a todas las estructuras o adelantos hechos por el hombre que debido a su función, tamaño, área de servicio o singularidad pueden causar graves daños al ser humano o a las propiedades, o pueden trastornar las actividades socio-económicas vitales si se destruyen o sufren daños, o si sus servicios son interrumpidos en repetidas ocasiones.

Este mapa brinda información sobre la ubicación, capacidad y áreas de servicio de las instalaciones críticas. En este mapa se incluyen, centrales hidroeléctricas, centrales térmicas, líneas de transmisión, principales yacimientos mineros, carreteras, además de represas y embalses.

En la Franja N° 2, se han localizado 33 instalaciones críticas ubicadas en la zona de muy alta amenaza por peligros geológicos/hidrológicos, que merecen atención especial, éstos se muestran en el Cuadro N° 58.

En el Mapa N° 25, se presentan las principales instalaciones críticas en la Franja N° 2, y, como se puede apreciar, las principales obras de infraestructura que pueden ser afectadas (críticas) son la red carretera, pequeñas centrales hidroeléctricas y algunos represas de poco volumen.

Cuadro N° 58
Instalaciones críticas desarrolladas en áreas peligrosas

1	Carretera Panamericana Sur, tramo Ica-Ocucaje
2	Carretera Panamericana Sur, tramo Ocucaje-Palpa (sectores)
3	Carretera Panamericana Sur, sector Palpa. Ver Foto N° 102
4	Carretera Nasca-Mina Sol de Oro, mina Sol de Oro. Ver Foto N° 103
5	Carretera Panamericana Sur, sector Acarí
6	Carretera Panamericana Sur, sector Yauca
7	Carretera Panamericana Sur, tramo quebrada Atiquipa-Punta Grande
8	Carretera afirmada a Pullo
9	Carretera Lucanas-Puquio. Ver Foto N° 104
9A	Carretera Puquio-Chaviña, mina Vicuña
10	C.H. de Laramate, carretera Llauta-Laramate-Ocaña
11	C.H. de Chipao y Andamarca
12	CC.HH. de Chaviña y Coracora, carretera Chaviña-Chumpi
13	CC.HH. de Incuyo y Pausa, carretera Incuyo-Pausa
14	C.H. de Ocoña, sector río Grande
15	Carreteras afirmadas, sector Chichas y Salamanca. Ver Foto N° 105
16	Carretera Paico-Soras-Pampachiri
17	Carretera Iscahuana-Chalhuanca-Sta. Rosa. C.H. de Chalhuanca. Ver Foto N° 106
18	C.H. de Chocopo
19	CC.HH. de Pampacolca y Viraco. Carreteras afirmadas
20	Carretera río Colca - Tipán. Ver Foto N° 107
21	Carretera Majes-Chuquibamba. Ver Foto N° 108
22	Carretera Antabamba - Sabaino, C.H. de Antabamba
23	C.H. de Vilcabamba, carretera a Chuquibambilla
24	Carretera Sto. Tomás-Cápacmarca-Cusco. Ver Foto N° 109
25	Carretera Maca-Cabanaconde. Ver Foto N° 110.
26	C.H. de Hercca, carreteras afirmadas
27	Carretera y línea férrea San Pablo-Tinta-Checacupe
28	Carretera y línea férrea Juliaca-Santa Lucía, tramo Cabanillas. Ver Foto N° 111
29	Represa de Umayo
30	Ciudad de Puno, puerto e instalaciones
31	Carretera Taraco-Huancané
32	Carretera Cuyo Cuyo-Sandía, sector Cuyo Cuyo. Ver Foto N° 111B
33	Minas La Rinconada. Ver Fotos N° 112 y 113.

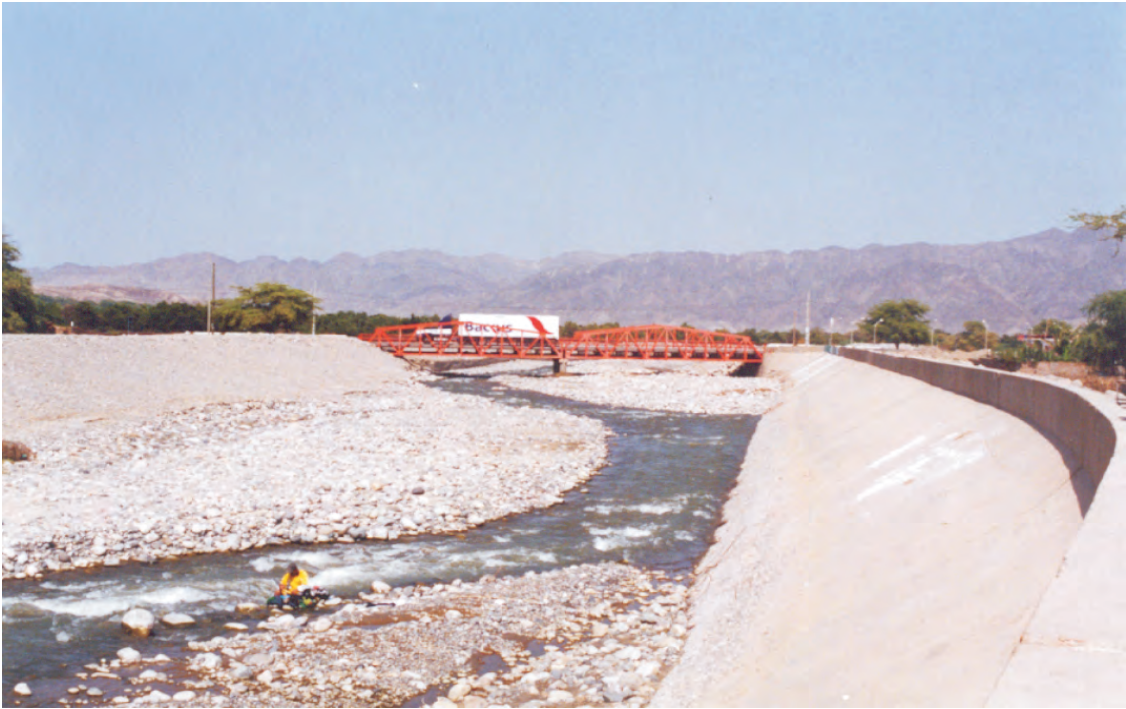


Foto N° 102 Sector Crítico N° 3. Vista superior en el puente Viscas, sobre la Carretera Panamericana Sur, defensas en ambas márgenes que en 1998 fueron rebasadas. Vista inferior, aguas abajo de puente, mostrando la falta de defensas en la margen izquierda



Foto N° 103 Sector Crítico N° 4. Huayco en el km 19+700 (vista superior) y zona de deslizamiento en el km 31 (vista inferior), carretera Nasca-Puquio



Foto N° 104 Sector Crítico N° 9. Zona de derrumbes, sector Pacchán (vista superior) y erosión fluvial (vista inferior), en el sector de Vado (Lucanas, Ayacucho)



Foto N° 105 Zona de derrumbes en la carretera a Salamanca, taludes muy inestables en desarrollo de carretera. Sector Crítico N° 15



Foto N° 106 Sector Crítico N° 17. Derrumbes en rocas muy fracturadas y meteorizadas en ambas márgenes del río Promesa, sectores Pucaruni (arriba) y Ampayapampa (abajo)



Foto N° 107 Sector Crítico N° 20. Taludes inestables en carretera Aplao-Viraco, sector Capiza, cerro Andamayo, derrumbes incentivados por sismos o lluvias



Foto N° 108 Derrumbes en el sector de Huario, carretera Aplao-Chuquibamba. Sector Crítico N° 21



Foto N° 109 Parte del Sector Crítico N° 24, carretera Santo Tomás-Cápacmarca-Cusco. Derrumbes y deslizamientos en los taludes de la carretera



Foto N° 110 Vista del deslizamiento de Maca, ubicado en el Sector Crítico N° 25. Movimiento Complejo activo que compromete áreas de cultivo, carretera Chivay-Cabanaconde



Foto N° 111A Sector Crítico N° 28. Derrumbes que afectan el sector de la línea férrea Juliaca-Santa Lucía



Foto N° 111B Sector Crítico N° 32.
Carretera Cuyo Cuyo-Sandia





Foto N° 112 Vista panorámica de las minas "La Rinconada" (Sector Crítico N° 33)



Foto N° 113 Dos vistas que muestran el detalle del sector crítico N° 33, La Rinconada. Avalanchas de hielo, derrumbes y flujo de materiales



Capítulo X

CONSIDERACIONES GEOLÓGICO AMBIENTALES

La Franja N° 2, que comprende parte de los territorios de los departamentos de Arequipa y Puno (sector norte), Cusco, Apurímac, Ayacucho e Ica; presenta una geomorfología dominada por procesos tectónicos (factores internos) y climáticos (factores externos). Estos dan origen a morfologías variadas, con geoformas como espacios costeros (angostos planos), lomadas con acumulaciones eólicas, vertientes o laderas disectadas, colinas y montañas cordilleranas (cortadas por valles fluviales de corto y gran recorrido), fuertes pendientes, planicies y estructuras volcánicas con elevadas culminaciones (volcanes-nevados y nevados), en las divisorias intercuenas y divisorias de aguas continentales), así como, espacios plano-ondulados a plano-depresionados extensos, que constituyen la superficie altiplánica, con una gran depresión de origen tectónico: el lago Titicaca.

En la zona costera, se localizan algunas formas litorales destacables como las bahías de La Independencia, San Juan y San Nicolás, Punta Carreta, Grande, San Juan, San Nicolás y Lomas, Playas de Yauca, Tanaca, Chala, Las Peñuelas, entre otras.

El litoral costero de la franja presenta sectores bien diferenciados de la Cordillera de la Costa, con relieves elevados y abruptos, entre Caleta Puerto Viejo y Atico, entre Punta San Nicolás y cerro Tres Hermanas y al norte de boca del río Ica, con acantilados rocosos en el litoral, cerros altos abruptos y lomas elevadas de topografía moderada hasta suave, cubiertos por mantos de arenas, los que en pocos kilómetros de distancia, se elevan entre 700 y 1 000 msnm en la zona norte (lomas Cuesta Chilcatay, cerros Achupalla, lomas Ullujalla, cerros San Fernando) y hasta los 1850 msnm en el sector sur (cerro Las Barras, Tarapunta, etc.), sin la presencia de una llanura litoral extensa y con una plataforma continental alargada y paralela a la Cordillera de los Andes.

Entre el mar y la Cordillera de la Costa sólo existen angostas franjas de conos de deyección formada por ríos y valles angostos (Chala, Cháparra, Yauca, Acarí e Ica), muchas quebradas y áreas de interfluvios estacionales que bajan desde los Andes o la Cordillera, muchos de los cuales se secan durante largos períodos, pero con un comportamiento torrencial extremadamente peligroso para cuando sobrevienen lluvias de gran volumen e intensidad o lluvias excepcionales; asimismo, existen algunas áreas con superficies onduladas y plano-onduladas, cubiertas con mantos de arena, cuyos ejemplos más importantes se presentan en los sectores de los cerros La Arena y Los Médanos, pampas Mendoza, Yauca, Toromuerto y Montemar.

Para explicar mejor el comportamiento del relieve, debemos considerar no sólo la topografía, sino también la geología referida a las unidades del substrato de la zona litoral de esta franja, donde se presentan formaciones de rocas metamórficas e intrusivas de edades muy antiguas, conocidas como del Complejo Basal de La Costa; la vegetación, existente entre la zona litoral hasta los 1 000 msnm, que por corresponder al clima semiárido, es de carácter xerofítica y protege muy poco las vertientes o laderas y la meteorización, donde la superficie rocosa aflora directamente se hace propicia la meteorización mecánica, dando origen a guijarros de diferentes tamaños, además de que quedan al descubierto los bloques que se forman por las discontinuidades y fallas. A medida que se asciende, como ya lo hemos dicho, el aire se enfría y se condensa la humedad, con lo cual se producen precipitaciones esporádicas y más frecuentemente neblinas que favorecen una vegetación más frondosa, muchas veces de carácter esporádica y estacional.

En la zona adyacente a la Cordillera de la Costa, destacan en el sector norte de la franja, extensas áreas de pampas áridas, terrazas aisladas, lomadas con grandes acumulaciones de mantos de arenas médanos, dunas, abanicos aluviales y una depresión morfoestructural.

Entre las pampas principales tenemos: El Gran Tablazo de Ica, Los Médanos, Los Castillos, San Antonio, Toma Luz y Salinas de Pileta (adyacentes al río Ica), pampa Salinas, Cinco Cruces, las carreteras (pampas de Nasca; Geoglifos de las Líneas de Nasca), constituidas por materiales detríticos recientes.

Entre las terrazas destacan lomas plano-onduladas aisladas, conformadas por sedimentos marinos (diatomitas y areniscas tobáceas), como: loma Corre Viento, cerro Cuesta del Diablo, cerros La Yesera, entre otros.

La depresión tectónica se conforma como una franja alargada, paralela a la costa entre Acarí-pampa Bella Unión al sur, e Ica, hacia el norte, con un ancho promedio de 10 a 12 km.

Adyacente a la pampa Costanera se localizan las estribaciones de la Cordillera Occidental y el Arco Volcánico, zonas constituidas por rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas que constituyen una morfología donde destacan montañas y colinas bastante disectadas por quebradas y valles juveniles profundos y de fuertes pendientes, con laderas generalmente desprovistas de vegetación, donde los procesos de meteorización física y química actúan fuertemente formando un regolito que varía de inmaduro a maduro. En el sector superior culmina con cumbres nevadas, con altitudes que llegan a sobrepasar los 5 000 msnm, entre los que destacan los nevados Sara Sara, Solimana, Coropuna y Ampato. Dentro de esta unidad mayor se encuentran localizadas unidades tanto de erosión y/o acumulación como: montañas de morfología agreste disectadas por quebradas y ríos, superficies de flujos piroclásticos muy disectadas con inclinación hacia el oeste, colinas volcánicas y sedimentarias, onduladas, disectadas, conos volcánicos y complejos de conos volcánicos, calderas volcánicas, lomadas plano-onduladas de poca elevación con pampas y bofedales, depósitos de morrenas glaciares y áreas de nieves perpetuas.

En la parte oriental de la Franja N° 2 se localiza la zona altiplánica, una superficie de extensión regional conformada por colinas altiplánicas de carácter estructural, plegada en forma de cuevas (rocas sedimentarias), mesetas, valles inundables del Altiplano, valles glaciares y morrenas, zonas de bofedales y pampas. En forma general presentan pendientes variables, de moderada a suavemente inclinadas, plano disectadas por quebradas y valles que drenan hacia la depresión de origen estructural que dio origen al lago Titicaca.

La zona nororiental de la franja, adyacente al altiplano, la constituyen la Cordillera Oriental y la Faja Subandina.

La Franja N° 2, desde el punto de vista de la geodinámica interna está influenciada por la subducción de las placas de Nasca con la Continental con un ángulo de 30°, lo que se ha manifestado con los procesos volcánicos y sísmicos que han ocurrido en su territorio, que le dan una característica especial de compresión.

El hidrotermalismo manifiesto en las zonas andina, Altiplano y de la Cordillera Oriental de la franja, nos permite deducir que la actividad volcánica reciente todavía consta de focos magmáticos activos que están directamente relacionados con la mineralización moderna del área.

El territorio ha estado afectado por una intensa actividad volcánica, la que actualmente se manifiesta en los volcanes o complejo de volcanes activos, latentes y/o dormidos: Ampato-Sabancaya-Hualca Hualca, Coropuna, Solimana, Firura y Valle de los volcanes de Huambo, Andahua y Sora (Arequipa), Sara Sara y Ccarhuaraso (Ayacucho), volcanes de Santo Tomás y volcán Quinsachata (Cusco).

La actividad sísmica ha generado terremotos que afectaron pueblos, produciendo una alta cantidad de víctimas e ingentes daños a la agricultura, a las redes viales y la minería; son recientes los sismos destructores como los ocurridos en Nasca (12-11-1996), Arequipa (23-06-2001) y Antabamba (09-08-2001); estos dos últimos ocurrieron mientras se efectuaban los trabajos de campo de este estudio. En el sector costero la generación de tsunamis ha afectado parte del litoral, los puertos, caletas y playas localizadas en él.

Los procesos de geodinámica externa que afectan a la zona, son variados y están referidos sobre todo a fenómenos de **remoción en masas** (huaycos, derrumbes, deslizamientos y movimientos complejos, reptación de suelos, erosiones fluviales y erosión de laderas, etc.); **peligros hidrológicos** (inundaciones fluviales y lacustres, desertificación y sequía) y **peligros atmosféricos** (heladas y granizadas), los que afectan a las laderas y terrazas de los valles y quebradas con áreas agrícolas, redes viales en carreteras y ferrovías, áreas pobladas, centros mineros y obras de infraestructura. Son importantes los deslizamientos de Lari, Madrigal y Maca (valle de Chivay); derrumbes de Carigua (cañón del Colca), cerro Jollevirca (Andahua-Chachas), sector Huario (vía Aplao-Chuquibamba), sector Capiza (vía Aplao-Viraco), derrumbes en la carretera Antabamba-Abancay; el arenamiento de Tanaca en la Carretera Panamericana Sur, las inundaciones y erosiones fluviales de los ríos Ica, Grande, Vilcanota (Sicuani, San Pedro, San Pablo), los

ríos Huancané, Ramis, Coata e Ilpa y el lago Titicaca; huaycos periódicos, ocasionales y excepcionales que se producen en las quebradas y valles de la vertiente occidental, Cordillera Oriental y algunos valles interandinos.

Desde el punto de vista geológico-económico, la Franja N° 2 consta de ingentes recursos minerales del tipo pórfido, skarn, vetas o mantos y diseminados, los que son explotados por la gran minería, caso Tintaya (BHP-Billiton), Marcona (Shougan Hierro Perú), Orcopampa (Buenaventura), Cailloma, Arcata y Ares (Hoschield); mediana y pequeña minería (Arirahua, San Antonio de Poto, mina Calpa (Caravelí), mina San Rafael (Minsur), mina Santa Rosa (Misti Gold)); y minería artesanal (Yanaquihua, Cerro Rico, La Rinconada, Ananea, y cerca de 40 comunidades en la Franja Nasca-Ocoña), en proceso de prospección y exploración varios prospectos como Las Bambas (BHP Tintaya).

Para las operaciones de mina, tanto de exploración, extracción, como de refinamiento, en los últimos años las empresas mineras han sido sujetas a la adecuación de Programas de Manejos Ambientales (PAMA's) y Estudios de Impacto Ambiental (EIA's), con la necesidad de definir y diseñar en forma integral sistemas de gestión ambiental que conlleven a la mejora del medio ambiente. Las actividades mineras en la Franja N° 2 están relacionadas principalmente a la producción de cobre, hierro, polimetálicos, oro y otros minerales de sus minas. (Ver Fotos N° 114 al 127).

Minerales no metálicos son explotados en pequeña escala, destacando la explotación de rocas calcáreas (Caracoto-Puno),

En cuanto a los hidrocarburos se han localizado a orillas del lago Titicaca, el yacimiento petrolífero de Pirin, abandonado en la actualidad, pero que los pobladores lo usan para extraer el petróleo de manera artesanal para usos domésticos. (Ver Foto N° 128).

Los recursos hídricos superficiales son escasos en la Franja N° 2, sobre todo en la zona sur hacia la vertiente Pacífica, por lo cual se ha tenido que construir obras de embalse y regulación para un mejor aprovechamiento de agua en la agricultura, uso energético y poblacional e industrial, como es el caso de las represas de Condoroma y Pañe, en la cuenca alta del río Colca, Arequipa. Los ríos Arma (irrigación de Ocoña), y Apurímac fuentes de caudales importantes han sido estudiados para efectuar obras de almacenamiento, regulación y trasvase (en el caso de este último), cuyas aguas serán destinadas para usos diversos, en dos proyectos principales respectivamente: Proyecto Río Arma y Presa Angostura, en los cuales ya se han efectuado algunos trabajos de acondicionamiento, carreteras de acceso y algunas obras como canales, estando ambos esperando la ejecución y puesta en marcha final, que es el anhelo de poblaciones de las provincias del norte de Arequipa.

En lo que respecta a los recursos hídricos subterráneos, la zona del Altiplano es muy explotada, extrayéndose agua tanto para uso agrícola, industrial como poblacional, abasteciendo las necesidades de las principales ciudades del departamento de Puno, ex-

plotando aguas especialmente de depósitos aluviales y fluvioglaciares (acuíferos libres), y también en acuíferos de rocas sedimentarias detríticas como areniscas, limolitas y calizas (acuíferos confinados). Asimismo, en el sector de la Costa el valle de Ica tiene la más alta concentración de pozos en el Perú, con más de 1 200 en total del valle, incluyendo la zona de Callango al océano, principalmente para uso poblacional, agrícola e industrial. En las demás áreas de la franja se tiene poco conocimiento del potencial de hídrico subterráneo.

Las aguas termales y minerales de la Franja N° 2 constituyen otro recurso inexplorado hasta el presente, existiendo áreas geotermales que pueden desarrollarse como complejos turísticos tanto para uso como baños termales, termomedicinales (locales o regionales), como también para uso geoturístico paisajístico.

En cuanto a recursos agrícolas, estos están desarrollados principalmente a lo largo de los valles principales de la Costa, Sierra y el Altiplano (tanto en laderas, terrazas, abanicos y conos aluviales, colinas, pampas altas, etc.), sin embargo, también existe otro gran porcentaje de extensas áreas (pampas costaneras) que podrían aprovecharse para la explotación agrícola, pero que por escasez de aguas superficiales en cantidad suficiente como para emprender obras de irrigación, pueden aprovecharse aplicando técnicas modernas de riego (goteo, aspersión, microgoteo, etc.).

En las laderas y márgenes de los valles principales, principalmente en las cuencas medias a altas, los peligros de erosión fluvial y de laderas (cárcavas y surcos) y también reptación de suelos (en las cabeceras de los valles), afectan disminuyendo considerablemente la superficie cultivable o suelo, principalmente se ha observado este problema en la cuenca del río Vilcanota, donde es difícil la recuperación de suelos fértiles; asimismo existen inundaciones fluviales (asociadas a erosiones fluviales) y lagunares que destruyen muchas áreas cultivadas en el área del Altiplano. En algunos sectores las técnicas de riego aceleran los procesos de remoción en masa, como derrumbes y/o deslizamientos, destruyendo grandes áreas de cultivo, tal es el caso del valle del río Colca, donde se ha encontrado la mayor cantidad de ocurrencia de este problema.

Uno de los factores antrópicos de degradación del suelo y el medio ambiente es la quema de pastos y bosque tropical, para implementarlos como tierras de cultivo. Ver Foto N° 129.

La Franja N° 2 cuenta con muchas áreas y/o monumentos geológicos, que por su belleza paisajística e interés científico, deberían ser considerados e incorporadas como áreas naturales intangibles, y diseñar la gestión y uso adecuado para su explotación como recursos geoturísticos, los cuales deberían ser incluidos en "paquetes turísticos", como atractivos adicionales al turismo conocido, lo cual puede constituir fuentes de ingreso locales de los pobladores y/o regiones, que contribuyan a su desarrollo socioeconómico. Cabe destacar las áreas de Tinajani (Ayaviri), Valle de los Volcanes de Andahua, Huambo y Sora (Andahua-Orcopampa y Huambo), Cañón y Cascada de Sipia (río Cotahuasi), Cañón del Colca y fuentes termales del área de Cabanaconde, cañón del río Apurímac, áreas geotermales, grutas de Warari (Livitaca), etc.

La energía eléctrica necesaria para el desarrollo de la región es producida en parte por minicentrales hidroeléctricas locales, otra parte por la interconexión reciente Transmantaro, entre Chalhuanca-Cotaruse-Huambo-Socabaya, parte por la central hidroeléctrica de San Gabán (Puno) y también de Machu Picchu (Cusco), la cual es transportada por las líneas de transmisión que interconectan la zona y los sistemas eléctrico centro-sur y sur.

En lo referente a infraestructura vial, la franja cuenta con vías asfaltadas como la Carretera Panamericana Sur, la carretera Nasca-Puquio-Chalhuanca-Abancay-Cusco (gran parte asfaltada), Juliaca-Puno (asfaltada), carretera Juliaca-Ayaviri-Sicuani-Cusco (asfaltada); numerosas carreteras afirmadas: Arequipa-Santa Lucía-Juliaca (en construcción), Arequipa-Tintaya-Sicuani-Cusco, Tintaya-Santo Tomás-Cusco, Antabamba, Aplao-Chuquibamba-Cotahuasi, Aplao-Viraco-Andahua-Orcopampa, Arequipa-Chivay-Cailloma-Arcata e innumerables trochas carrozables y caminos rurales que entrelazan las diversas ciudades y pueblos de la franja.

La línea férrea Arequipa-Juliaca y Puno-Juliaca-Cusco constituyen un importante medio para el transporte en la Franja N° 2.

En lo relacionado a los aspectos socioeconómicos la población de la franja la constituyen aproximadamente 1,78 millones de habitantes los que viven principalmente en áreas urbanas (ciudades de Juliaca, Puno, Ica, Nasca, Sicuani, Espinar, Ayaviri y numerosos distritos y pueblos), la población rural se halla mayor desarrollada en la zona del Altiplano (Puno) y pueblos rurales de la franja, los idiomas principales que se hablan en la zona son el Español, Quechua y el Aymara, este último en la zona altiplánica.

La principal actividad de los pobladores es la agricultura, siguiendo el comercio, la industria y la minería.

La educación es impartida desde el nivel inicial hasta la universitaria pasando por la secundaria y superior, las principales universidades son las nacionales de El Altiplano de Puno y San Luis Gonzaga de Ica.

La vivienda de las poblaciones en la zona costera es predominantemente con material noble ladrillo y concreto, en la andina y rural predomina el adobe y la quincha.

En la relación geológica ambiental podemos manifestar que los problemas de contaminación que afectan a la franja son de tipo natural y antrópico, los primeros se manifiestan por las fumarolas que arrojan al espacio el volcán Sabancaya, el lavado natural de las rocas volcánicas por los ríos y aguas superficiales y aguas de precipitación; la contaminación antrópica mediante el empleo de plaguicidas y abonos en la agricultura, la sanguija de la actividad pesquera, los relaves y botaderos expuestos a la acción eólica y a la dinámica fluvial y drenajes ácidos de socavones de pequeñas minas y tajos abiertos hoy paralizados, la minería aurífera artesanal, extendida en la Franja Nasca-Ocoña-Cerro Rico Yanaquihua y Ananea-La Rinconada-Sandía; la construcción de nuevas carreteras y acce-

los a la construcción de infraestructura eléctrica y la actividad minera, que han alterado el entorno ecológico natural de áreas que deben ser preservadas como patrimonio geológico.

Otros problemas ambientales lo constituyen el estado de las muchas carreteras afirmadas de penetración, varias de ellas utilizadas por transporte pesado y abastecimiento en centros mineros, que ocasionan el levantamiento de polvo al paso de los vehículos, la ausencia de rellenos sanitarios para la depositación ordenada de los residuos sólidos que producen la población y la industria en la mayoría de ciudades y pueblos distritales, la contaminación por los gases de combustión que arrojan los vehículos automotores cómo ocurre en la ciudad de Juliaca, Puno, Ica y Nasca, principalmente.

Este contexto nos permite manifestar que en la Franja N° 2, desde el punto de vista de la Geología Ambiental hay mucho por hacer y es necesario que tanto el gobierno central, los gobiernos regionales, así como los gobiernos locales incidan en su aplicación para el desarrollo sostenible de sus poblaciones.

Uno de los métodos utilizados en las evaluaciones de impacto ambiental, es el empleo del estudio y definición de las variables o parámetros ambientales que constituyan la “**línea de base ambiental**”, dentro de los cuales los **geoindicadores** (geológicos, geomorfológicos y geodinámicos, geotécnicos e hidrogeológicos) se definen como magnitudes, ratios y tendencias de los procesos geológicos y fenómenos que ocurren en períodos de 100 años o menos, cerca de la superficie terrestre, sujetos a variaciones de importancia para entender los rápidos cambios ambientales. Ellos miden los eventos catastróficos y aquellos que son más graduales, además el impacto, seguimiento y monitoreo.

10.1 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

El Perú cuenta con 52 zonas declaradas como áreas naturales protegidas por el Estado, representando cerca de 12 000 000 de hectáreas, que equivalen aproximadamente al 14,64 % del territorio nacional, las cuales contienen las muestras representativas más importantes de la diversidad biológica del país. Se señalan 32 áreas prioritarias de conservación biológica en el Perú, de las cuales sólo 10 están representadas en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. El manejo de las Áreas Naturales Protegidas del Perú (ANP's) se encuentra a cargo del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE).

De acuerdo a la categoría de manejo o uso, en la Franja N° 2 existen sólo **Tres Reservas Nacionales**: Pampa Galeras - Bárbara D'Achile (Ayacucho), Titicaca (Puno) y Salinas-Aguada Blanca (Arequipa). Ver Mapa N° 26.

Pampa Galeras-Bárbara D'Achile:

Está ubicada en una zona altoandina del departamento de Ayacucho, fue establecida el 18-05-1967, y modificada el 15-04-1993, poniéndole el nombre en memoria de Bárbara D'Achile, una periodista, del Diario "El Comercio" que tiene a su cargo una página ecológica.

Esta reserva comprende 6 500 hectáreas de tierras de propiedad de la comunidad campesina de Lucanas (Ayacucho), que alberga muchas comunidades campesinas del distrito y provincia de Lucanas.

Protege la mayor población de **vicuñas**, especie más representativa y abundante en Pampa Galeras, que motivaron su protección y conservación; el **guanaco**, que al igual que la vicuña se encuentra en estado silvestre. Otros mamíferos presentes son el zorro andino, la vizcacha, la taruca, la muca, el majestuoso cóndor andino, otras especies de aves como la pissaca, la kiula y en los ambientes acuáticos el pato jerga y el pato sutro. El manejo de la fauna se inició en 1965, con la recuperación de la población de vicuñas, mediante el control de la caza furtiva, prohibición del comercio de fibra de vicuña y la asistencia técnica.

Su vegetación característica es el pajonal que crece en grandes grupos dispersos entre los que predominan especies arbustivas y subarbustivas de hábito erguido como la tola y el senecio; en los valles pedregosos es posible encontrar relictos de bosques de queñual y quishuar.

Reserva Nacional del Titicaca

Fue establecida el 31-10-1978, y a nivel internacional ha sido reconocida como sitio RAMSAR o humedal de importancia internacional por su ecosistema y hábitat de aves acuáticas (Convención RAMSAR, 20-01-1997).

Ocupa áreas de las Franjas 1 y 2, en el departamento de Puno, provincias de Huancané y Puno, que comprende a los totorales adyacentes al lago Titicaca y la comunidad campesina Uros-Chulluni, abarcando un área de 36 180 hectáreas, dividida en dos sectores:

- Sector Ramis, en la provincia de Huancané con 7 030 ha, que comprende los totorales de la margen izquierda del río del mismo nombre, además de las lagunas de Yaricoa y Sunuco.
- Sector Puno, con una extensión de 29 150 has que comprende los totorales entre la isla Esteves y la península de Capachica.

Mayormente está compuesta por áreas húmedas, o sectores propios del lago. Ubicada a 3 815 msnm en medio de la meseta del Collao o Altiplano, el lago Titicaca es el

lago navegable más alto del mundo y cuna de importantes culturas que florecieron y se desarrollaron. Los inmensos totorales de la bahía de Puno propician la supervivencia de los pobladores Uros en sus islas flotantes, contribuyendo a la revaloración del lago Titicaca. (Ver Foto N° 130).

Las condiciones fisiográficas y de relieve son variadas: la parte acuática está constituida por el espejo de agua con zonas pelágicas, sublitorales y litorales y la parte continental está formada por islas, penínsulas y playas o terrenos circunlacustres, con formaciones geológicas del Cretáceo y Paleógeno.

El clima es frío y semiseco en la región, con temperaturas promedio de 9 °C, entre una máxima de 15 °C y una mínima de 3 °C, precipitaciones de 650 mm anuales, con intensas lluvias entre diciembre y marzo (75%) y una humedad relativa del 60%.

Las condiciones hídricas considerando aspectos físicos, químicos y biológicos contribuyen a la productividad del lago Titicaca, creando hábitats donde se desarrollan muchas formas de vida acuática ofreciendo un sustrato y una protección para huevos de aves, crías de peces juveniles y pequeñas aves.

La totora, peces y aves contribuyen a la economía y la alimentación de las poblaciones del entorno, proyectadas por la acción de la Reserva Nacional, no sólo a nivel ecológico y estético sino también socioeconómico y de un potencial biológico para la región.

La fauna silvestre del lago está compuesta de:

- Más de 60 especies de aves, entre las que destaca el zambullidor del Titicaca, el yanavico, el cormorán, el totorero, flamencos de las zona altoandinas, chorlos y playeros Charádridos y Scolopácidos, migrantes de Norte América considerados patrimonio internacional. También se encuentran patos y chocas, flamencos, de los cuales se encuentra en extinción la parihuana o flamenco de james.
- Existen 4 familias de peces (14-40 especies del género *Orestias*), entre ellas el carachis y suche, 2 especies exóticas; *Onforynchus mikkis* "trucha" y *Basilichthys banaerensis* "pejerrey". Además especies introducidas como la trucha arco iris, trucha de arroyo y el pejerrey (*Basilichthys bonaerensis*) todas ellas utilizadas como alimento por los pobladores de la zona.
- Entre los anfibios se pueden contar 18 especies nativas, entre ellas la rana toro ó rana gigante del Titicaca, sapo acuático y el sapo común.
- Los reptiles habitan en la riberas del lago, y están conformados por las especies de "lagartijas" y *Tachymenis peruviana* "culebra".
- En mamíferos son relativamente muy pocas las especies, predominando el grupo de roedores o "ratones de campo", la vizcacha, el cuy silvestre y el zorro andino.

- En invertebrados, las poblaciones existentes resultan muy considerables, siendo importantes los artrópodos, moluscos, crustáceos

Reserva Nacional Salinas-Aguada Blanca

Fue creada en 1979 para proteger formaciones vegetales (tola y yareta), ciertas especies típicas de la fauna (vicuña, guanaco) y algunas especies acuáticas que se hallan en peligro de extinción.

Ocupa áreas de las Franjas N° 1 y 2, en la meseta altoandina de Arequipa (provincia de Cailloma y Arequipa), abarcando una extensión superficial de 366 936 ha.

Salinas, es el nombre de un gran lago de agua salada y del salar que se extiende en sus orillas, donde se pueden apreciar decenas de miles de flamencos, gallaretas, ojosos y avocetas andinas. El gélido lago se encuentra circundado de volcanes apagados y del majestuoso Ubinas hacia el sur, suaves matices de puna, el blanco de las nieves Puna. En el período de estiaje (mayo a octubre), llega virtualmente a secarse, pero en la temporada de lluvias recupera su nivel y vuelve a cubrir grandes extensiones con sus aguas poco profundas.

Aguada Blanca, por el contrario, es una vasta extensión de puna, disectada por ríos y quebradas (Chili, Sumbay, Chalhuanca, Chuca, Caquemayo, etc.) cuyo nombre es derivado probablemente del toponimio Cañahuas, nombre de una de las pampas del lugar, donde al igual que las pampas de Toccra, Tolapampa, Pampa del Confital, etc., se crían alpacas. En las pampas existen bofedales o zonas húmedas, son propicias al crecimiento de abundantes y nutritivos pastos, lográndose una producción catorce veces mayor que la de un pajonal de puna.

Aquí pueden verse a las vicuñas, pastando junto a las llamas, alpacas, ovejas, e incluso ganado vacuno, y ocasionalmente guanacos en las faldas del Chachani. Aguada Blanca encierra hermosos lugares labrados en rocas volcánicas por acción eólica, como el bosque de piedra de Mauka, donde habitan innumerables vizcachas, existen grutas en cuyas paredes se observan pinturas rupestres; bosques de queñual y yaretas.

Reserva Nacional de Paracas

En la actualidad, parte del territorio de los antiguos "Paracas", es desde 1975, una Reserva Nacional protegida por el Estado que ocupa 335 000 ha (entre la península de Paracas y punta Morro Quemado), de las cuales el 30% es tierra firme e islas y el 70% aguas marinas. Es la única reservación de la costa peruana que incluye territorio marino, se caracteriza por proteger abundante fauna marina que allí habita: lobos marinos, cetáceos,

tortugas, chungungos y más de 200 especies de aves. Además, se conservan importantes vestigios arqueológicos de la cultura Paracas.

Se localiza entre los paralelos 13° 47' y 14° 17' latitud sur y 76° 30' y 76° 00' longitud oeste, con una longitud en línea recta de 72 km y un ancho máximo en línea recta de 53 km, parte del área sur de esta reserva se encuentra dentro del territorio de la Franja N° 2, la cual es ocupada por las playas entre el sector de El Gallinazo y El Playón, Punta Grande (cerro Morro Quemado), punta Cerro Carreta y punta Gallinazos, isla Independencia La Vieja e isla Santa Rosita (dos zonas guaneras importantes) e islas, islotes menores y rocas a flor de agua; así como la Bahía de La Independencia.

Paracas también es una Reserva Regional para aves migratorias, dentro de la Convención RAMSAR, para la conservación de humedales de importancia internacional.

10.2 PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

En la Franja N° 2 existe un variado patrimonio arqueológico que viene desde los antiguos pobladores de la zona, y que es necesario rescatar y dar a conocer para bien de los pobladores que en ella residen y del país en general. Este patrimonio arqueológico se localiza en: (Ver Mapa N° 26).

10.2.1 Departamento de Arequipa

Descubrimiento de la Dama de Ampato

Estudios de vulcanología realizados desde 1978 por el arqueólogo José Antonio Chávez establecen que, alrededor del año 1466, durante el mandato del Inca Tupac Yupanqui, el Misti y el Sabancaya erupcionaron destruyendo las poblaciones de Arequipa prehispánica. Asimismo, estudios realizados en 1996 en el polen hallado en las ropas de Juanita y otras momias, han determinado que las características climáticas de entonces correspondían al final de una severa sequía y el inicio de un gran fenómeno de El Niño, con abundantes lluvias en la Costa.

Los santuarios descubiertos han permitido precisar el importante rol sagrado que desempeñaron los principales nevados de la región, ofreciendo datos bioarqueológicos de primera fuente con respecto a la población de ese entonces, su alimentación, nivel nutricional, vestimenta, etc.

El descubrimiento fue efectuado el 08-09-1995, en el marco de las investigaciones que el Proyecto Santuarios de Altura del Sur Andino, venía realizando desde hace más de 18 años, la expedición científica encabezada por el antropólogo Johan Reinhard descu-

bió en las cumbres del Ampato, los restos momificados de una niña inca en excepcional estado de conservación. Los estudios posteriores confirmaron que el de **“Juanita”**, como popularmente se denominó a la momia, es el cuerpo hispánico mejor preservado que se haya hallado hasta hoy.

La lluvia de ceniza candente procedente de las repetidas erupciones que sacudieron al volcán Sabancaya (1988-1990), fundió parcialmente los hielos eternos del Ampato a 6 380 msnm, exponiendo la tumba y posibilitando el descubrimiento.

Luego de un prolongado sueño de 500 años en su tumba inca, **“Juanita”**, la doncella del Ampato, despertaba para revelarnos detalles de sus últimos días, cuando el Tahuantinsuyo, amenazado por desastres naturales, recorría al sacrificio humano para **“apacar la furia de sus dioses y restituir el equilibrio del cosmos”**.

Cuevas de Sumbay

Están ubicadas a 88 km de Arequipa, a 4 127 msnm, camino a Chivay-Cailloma. Estas cuevas conservan en su interior valiosas pinturas rupestres de la era Paleolítica. Sus paredes rocosas representan pictografías naturalistas y seminaturalistas, con figuras humanas, auquénidos, pumas, etc., con una antigüedad de 6 000 a 8 000 años.

Puerto Inca

Denominado también **“Quebrada de la Vaca”**, está ubicada en la costa norte del departamento de Arequipa, entre los poblados de Yauca y Chala, km 603 de la Carretera Panamericana Sur. Aquí se concentraba el comercio entre la costa y los Andes del sur en la época incaica, enviándose sobre todo productos marinos para el Inca y su Corte. Existen restos arqueológicos como habitaciones de piedras, reservorios cilíndricos para alimentos semisubterráneos, extensas zonas de andenería, un cementerio y numerosas vasijas. Asimismo encontramos caminos incaicos en los acantilados.

Los estudios arqueológicos indican que varias construcciones de Puerto Inca, muestran detalles de tipo incaico, por lo que éstas corresponderían a la época de expansión del Imperio Inca, quienes habían establecido aquí su control y producción dedicado al cultivo de plantas estacionales y a la extracción de los recursos marinos. Sin embargo, una gran parte de las construcciones parecen ya haber existido antes de la presencia Inca, las que a su vez, habían sido establecidas sobre los Colcas, rellenos y basurales de épocas anteriores. Restos de cerámico Nasca, Chala, Churajón y Colla encontrados por la zona y las lomas de Atiquita refuerzan tal afirmación.

10.2.2 Departamento de Cusco

Raqchi

Es un complejo arqueológico ubicado en el distrito de San Pedro de Cacha (Canchis), en las inmediaciones del volcán Quimsachata. Los arqueólogos lo han dividido en 5 sectores principales: Templo Wiracocha, Plazas, Colcas, Mesapata y Sector E, además de un depósito artificial de agua al frente del templo y una muralla que rodea todo el complejo.

La mayor parte de construcciones son del período Inca (1450-1532). Estudios efectuados por el Instituto Nacional de Cultura (INC)-Cusco y una misión arqueológica española, evidencian restos desde el período Formativo (cerámica del estilo Qaluyu-Marcavalle, 200 a.C.), pasando por el Intermedio Temprano (vasijas sin decoración estilo Pucará (200-700 d.C.), Horizonte Medio (tiestos de cerámica estilo Wari (700-1100), Intermedio Tardío (cerámica Collao e Inac Collao, 1100-1450), y el Horizonte Tardío con cerámica Inca Imperial, donde se construyó el **Templo de Wiracocha**. Ver Foto 131

Kañamarca

Restos arqueológicos en regular estado de conservación que se encuentran a 12 km de Yauri (Espinar). En este lugar anualmente se efectúa un festival folklórico con participación de representantes del ámbito provincial. (Ver Foto N° 132).

Mauk'a Livitaca

Ciudadela Preinca ubicada a 5 km de Livitaca, en el lugar llamado "Qewincha Orqo", donde quedan vestigios de recintos, murallas, chullpas, acueductos; por estilo arquitectónico el monumento perteneció a la Cultura Wari.

Chullpas de Chiñisiri

Es un hermoso grupo arqueológico situado a 8 km de Livitaca, en el lugar llamado "T'oqra", las chullpas están construidas con arcilla y paja finamente preparada, en estas construcciones también se utilizó la piedra sillar, así mismo las fachadas se encuentran pintadas de colores blanco rojo y ocre.

10.2.3 Departamento de Puno

Kaluyo

Horizonte Formativo Tardío (200 a.C.- 400 d.C.).

Tiahuanaco

Horizonte Formativo

Complejo Arqueológico de Sillustani

Este complejo arqueológico Preinca e Inca, constituye una de las necrópolis más importantes del continente, construidas por los Collas (Ver Foto N° 133). Está ubicado a 34 km de la capital sobre los 4 000 msnm, en una explanada rodeada por la laguna Umayo; famoso por sus maravillosas construcciones funerarias de piedra, llamadas “Ayawasis” o “Chullpas”, donde los Collas enterraron a su realeza, constituyendo al mismo tiempo el Santuario de la Fertilidad. Algunas chullpas están edificadas en piedras volcánicas de más de 12 m de alto.

Pucará

Centro arqueológico ubicado a 114 km al norte de la ciudad de Puno, es el más importante centro ceremonial del Altiplano, anterior al Tiahuanaco, caracterizado por una serie de plataformas escalonadas que semejan una pirámide llamada Kalasaya, culminada en un centro ceremonial plano. Pucará, unos 100 a.C. llegó a ocupar su máximo auge cultural donde se desarrolló Kaluyo, dejando importantes restos arqueológicos.

Quilli Quilli

Pinturas rupestres con manifestaciones humanas de pescadores, cazadores y recolectores, así como las andenerías y Chullpas de Tanta Macu.

Cancha Cancha

Centro ceremonial de la Cultura Pucará, localizado a 1 km de Tintiri, en la comunidad de Huawayquía. Se encuentran monolitos tallados en piedra de 3 m por 0,80 m en forma de serpiente y cabeza de puma, suches en alto relieve, lagartos de 1,50 por 0,40 m.

Huaraconi

Asimismo a 3 km de Cancha Cancha, se ubican petroglifos y grafolitos de diversas formas geométricas y formas de animales en más de 500 mil dibujos.

Maucallajta

Ciudadela Preinca localizada a 2,5 km de Umachiri, construida con habitaciones rectangulares y circulares en un área de 7 000 m².

Maucallajta de Cuchopujio de Nuñoa

Ciudadela del período Intermedio Tardío. Se encuentra a 15 km de Nuñoa, conformada por habitaciones rectangulares en un área de 20 000 m². Cerca se encuentra la fortaleza de Apu Pucará.

Necrópolis de Ulunku y Huancarani (Moho)

Chullpas

Fortaleza de Quequerani

Murallas de antigua ciudadela (Siluya) y torres funerarias de formas cuadrangulares y ovoides (Pariani).

Keñalata (Vilquechico)

Cementerio de Chullpas en forma cónica y cuadrada, hechos de piedra y barro; algunos con motivos zoomórficos ectoes, culebras, llamas, etc.

También se han observado numerosas chulpas diseminadas en las laderas y pampas del Altiplano, como las del cerro Granda. (Ver Foto N° 134).

10.2.4 Departamento de Ica

Centro de importantes civilizaciones preincas: Nasca (300 años a.C.) y Paracas (700 años a.C.).

Líneas de Nasca

Fechadas entre los años 550-650 d.C., es decir durante la Fase Nasca Temprano del período Intermedio Temprano.

Líneas y otros dibujos o geoglifos trazadas sobre una superficie plana (pampas), que son visibles sólo desde el aire. Tienen dimensiones que van desde pocos metros hasta más de cien metros, y aunque las más famosas son las figuras, más numerosas son las líneas. Los dibujos rápidamente identificables son: “el mono”, “la araña”, “la ballena”, “el ave”.

Están ubicadas en las pampas de San José, Cinco Cruces, Las Carreteras, etc., en un área aproximada de 450 km². Las extrañas representaciones fueron dados a conocer en 1939 por Toribio Mejía Xespe, representan las figuras de diversos animales y plantas. Resulta sorprendente la espectacular dimensión de los dibujos. Las figuras de los animales alcanzan de 15 a 300 m, líneas rectas de hasta 10 km de largo.

Líneas de Palpa

Aunque no son muy difundidas en el pueblo de Palpa, también destacan líneas y otros dibujos o geoglifos trazados sobre las pampas de Palpa, visibles desde el aire y cuyas formas se hallan en proceso de divulgación por el Consejo Municipal de Palpa.

10.2.5 Departamento de Ayacucho

Andamarca

Se ubica a 3 550 msnm, en el segmento nororiental de la provincia de Lucanas, abarca un territorio de 80 000 ha, conocida también como la Histórica Capital de los Lucanas. Se llega por vía terrestre desde Puquio, por una vía afirmada que luego de llegar a la meseta de Yauriwiri se arriba a la zona. Otra ruta alterna desde Puquio conduce hacia los turísticos baños de Jeronta, desde donde se asciende hasta el sector Inca Pallanca, para descender bordeando la laguna de Troyana y empalmar con la primera carretera en Canllapampa y continuar a Andamarca. Al descender desde Huajrara, se descubre en las

márgenes del río Negromayo una andenería Inca, bien preservada, cubierta de vegetación, resguardada por jóvenes eucaliptos, quishuares y retamas.

Lo destacable de la zona es que se han construido andenes en todos los espacios posibles, y continúan sirviendo para el cultivo.

Lo característico de estos andenes en Campanero, Balcón, Juncuylo, Paquiojta y Pataymire, es que han ganado una belleza que apasiona, ya que las piedras han sido artísticamente labradas; donde los altísimos conocimientos de ingeniería se evidencian en el sistema que lleva agua a los andenes. Muchos canales son subterráneos y continúan sirviendo. Son los llamados “Pinchas”.

Se ha comprobado que la tierra utilizada en la parte superior cultivable de los andenes ha sido transportada de otros sectores, seleccionada especialmente para el tipo o variedad de maíz que se cultiva.

Chipao

Está ubicado al pie del volcán Ccarhuaraso, que aparece como principal guía y protector de los pueblos de la región, este es otro centro principal de la gran Cultura de los Lucanas.

En este pueblo destaca su templo colonial donde es posible encontrar notables altares y cuadros de personalidad indiscutible.

10.2.6 Departamento de Apurímac

La provincia de Antabamba, es considerada un importante centro arqueológico, donde abundan cavernas funerarias y donde se han encontrado cráneos trepanados, con una perfección que asombra a la cirugía moderna, esculturas en cerámica, armas, utensilios domésticos e instrumentos de caza.

Destacan en el departamento de Apurímac dentro de la Franja N° 2:

Templo de Pampamarca

Se encuentra en el anexo de Pampamarca (3 430 msnm), al sureste del distrito de Cotaruse, a 4 km del mismo y a 26 km de Chalhuanca. Fue el primer pueblo español fundado en Aymaraes por el año 1578.

Fue dedicado a la virgen Nuestra Señora de las Mercedes y su edificación corresponde a los siglos XVIII y XIX (1781-1814) a cargo del cura Agustín Pío.

Presenta un atrio de dos niveles, cerrado con arquerías de adobe y una torre de piedra de mampostería ordinaria, de 20 m de altura.

Aquí se encuentra la campana “María Angola Menor”

Bosque de Queuñas de Lancaqui

Está ubicado en el distrito de Cotaruse, a 22 km de la ciudad de Chalhuanca en el anexo de Lancaqui, al oeste del mismo (3 705 msnm), al que se accede por un camino de herradura de 8 km de recorrido desde Cotaruse. Tiene 150 ha.

Es de clima templado frío, se extiende desde los márgenes del río Pararani, que discurre por el bosque, hasta la cuenca media de los cursos de Antacocha, Pachori. Se puede practicar la pesca y deportes de aventura, como el escalamiento en roca y caminatas, a una distancia de 9 km.

Templo de Huayllaripa

Está ubicado al oeste de Chalhuanca, a 35 km en la parte alta, cerca de la carretera que lleva a los baños termales de Pincahuacho. Fue construido en la época de la Colonia en un lugar eminentemente minero, donde existían lavaderos de oro. Permanece abandonado (Ver Foto N° 135).

Templo de Chuquinga

Ubicado al oeste de Chalhuanca a 1,2 km del mismo y se halla a 2 910 msnm). Su edificación es de la época Imperial. Fue construido con piedra y barro de mampostería ordinaria y adobe. Se encuentra en regular estado de conservación.

Templo de Pairaca

Ubicado al suroeste de Chalhuanca, a 1,2 km del mismo, a 2 910 msnm). Su edificación es del estilo virreinal. Está a orillas del riachuelo de Tintasma, es un acogedor lugar para el esparcimiento familiar.

Andenería de Caraybamba

Son andenerías precolombinas sostenidas por muros de contención, adecuados a la topografía de terreno, están ubicadas en el distrito del mismo nombre; al suroeste de Chalhuanca, a 19 km del mismo. Son una de las construcciones prehispánicas más extensas de Apurímac. Ocupa 150 ha aproximadamente. Se encuentra en regular estado de conservación.

Bosque de titankas o puyas de Raimondi

Ubicado en el distrito de Capaya a 38 km de la ciudad de Chalhuanca, por carretera, en el anexo de Jancho al suroeste del poblado, a una distancia de 9 km por camino de herradura. Aquí se observa un rosal de unas 30 puyas en inflorescencia (secos), los que alcanzan aproximadamente 11 m de altura, y unos 450 receptáculos cuyas especies son tan duras, semejantes a pequeñas gorras.

La flora que ofrecen las puyas, según el estado de madurez presentan diferentes matices desde el blanco al rosado y morado. Se encuentra en regular estado de conservación.

Baños termomedicinales de Pincahuacho

Se ubican al noroeste de Chalhuanca, en el anexo de Pincahuacho (3 160 msnm) a una distancia de 7 km por carretera. Sus aguas sulfurosas están formadas por 5 ojos de agua caliente, de las que emerge un buen volumen de agua con una temperatura superior a 45 °C.

Son famosos, por sus propiedades curativas para el tratamiento de artritis, reumatismo, enfermedades bronquiales, entre otras.

Cuentan con un moderno minicomplejo turístico de dos pisos, para el hospedaje.

El uso de estos baños se realiza de día y de noche.

10.3 ÁREAS GEOLÓGICAS TURÍSTICAS (PARQUES, MONUMENTOS Y ÁREAS NATURALES)

Son áreas geológicas, que destacan por sus monumentos o áreas naturales, con geoformas de interés turístico paisajístico o interés científico-didáctico. Convenientemen-

te implementadas, pueden utilizarse para desarrollar el ecoturismo recreacional, turismo de aventura, científico, etc; tanto para ciudadanos nacionales como extranjeros. Dentro de éstas, se proponen los siguientes parques, monumentos y áreas naturales: (Ver Mapa N° 26)

Parque Natural Volcanes de Andahua, Orcopampa y Sora

Ubicación: distritos de Andahua, Orcopampa y Ayo, provincia de Cailloma, departamento de Arequipa.

Tipo de interés geológico: por su contenido petrológico, volcánico-tectónico; utilización turística y científica; influencia nacional e internacional.

Atractivos:

- Aproximadamente 23 conos de escorias y flujos de lavas de volcanes monogenéticos, que poseen alturas entre 40 y 300 m con relación a los terrenos circundantes. Volcanismo estromboliano y efusivo (Ver Foto N° 136).
- Cascada sobre el río Andahua-Challahuire
- Laguna de Chachas, originada por el represamiento del río Challahuire, por efectos de la actividad volcánica.
- Laguna de Mamacocha.
- Río Colca
- Andenería Inca abandonada y erosionada, en el sector de Ayo.

Comunidades altoandinas: Andahua, Chachas, Ayo, Soporó, Orcopampa, Chilcaimarca, Chapacoco, etc.

Monumento Natural de Warari

Ubicación: a 2 km del distrito de Livitaca, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco a una altitud de 3 500 msnm.

Tipo de interés geológico: por su contenido espeleológico, hidrogeológico; utilización turística y didáctica; influencia local, regional y nacional.

Atractivos: Grutas de Warari. El término quechua «waqariy=llanto». El primero que dio a conocer al mundo fue el naturalista Antonio Raymondi, quien en busca de minerales transitó por Livitaca el año de 1865, es considerada la gruta más grande del país, tiene una longitud de 78 m.

Fernán Molina Boza, un estudioso de la localidad de Livitaca, en una publicación de la Municipalidad Distrital de Livitaca (1997) detalla los lugares más importantes, donde las caídas y goteos de agua subterránea han formado caprichosas y maravillosas figuras, como:

- Ingresando a la mano derecha se tiene: «Chincana Grande», «Cera Wasi» (estalactitas semejantes a cirios), «Organo», «La Torre Huaycho» (réplica de la torre de la población).
- En la parte media, y en forma dificultosa se choca con: «La Cabeza de Elefante» y a su lado «La Boca del León, puma o cocodrilo» (el cual ha sido mutilado; «La gruta de la Virgen de Lourdes», «El Horno», «El Púlpito». (Ver Foto N° 137A).
- Después de cruzar unas aguas: «El Domingo Q'atu», «La Choza o Paragua», «El Pinñi Qocha. (Ver Foto N° 137B).
- Luego se sube por «Siqui Chaq'ena a «Qashuana Pata» o «La Discoteca» como lo llaman los lugareños, donde se aprecia un lugar amplio con asientos.

Monumento Natural Valle del río Colca

Ubicación: distritos de Chivay, Yanque, Lari, Ichupampa, Madrigal, Achoma, Maca, Cabanaconde (Cailloma), Ayo (Castilla), Sibayo, Callalli, Tisco, departamento de Arequipa, a una altura de 4 100 msnm.

Tipo de interés geológico: por su contenido geomorfológico, volcánico, geodinámico, histórico-cultural y paisajístico; utilización turística y didáctica; influencia regional, nacional e internacional. (Ver Foto N° 138).

Atractivos:

- Cañón sobre el río Colca con 3 191 m de profundidad.
- Géiser de Paclla y piscinas de aguas termales en Sallalle, sector de Cabanaconde; complejo de baños termales de La Calera; baños de Chopayo y el Inca (Chivay, Yanque y Sibayo); catarata de Huaruro.
- Géiser y aguas termales entre Sibayo, Tisco y Cota Cota (Cotaña, Acopiñata).
- Volcanes-nevados de Ampato, Sabanacaya y Hualca Hualca.
- El Castillo de Callalli, edificio o monumento natural labrado en ignimbritas.
- Lugar donde se pueden realizar deportes de aventura como: canotaje en el río Colca, parapente, ciclismo de alta montaña, escalada en roca, trekking (Cabanaconde-Andahua), pesca deportiva, excursiones a caballo, etc.
- Andenería o terrazas agrícolas.
- Colcas de los antiguos Collaguas, civilización 1 000 años más antigua que la de los Incas.

- Comunidades de Tapay, Cosnihua, Malata, Soro, Llanca, Ajpi, Choco, Tuti, Canocota, etc.

Monumento Natural Valle del río Cotahuasi-Huarcaya

Ubicación: está ubicado en las provincias de La Unión y Condesuyos, al NO de Arequipa.

Tipo de interés geológico: por su contenido geomorfológico, paisajístico; utilización turística y científica; influencia regional, nacional e internacional. Ver Foto N° 139

Atractivos:

- El cañón sobre el río Cotahuasi, considerado el más profundo y bello del planeta con 3 535 m.
- Catarata de Sipia, con una caída libre de 150 m.
- Baños termales, aguas arriba del poblado de Cotahuasi (Baños de Luicho y Lucha).
- Volcanes nevados de Solimana y Firura; valles glaciares, valles colgados y calderas volcánicas; lagunas.
- Volcán de Kiura (aguas arriba de Puica).
- Lugar donde se pueden realizar deportes de aventura como: canotaje en el río cotahuasi, parapente, ciclismo de alta montaña, escalada en roca, "trekking" (Cotahuasi-cañón de Sipia), pesca deportiva, excursiones a caballo, etc.

Parque Natural de Tinajani

Ubicación: a 12 km de Ayaviri, distrito de Ayaviri, provincia de Melgar, departamento de Puno, a una altura de 4 100 msnm (cuadrángulo de Ocuvi). Área aproximada de 16 km², cortado por el río Pacobamba.

Tipo de interés geológico: por su contenido geomorfológico, sedimentológico, paisajístico y otros; utilización turística y didáctica; influencia regional y nacional. (Ver Foto N° 140).

Atractivos Turísticos:

- Ciudadela de piedra, producto de la erosión eólica y pluvial, de grandes masas rocosas (formación sedimentaria: capas rojas de areniscas y conglomerados subhorizontales), que originan singulares formas caprichosas; es una ciu-

dad formada por murallones imponentes, edificios y columnas naturales de areniscas rojas, que asemejan a grotescas figuras y formas humanas.

- Diversas figuras antropomorfas y zoomorfas, labradas por la erosión, en buen estado de conservación.
- Sector Qaqallanku: pequeñas chullpas de barro de 1,20 m de altura.
- Todos los años se organiza un festival de Arte Folklórico de Tinajani, en este lugar.
- Tarujani: bosque de puyas Raimondi; descubierto el siglo anterior por el sabio italiano Antonio Raimondi, la gran planta llega a tener hasta 12 metros de altura; pertenece a la familia de los *BROMELIACEAS*. De aspecto muy característico, la planta florece solamente una vez cada 100 años, justo antes de morir. Su florecimiento es considerado por los campesinos como señal de que el año entrante traerá buenas cosechas.

Monumento Natural de Pachapupo

Ubicación: está ubicado a 7 km de la carretera Putajasa-Sacsamarca (hoja de Santa Ana), departamento de Ayacucho.

Tipo de interés geológico: por su contenido volcánico, geomorfológico y paisajístico; utilización turística y didáctica; influencia local, regional y nacional. (Ver Foto N° 141).

Atractivo: zona de acumulación de sínTERS antiguos con crecimiento piramidal, columnar de aproximadamente 10 m de alto en un área de 25-30 m de radio, con un orificio en la parte superior; presencia de aguas termales en las inmediaciones y en el centro de la estructura.

Monumento Paleontológico de Sacaco

Ubicación: está ubicado a la altura del km 540 de la Carretera Panamericana Sur, muy cerca de Acarí.

Tipo de interés geológico: por su contenido paleontológico; utilización turística y didáctica; influencia local, regional y nacional.

Atractivo: zona paleontológica (vertebrados) que rodea a Acarí, la cual estuvo cubierta por varios millones de años, donde hoy en día se pueden apreciar algunos fósiles que han quedado, un ejemplo importante es el de la ballena que se encuentra en el museo de sitio de Sacaco. Ahí se podrá encontrar cantidades de fósiles de animales que habitaron esa zona, así como el fósil conocido como ballena con 5 000 000 de años de antigüedad.

Monumento Natural Cañón del río Apurímac

Ubicación: está ubicado entre los km 40 y 49 de la carretera Cailloma-Yauri (aguas abajo de Suyckutambo-Virginiyoc), distritos de Suykutambo y Coporaque, provincia de Espinar, departamento de Cusco.

Tipo de interés geológico: por su contenido estratigráfico-volcánico, geomorfológico-paisajístico; utilización turística y didáctica; influencia local y regional. (Ver Foto N° 142).

Atractivo:

- Cañones labrados por los ríos Cayomani, Apurímac y Cerritambo, en su totalidad sobre rocas volcánicas ignimbritas, con longitudes de más de 8,5, 7,0 y 3,5 km respectivamente; paredes abruptas subverticales con altitudes entre 150 y 200 m de alto, cortando una gran planicie volcánica, muy disectada (ignimbritas del Barroso inferior del Plioceno), que van descendiendo en altura aguas abajo (hoja de Velille).
- Sobre las planicies se encuentran restos o ruinas denominadas María Fortaleza.
- Lugar donde se puede realizar deportes como: canotaje en el río Apurímac y afluentes, parapente, ciclismo de alta montaña, escalada en roca, "trekking", etc.

Monumento Natural de Imata

Ubicación: está ubicado entre Imata y la pampa de Confital, distrito de San Antonio de Chuca, antigua carretera Arequipa-Juliacá

Tipo de interés geológico: por su contenido, geomorfológico-paisajístico; utilización turística; influencia local y regional. (Ver Foto N° 143).

Atractivo: formación rocosa muy original labrada en rocas volcánicas, mostrando columnas pétreas naturales que toman la apariencia de un misterioso bosque encantado y petrificado.

Parque Natural Volcanes de Huambo

Ubicación: distrito de Huambo, en la carretera Huambo-Alto Siguas.

Tipo de interés geológico: por su contenido petrológico, volcánico-tectónico; utilización turística y científica; influencia regional y nacional. (Ver Foto N° 144).

Atractivos

- Aproximadamente 7 conos de escorias y flujos de lavas de volcanes monogenéticos, que poseen alturas entre 60 y 180 m, respecto a los pampas circundantes.
- El volcanismo es del tipo estromboliano y efusivo.
- Cerros Marbas Chico (2), Marbas Grande (1), cerro Uchán (3 conos) y uno al costado de la laguna Llajuapampa.

Monumento Natural Volcán Nevado Coropuna

Ubicación: distritos de Pampacolca y Viraco.

Tipo de interés geológico: por su contenido geomorfológico, volcánico, glaciológico; utilización turística, científica y paisajística; influencia regional y nacional. (Ver Foto N° 145).

Atractivos

- Volcán nevado Coropuna, el más alto y de gran extensión glaciada del país, que presenta cinco culminaciones, aparentemente asociadas a domos volcánicos con altitudes de 6 111, 6 161, 6 234, 6 305 y 6 377 msnm. Presenta una superficie cubierta de hielo y nieve más o menos permanente en un área aproximada de 67 km².
- Volcanismo reciente con lavas tipo AA, en el flanco norte del volcán; flujos piroclásticos, lahares y domos.
- Valles glaciares colgados, morrenas y morfologías glaciares.

Parque Natural Ccarhuaraso-Andamarca-Pucacocha

Comprende parte de las provincias de Lucanas, Sucre y Parinacochas, en el departamento de Ayacucho. Dentro de esta área se distinguen estructuras variadas, depósitos y geoformas ligados a la actividad volcánica, que constituyen atractivos turísticos que puedan ser aprovechados para el desarrollo socioeconómico de la región. Además de restos de la cultura Inca.

Atractivos:

- Volcán nevado Ccarhuaraso, cuya cumbre tiene 5 124 m, con cobertura de hielo y nieve.

- Fuentes termales ligadas a la actividad volcánica, localizadas sobre todo en las zonas de Chipao y Santa Ana de Hualcahuacho, al oeste y noroeste del volcán respectivamente.
- Fauna silvestre variada como: venados, vicuñas, aves, etc.
- Innumerables lagunas que albergan una fauna silvestre variada, distribuidas en una gran altiplanicie.
- Andenería Inca bien preservada, localizada en la zona de Andamarca (Carmen Salcedo).



Foto N° 114 Colapso de la presa de relaves de la mina Perla, ocurrida en noviembre de 1996, a raíz del sismo de Nasca; nótese la masa de lodo que fluyó de la presa y que afectó áreas de cultivo, sector de Otapara, en la margen izquierda del río Acari



Foto N° 115 Pasivo ambiental; relaves y labores abandonadas de la actividad minera aurífera en la margen derecha del río Otonca (Ayacucho), actualmente explotados por mineros artesanales (Franja Aurífera Nasca-Arequipa)



Foto N° 116 Depósitos de relaves antiguos del asiento minero La Capitana, ubicados en la margen izquierda de la quebrada Charpa (Ayacucho), sujetos a erosión fluvial y a contaminación de las aguas de la quebrada.



Foto N° 117 Vistas de los relaves del asiento minero La Capitana, quebrada Charpa. Nótese los flujos originados por la saturación del material



Foto N° 118 Minería aurífera artesanal en el sector de Hualca Pampa, cerca de Yanaquihua (Arequipa), que genera pasivos ambientales



Foto N° 119 Relaves de la mina Santa Catalina, actualmente en poder de la compañía Río Azul, localidad de Utec, cerca de Puquio (Ayacucho), pasivo ambiental ubicado cerca de áreas agrícolas



Foto N° 120 Dos vistas de los relaves de la mina Madrigal (Arequipa), que constituyen un pasivo ambiental. Nótese la formación de dunas y migración de polvo fino por acción eólica, que está afectando terrenos de cultivo. Se aprecia en los depósitos de relave, el sistema de riego abandonado



Foto N° 121 Pasivo ambiental dejado por la mina Suyckutambo (Cusco), donde se encuentran 2 a 3 niveles de material que ocupa una área de 120 m de largo x 60 m de ancho (vista superior). En la parte alta cerca de las bocaminas y socavones abandonados, después de pasar por los botaderos, se observa la presencia de aguas ácidas de bajo caudal (vista inferior)



Foto N° 122 Pasivo ambiental en la mina Katanga, trabajada a tajo abierto (skarn de Cu-Fe), en la hoja de Livitaca. Mina abandonada, donde se aprecian depósitos de relaves abandonados. En la vista inferior, canal y muro de mampostería de piedra en el borde del relave, para el escurrimiento de aguas superficiales, margen izquierda de la quebrada Sacrane. No existe protección para aguas pluviales y acción eólica



Foto N° 123 Localidad de Orcopampa (Arequipa), donde se ubica la compañía minera del mismo nombre. Nótese al fondo el área de relaves, antiguos (izquierda) y recientes



Foto N° 124 Mina Arirahua (Arequipa); nótese los pads de lixiviación de la mina en operación



Foto N° 125 Dos vistas de la mina Tintaya (Espinar, Cusco), que muestran la villa minera, el campamento, el área de operaciones y los botaderos



Foto N° 126 Sector de Ananea (Puno), donde se realizan actividades mineras de pequeña minería y minería artesanal aurífera. Mina Gavilán de Oro



Foto N° 127 Pasivo ambiental (relaves) de la mina Santa Bárbara (MINSUR), cerca al poblado de Santa Lucía, Puno), en la nueva carretera Arequipa-Juliaca



Foto N° 128 Derrame de petróleo en pozo del campo de Pirín (Puno)



Foto N° 129 Daños originados por incendios forestales en el sector San José, Carretera Cuyo-Sandia



Foto N° 130 Dos vistas de la Reserva Nacional del Titicaca. Isla flotante Los Uros - Chullune (arriba) y Punta Ventanane, al sur de isla Taquile (abajo)



Foto N° 131 Portal principal del **Templo de Wiracocha**, en el complejo arqueológico de Raqchi. Inmediaciones del volcán Quimsachata (Sicuani-Cusco)



Foto N° 132 Restos arqueológicos de la ciudadela de piedra de **Kañamarca** (Espinar-Cusco), donde anualmente se efectúa un festival folklórico provincial



Foto N° 133 Dos vistas del complejo arqueológico de Sillustani (Puno), donde se observan las construcciones de piedra denominadas "chullpas". Patrimonio arqueológico Preinca, construido por los Collas



Foto N° 134 Chullpas en el sector de Cerro Granda (Puno)



Foto N° 135 Ruinas de Huayllaripa, Iglesia de la época colonial, en el distrito de Chalhuanca (Apurímac)



Foto N° 136 Vista panorámica del valle de los Volcanes de Andahuayla (Arequipa), donde se observan conos de escorias, volcanes monogenéticos, flujos de lavas y la laguna de Chachas. Nótese que la construcción de la línea de transmisión eléctrica (accesos y torres), ha modificado el ambiente paisajístico natural. Se ha recomendado protegerlo como **PARQUE NATURAL**, por su interés geológico, turístico y científico nacional e internacional



(A)



(B)

Foto N° 137 (A) Interior de la gruta de Warari (Livitaca, Cusco). (B) Formas caprichosas de origen cársico (aguas subterráneas), que muestra "la choza" (izquierda) y la "boca del león" (derecha), esta última ha sido mutilada

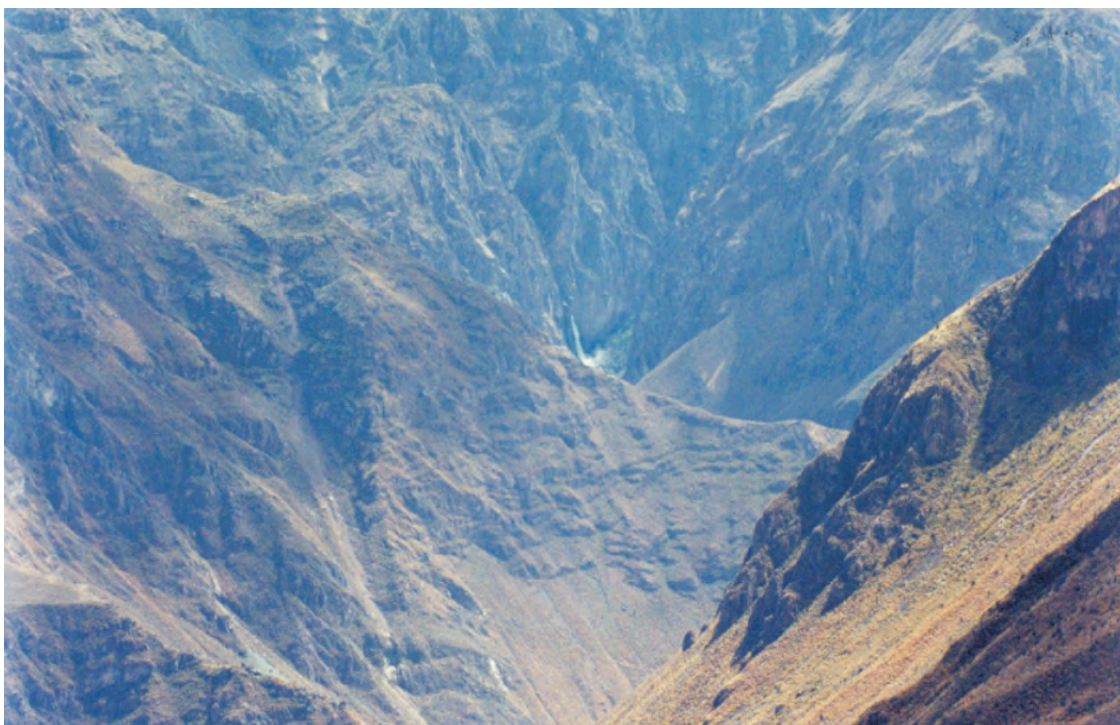


Foto N° 138 Dos vistas en el sector del valle y cañón del Colca (Cabanaconde, Arequipa). En la foto superior, vista de la andenería en el valle de Chivay; en la foto inferior, catarata de Huaruro, en una quebrada afluyente del río Colca, por la margen derecha



Foto N° 139 Dos vistas del cañón sobre el río Cotahuasi (3 535 m de profundidad). Considerado el más profundo del planeta (La Unión, Arequipa), labrado en rocas sedimentarias. En la foto derecha la Catarata de Sipia, con una caída libre de 150 m, principal atractivo turístico del lugar



Foto N° 140 Dos vistas del cañón de Tinajani (Ayaviri-Puno). En la vista superior, se muestra un bloque de piedra, originado por la erosión eólica y pluvial que ha labrado capas rojas horizontales. En la inferior, un bosque de puyas de Raimondi en el sector de Tarujani área recomendada para su preservación como Parque Natural.





Foto N° 141 Monumento natural de Pachapupo, a 7 km de la carretera Putajasa-Sacsamarca (Ayacucho). Acumulación de sínTERS antiguos con crecimiento piramidal, columnar y presencia de aguas termales. Atractivo de carácter geológico y paisajístico poco común



Foto N° 142 Monumento natural de Imata (Arequipa). Bosque de piedras en la margen izquierda del río Chuca, labrado en ignimbritas



Foto N° 143 Vista panorámica del cañón observado entre los km 40 y 49 de la carretera Cailloma-Yauri (aguas abajo de Suyckutambo-Virginiyoc-Cusco). Se observa al río Apurímac y sus afluentes los ríos Cayomani y Cerritambo, formando varios cañones labrados en su totalidad en ignimbritas, mostrando una gran planicie volcánica, muy disectada con paredes abruptas subverticales

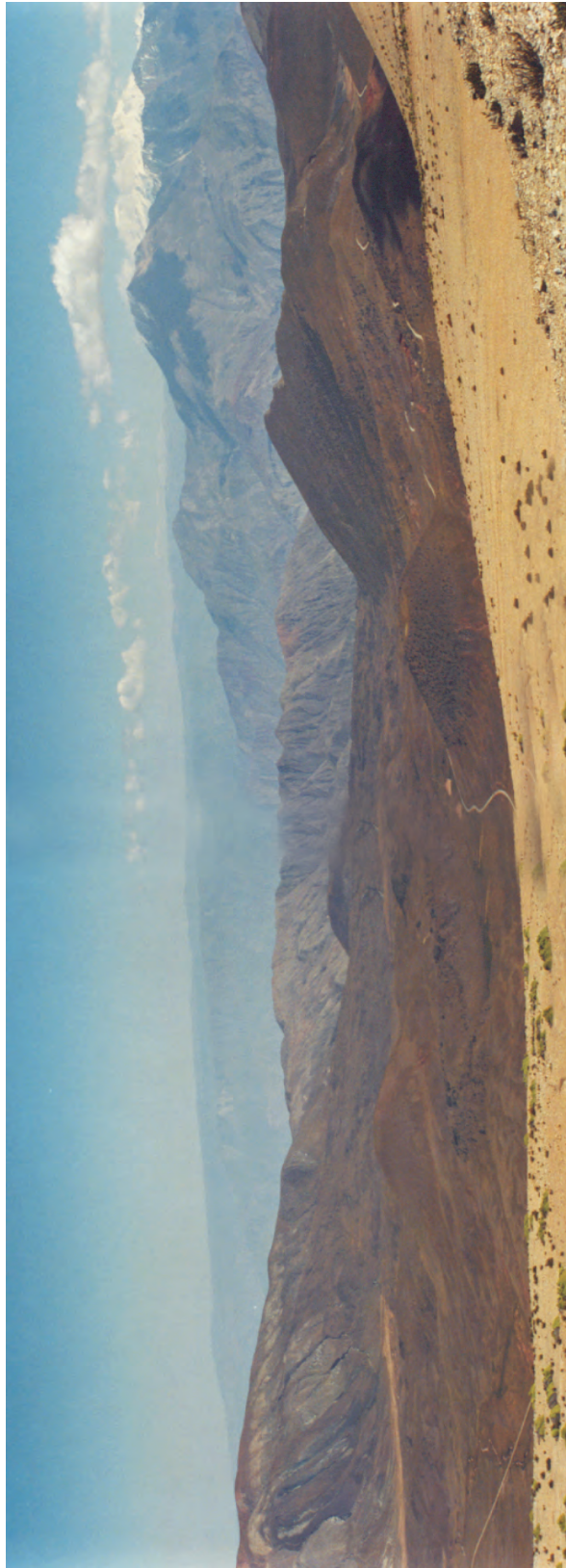


Foto N° 144 Parque natural Volcanes de Huambo (Arequipa). Conos de escorias de volcanes monogenéticos y lavas de tipo fisural



Foto N° 145 Volcán nevado Coropuna (Arequipa). Se observan áreas glaciares permanentes y lavas volcánicas recientes

Capítulo XI

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O CORRECTIVAS

11.1 CÓMO PUEDEN IDENTIFICARSE ZONAS AMENAZADAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

- Mediante el inventario de los peligros naturales que han afectado o afectan a una área, apoyándose en el estudio de sensores remotos (fotografías aéreas, imágenes de satélite, imágenes de radar), cartas fotogramétricas o topográficas, documentación técnica u oral y su posterior verificación en el campo.
- En el campo, mediante el estudio de la geografía del lugar con el apoyo de los profesores de Geografía, autoridades y la comunidad se pueden delimitar las zonas afectadas por fenómenos de remoción en masas o zonas bajas inundables adyacentes a cursos de agua, quebradas secas o con bajo volumen de agua expuestos a que súbitamente puedan bajar flujos hídricos.
- Mediante el estudio de la historia de la localidad o la tradición oral, indagando en los ancianos del pueblo, se puede determinar, si en el pasado han ocurrido peligros geológicos (inundaciones, fenómenos de remoción en masas, flujos rápidos, sismos, etc.) y cuales son los sectores afectados, determinándose los lugares seguros para establecer refugios para que la población no corra peligro.

11.2 CÓMO DEBE EFECTUARSE LA EVACUACIÓN

- Las rutas de evacuación deben seleccionarse evitando obstáculos, cruzar fajas inundables, o áreas difíciles de transitar.
- Se debe capacitar a los vecinos para que identifiquen las señales que puedan servir de alarma indicadora de que el fenómeno está por producirse, la evacuación debe efectuarse con los vecinos líderes.
- Debe capacitarse constantemente a la población mediante el apoyo de personal especializado o mediante profesores de Geografía o maestros con la participación inicial de los alumnos y posteriormente de la población.
- Para planificar la evacuación de la gente ante la ocurrencia de un tsunami, se debe conocer el tiempo de llegada de la ola, por lo que la población debe ser entrenada para cuando sienta un terremoto (sismo de intensidad mayor a 7,5

MM o de magnitud 6,8 Mb) inmediatamente abandone la zona de inundación y se dirija a los refugios en las zonas altas a través de rutas de evacuación previamente seleccionadas.

11. 3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

11.3.1 Para Áreas con Deslizamientos

- La medida más lógica y de menor costo para evitar daños por deslizamientos, consiste en no construir en áreas que pueden deslizarse, ni en la parte superior susceptible de hundimiento, ni en la pendiente, donde pueda deslizarse, ni debajo donde puede ser sepultado por la masa que se desliza.
- Evitar excavar en la base del talud. No deben efectuarse obras que desestabilicen las pendientes como cortes en el terreno para habilitaciones urbanas, construcción de carreteras y canales. Un estudio geológico-geotécnico determinará la mejor solución.
- Cuidar los bosques ya que favorecen la firmeza de los suelos y evitan la erosión, no permitir la destrucción o tala indiscriminada de éstos.
- Evitar el sobrepastoreo, cambiando periódicamente el ganado de un lugar a otro para evitar el desgaste de los terrenos y su posible erosión que favorezca la generación de deslizamientos.
- Observar si hay evidencias de antecedentes de deslizamientos antiguos en el área.
- Vigilar periódicamente si los árboles en las laderas se inclinan o se curvan.
- En las laderas utilizadas para cultivos, los surcos deben construirse contrarios a la dirección de las pendientes, la construcción de terrazas y andenes para el cultivo en terrenos empinados, es una buena medida para evitar deslizamientos en este tipo de suelos.
- Estar alerta ante largos períodos de lluvias y tomar nota si estas lluvias son intensas, evitando que los suelos se saturen de agua, asegurando buenos sistemas de drenajes para el desalojo rápido de las aguas superficiales y subterráneas.
- Observar si hay ojos de agua en el área.
- Solicitar asesoramiento de personal capacitado en caso se prevea un uso intenso del suelo en la construcción de desarrollos urbanos, mineros, complejos habitacionales, construcción de obras de infraestructura, etc., preparándose la información cartográfica indispensable.
- En cada área afectada por deslizamientos deben efectuarse investigaciones específicas de carácter geológico, geomorfológico, geodinámico y geotécnico. Con ello se podrá determinar las medidas de construcción que pueden adoptarse para impedir su repetición.

Medidas de Protección

Si los deslizamientos ocurren de improviso, es poco lo que se puede proteger con efectividad, pero si se observan indicios antes de que se produzcan, se deben tomar las siguientes medidas:

- Retroceder ante lo peligroso del recorrido y buscar un sendero más seguro. De lo contrario, ubicarse en sitios donde los riesgos disminuyan.
- Evite pasar o detenerse en lugares que podrían ser sepultados por materiales naturales u otros que se encuentren en montañas cercanas.
- En caso de que el deslizamiento suceda en el momento en que la persona está cerca de la pendiente, debe entonces evitar los ruidos o vibraciones y quedarse en un lugar seguro.

11.3.2 Para Inundaciones y Flujos Rápidos (aluviones y huaycos)

Medidas de Protección

Son de dos tipos:

Permanentes:

- Tratamiento de la cuenca para disminuir el flujo de agua, por ejemplo, la construcción de andenes por su forma escalonada que presentan, impiden que el agua corra pendiente abajo de manera violenta y retienen suelos cargados de nutrientes aprovechables para fines agrícolas.
- Asimismo proteger la cobertura vegetal, ya que mediante el resembrado de gramíneas y árboles se protege a los suelos de la erosión devolviéndoles 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.
- Efectuar obras de regulación para asegurar el uso económico de las llanuras inundables, estudios sencillos que se realizan en estas áreas permiten determinar los niveles máximos alcanzados en pasadas inundaciones, delimitándose las zonas amenazadas por este fenómeno.

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.
- Aperturar los desagües para evitar el estancamiento de aguas que puedan ocasionar epidemias.
- Reprogramación de actividades para reducir las pérdidas e interrupciones ocasionadas por las inundaciones y los flujos rápidos.

La eficiencia de estas medidas se logra cuando la predicción y alarma de su ocurrencia se da apenas se tenga la certeza de que ocurrirán y que la población amenazada esté preparada para efectuar acciones adecuadas para su protección.

Sistemas de Protección contra las 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:

- 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 encausamiento de avenidas, muelles y terraplenes contruidos para proteger los asentamientos humanos,
- compuertas de seguridad para las crecidas y un sistema de canales para que el agua de la inundación se encauce hacia los embalses provisionales,
- un sistema de canales, pozos y alcantarillado, con su equipo correspondiente, que influya en el nivel de la capa acuífera subterránea (capa freática)
- capacidad de bombeo suficiente para evacuar el agua de drenaje en el interior del sistema de diques de defensa,
- carreteras y otras líneas de comunicación para el acceso al sistema de defensa, que permitan el tránsito de personas y equipo durante las operaciones de defensa o para los trabajos de mantenimiento.
- sistemas de comunicaciones por Internet, teléfono, telégrafo y radio,
- instalaciones hidrométricas y de otra índole para observar y comunicar la aproximación y el desplazamiento de las olas de inundación y las fluctuaciones de la capa acuífera subterránea

En los períodos en que no surjan situaciones de emergencia deberá mantenerse en buen estado la zona de evacuación de crecidas y el sistema de defensa contra las inundaciones, lo que incluye:

- Las reparaciones de los terraplenes, el mantenimiento de la capacidad normal de caudal de los cursos de agua mediante el dragado y limpieza, y la conservación de las esclusas compuertas y otros equipos.
- El 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.
- El mantenimiento de las instalaciones de almacenamiento de los materiales y equipos a utilizarse en una emergencia.
- Construir las viviendas en zonas seguras y no en las riberas de los ríos y quebradas, planicies o valles tradicionalmente inundables.
- Conservar limpio el cauce de los ríos, evitando el arrojo de basura o materiales que puedan generar represamientos.
- Es recomendable efectuar trabajos de forestación o reforestación en las orillas de los ríos, incluyendo especies de rápido crecimiento que se extiendan por el suelo y den solidez a las riberas.
- Tener un cuidado especial para evitar la apertura de brechas en los sistemas de defensa existentes durante la construcción de nuevas obras de infraestructura o asentamientos poblacionales.

11.3.3 Para otros Fenómenos de Remoción en Masas

- No edificar en el borde de las riberas de los ríos (a menos de 50 m en ambas márgenes).
- Efectuar análisis periódicos de las variaciones del nivel de las aguas para determinar la altura mínima sobre la que tiene que ubicarse cualquier edificación de la población.
- Ubicar obras de protección en la parte cóncava de los ríos donde estos acentúan su efecto erosivo.
- Educar a la población para que informe a las autoridades cualquier proceso erosivo que comience a afectar las laderas de los cerros, base de los taludes u obras de ingeniería.
- Evitar desproteger a las laderas de los cerros y borde de las riberas de su protección natural arbórea y en caso de que esta acción se haya realizado, resembrar o arborizar el área.
- Evitar el sobrepastoreo y la deforestación en áreas susceptibles de desertificación, manteniendo la vegetación sobre las laderas para no agudizar los procesos de erosión.

- Propender a cambiar los hábitos de riego muy usuales en los campos agrícolas del país (riego por inundación), mediante el empleo del riego tecnificado (aspersión, goteo, microgoteo) con la finalidad de evitar el sobreuso del agua que tanto daño hace a las laderas o taludes de los cerros.
- Con el apoyo de los técnicos agrícolas incentivar a los ganaderos y agricultores para que efectúen sus labores empleando técnicas de conservación de suelos apropiadas para evitar los problemas de erosión de suelos.
- No construir sobre suelos que puedan colapsar.

11.3.4 Para Sismos y Tsunamis

- Las edificaciones en base a tapial o adobón, constituyen la edificación más débil, y conjuntamente con las edificaciones de piedra con mortero de barro deben proscribirse.
- La construcción con adobe reforzado debe realizarse solamente en terrenos planos o con poca pendiente o en un suelo compacto y seco, lejos de sitios que puedan deslizarse o inundarse.
- En construcciones de albañilería con techo rígido y pesado, las columnas y vigas collar de refuerzo de concreto armado, son muy efectivas para incrementar la resistencia sísmica
- En construcciones de concreto armado toda la cortante sísmica se concentra en las columnas cortas, y fallan, es un error que debe eliminarse sobre todo en la construcción de escuelas.
- Las poblaciones deben tratar de no ubicar sus viviendas en zonas de laderas con pendientes muy pronunciadas o propensas a sufrir fenómenos de remoción en masas que pueden ser activados por sismos.
- Se debe evitar la construcción de viviendas en suelos donde predominan las arenas y un nivel freático muy superficial por que ante la incentivación sísmica pueden presentarse problemas de licuación de suelos.
- Las viviendas que se cimientan directamente sobre roca deben considerar que la incentivación sísmica sobre ella, aumenta en 1° la magnitud de un sismo.

Durante un sismo es recomendable alejarse de las fachadas en mal estado y de las ventanas con vidrios, ya que las esquirlas pueden causar accidentes.

Después de un sismo, no tocar cables de energía eléctrica caídos

- Las poblaciones ubicadas en el litoral peruano, pueden ser afectadas por tsunamis, así el Ing. J. Kuroiwa menciona que en la costa central del Perú, la inundación por tsunami puede alcanzar hasta 6 m de altura respecto al nivel medio del mar y unos 500 m tierra adentro de la línea de alta marea, en la parte sur la cota de los 10 msnm y unos 800 m tierra adentro, en la costa norte

igual que en la costa central, con excepción de la zona de Talara, donde se estima unas medidas iguales a las de la parte sur.

- En las zonas amenazadas por tsunamis sólo deben construirse las obras necesarias para la actividad marítima, dejándose para fines recreacionales las 2/3 de la zona inundable, a partir de la orilla del mar, considerando que allí la inundación será severa.
- En las zonas donde existen viviendas en zonas inundables por un tsunami, es necesario formular y ensayar evacuaciones.
- Los que viven, o laboran en las orillas del mar o cerca de él, deben conocer las rutas de evacuación y las zonas seguras, por lo que es recomendable efectuar un plan de evacuación ante la ocurrencia de un terremoto y ensayarlo.
- La difusión del estado de alerta en la población durante la emergencia de un tsunami depende del origen del fenómeno, si es lejano o muy cerca de nuestras costas. La difusión del estado de alerta en la población y su posible evacuación es responsabilidad coordinada de HIDRONAV y el INDECI.
- Procurar ordenadamente alejarse de la costa, ganar altura si las condiciones topográficas lo permiten. Mantenerse alerta y escuchar los avisos por radio y televisión que deben impartir HIDRONAV y/o INDECI.
- Tan pronto se reciba el aviso de alerta, se debe evacuar inmediatamente a las zonas de seguridad siguiendo las rutas de evacuación establecidas. Hay que recordar que la aproximación de un tsunami es precedida normalmente por una retirada notable de las aguas en la costa.
- El tiempo de llegada de un posible tsunami a la costa peruana, depende de la ubicación del epicentro del terremoto generador del tsunami, de la extensión y condiciones físicas del fondo marino frente a las costas. Manténgase alerta y escuche los avisos radiales y televisivos que deben impartir HIDRONAV y/o INDECI.
- Retornar a su vivienda cuando el Comité de Defensa Civil lo autorice

11.3. 5 Para Peligros Geovolcánicos

- No deben utilizarse con fines urbanos ni para la construcción de obras importantes de infraestructura 10 km a la redonda del volcán, área que puede ser afectada por flujos de lava y flujos piroclásticos.
- No deben ser ocupados los fondos de los ríos y quebradas que bajan del volcán a una distancia de varias decenas de kilómetros
- Los pasos de ríos y quebradas que pueden ser afectados por procesos volcánicos deben tener suficiente luz y altura para permitir el paso de los lahares o flujos de lava o piroclásticos
- En caso de intensa caída de cenizas volcánicas, éstas deben ser rápidamente limpiadas ya que si se mojan pueden hacer fallar cualquier techo. Asimismo

las casas que se construyan cerca de los volcanes deben ser a dos aguas con pendientes superiores a los 20°.

- Ante la necesidad de un apoyo técnico consultar con los especialistas en Peligros Geovulcanológicos del INGEMMET o el IGP.
- Se debe educar a los pobladores que se localizan en poblaciones cercanas a volcanes activos mediante cartillas de divulgación y reuniones de coordinación con personal especializado o profesores de Geografía o maestros de escuelas sobre la forma de comportarse ante la activación de un volcán.

1 1.4 MEDIDAS CORRECTIVAS

En el Estudio de Riesgos Geológicos de la Franja N° 1, se han presentado variados ejemplos de los métodos de medidas correctivas mediante el uso de estructuras para la protección de los taludes y el control de la erosión, etc., en este capítulo se dará mayor énfasis al uso de la vegetación y la bioingeniería.

1 1.4.1 Vegetación

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatida en los últimos años; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (SUÁREZ DÍAZ, 1998).

Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo, se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se está estudiando.

Entre los factores se sugiere analizar los siguientes: volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.

El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Factores:

1. Intercepta la lluvia.
2. Aumenta la capacidad de infiltración.
3. Extrae la humedad del suelo.
4. Grietas por desecación.
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
7. Aumentan el peso sobre el talud.
8. Transmiten al suelo fuerza del viento.
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

1. Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial,
2. Se elimina el factor de refuerzo de las raíces,
3. Se facilita la infiltración masiva de agua.

La quema de la vegetación aumenta la inestabilidad de los taludes, especialmente si esto ocurre en el área de coluviones, en los cuales la vegetación ejerce un papel preponderante en la estabilidad, especialmente por la eliminación del refuerzo de las raíces y por la exposición a la erosión acelerada.

Las diferentes partes de la planta cumplen funciones específicas desde el punto de vista geotécnico (ver Cuadro N° 59)

Cuadro N° 59
Componentes de la planta y sus funciones

Parte de la planta	Función
Raíz	Anclaje, absorción, conducción y acumulación de líquidos
Tallo	Soporte, conducción y producción de nuevos tejidos
Hojas	Fotosíntesis, transpiración

Las raíces cumplen una función muy importante de absorción. Los principales factores que determinan el desarrollo de las raíces son:

- a. Disponibilidad de nutrientes en el suelo,
- b. Disponibilidad de oxígeno,
- c. Contenido de humedad,
- d. Succión o presión osmótica,
- e. Temperatura del suelo,
- f. Niveles de toxinas y elementos patogénicos,
- g. Sistema de poros.

El tronco soporta los órganos fotosintéticos y reproductivos, especialmente las hojas.

La habilidad de un suelo para sostener el crecimiento de las plantas depende de su habilidad para proveer nutrientes, oxígeno y agua. La fertilidad depende de la disponibilidad de nutrientes y éstos de los microorganismos que continuamente están trabajando para transformar los materiales orgánicos. Los materiales orgánicos representan entre 3 y 5% del peso de un suelo orgánico típico.

Las condiciones de acidez o pH del suelo son un factor determinante para el crecimiento de muchas especies vegetales.

La vegetación afecta las condiciones hidrológicas de un talud de varias formas:

1. Intersección de la lluvia,
2. Retención del agua,
3. Acumulación de agua,
4. Goteo o flujo por follaje,
5. Evapotranspiración.

El efecto más importante de la vegetación, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión en todos los casos y con todo tipo de vegetación. La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.

Igualmente, donde hay árboles altos, la erosión es menor que en el caso de arbustos, asimismo se ha encontrado que las hierbas o maleza protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.

Entre los efectos negativos de la vegetación tenemos:

1. Apertura de grietas en los macizos rocosos,
2. Algunas plantas favorecen el mantenimiento de la humedad en el suelo, como es el caso de plantaciones de banano (TSUTIYA y otros, 1991),
3. Cuando las lluvias son muy intensas y de larga duración, el efecto de la vegetación sobre el ciclo hidrológico es mínimo, pero es muy importante en áreas con regímenes moderados de lluvias (WALKER-MOHEN, 1993).

Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil del suelo y el medio ambiente.

La profundidad de las raíces no supera generalmente los cinco metros en árboles grandes, dos metros en los arbustos y 30 cm en los pastos; aunque se han reportado casos de raíces de árboles de más de 30 metros de profundidad (MACGREGOR-MACMANAUS, 1992). La extensión lateral del sistema radicular generalmente, es mayor que su profundidad y en algunos casos superan los 50 metros de longitud. Las formas de las raíces pueden presentar tres esquemas diferentes así:

- a. Raíz de extensión lateral,
- b. Raíz de extensión radial,
- c. Raíz pivotante.

Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades. SIDLE (1985), explica el efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo en tres formas:

- a. Unir materiales de los suelos inestables a mantos más estables.
- b. Formar una red densa entrelazada en los primeros 30 a 50 centímetros del suelo y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.
- c. Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo, que se extienden a través del talud. Las raíces actúan como pilas de refuerzo.

La resistencia a la tensión de las raíces pueden ser hasta el 30% de la del acero, según SCHIECHTL (1980) y pueden extenderse varios metros por debajo de la superficie del talud.

La profundidad de las raíces es muy importante. La profundidad de refuerzo de las raíces de los pastos es de solo 20 centímetros comúnmente, pero algunas especies tienen profundidades que permiten el anclaje a mantos de roca relativamente profundos.

Se conoce de eucaliptos con raíces de hasta 27 m y raíces de bosque tropical de hasta 30 m de profundidad, pero la mayoría de los árboles tienen raíces de profundidad de hasta 3 m (GREENWAY, 1987) y esta es la profundidad hasta la que puede confiarse un refuerzo con raíces.

Para reducir el riesgo de movimientos, el espaciamiento de los árboles debe ser lo más cercano posible. Un árbol junto a otro puede generar un efecto de arco, sin embargo no se requiere necesariamente que las raíces se entrelacen y el efecto de arco puede lograrse con separaciones de raíces de hasta 3 metros, dependiendo de las características del material del talud (GRAY, 1978). Una separación de 10 m entre árboles de grandes raíces produce soporte sustancial en la mayoría de los casos.

Un efecto positivo muy importante es el “anclaje” de masas de suelos por las raíces. Las características físicas de las raíces determinan el efecto de anclaje o refuerzo del suelo y la densidad del sistema radicular mejora la retención de las partículas o masas de suelo, aumentando la resistencia a la erosión.

Los efectos de la deforestación sobre la estabilidad de los taludes, puede no ser inmediata. Inicialmente se produce un cambio hidrológico y un aumento de la erosión superficial y de la infiltración, pero los efectos desastrosos se observan, cuando la infraestructura original se descompone, generalmente entre 2 a 5 años después de la deforestación.

La revegetalización de un talud ayuda a controlar la erosión y ayuda a aumentar el factor de seguridad. Por esta razón, cada día se usa más la vegetación en la estabilidad de taludes. El efecto de la vegetación es una interacción compleja entre factores hidrológicos y mecánicos de difícil cuantificación.

El establecimiento de vegetación no es fácil y deben realizarse consideraciones especiales para su diseño, sin embargo, todo diseñador debe considerar la vegetación como el sistema básico de estabilización para los taludes en suelo o roca meteorizada (Grados IV, V y VI).

Generalmente el proceso de revegetalización de taludes se ha concentrado en el uso de pastos olvidándose de los arbustos, hierbas y árboles. Como regla general, nunca debe plantarse una sola especie si no una sucesión de variedades en tal forma que se recupere el sistema vegetativo original.

Se debe considerar, además, el manejo apropiado de las técnicas de vegetación para ayudar en el proceso natural de sucesión.

Selección de especies vegetales

Como no existen especies universales, se debe acudir a los expertos forestales para escoger la especie de pasto, hierba, arbusto o árbol que se debe utilizar para cada caso específico, teniendo muy en cuenta la experiencia local y las diferencias de tolerancias y hábitos de las diferentes especies.

La especie vegetal debe seleccionarse, de forma tal que sea compatible con las condiciones del suelo y el sitio, incluyendo disponibilidad de agua, nutrientes, pH, clima, regulaciones gubernamentales, etc.

Ciertos tipos de plantas son mejores que otras para objetivos de estabilización específicos. La vegetación maderable posee raíces más profundas y más resistentes que las plantas herbáceas y pastos, y provee un mejor refuerzo y efecto de arco

En el cuadro N° 60, se muestran las ventajas y desventajas de los diversos tipos de plantas

Cuadro N° 60
Ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta (Gray y Sotir, 1996)

Tipo	Ventajas	Desventajas
Pastos	Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura	Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.
Juncos	Crecen rápidamente y son fáciles de establecer en las riberas de los ríos	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.
Hierbas	Raíz relativamente profunda.	Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces.
Arbustos	Variedades para escoger. Existen especies que se reproducen por estacas. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento	Algunas veces son difíciles de establecer.
Árboles	Raíces profundas no requieren mantenimiento.	Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.

El establecimiento exitoso de la vegetación en un talud esta determinado por muchos factores, tales como: época de siembra, pendiente del talud, localización y composición de los materiales del talud. Las épocas ideales para la plantación son las semanas anteriores a las temporadas de lluvias, sin embargo se puede realizar el plante en épocas secas disponiendo de un programa adecuado de riego.

Para los taludes de pendientes altas se requiere colocar elementos de anclaje para los pastos y bermas para los árboles. En taludes de pendientes fuertes se aconseja no sembrar árboles sino arbustos para disminuir las fuerzas del viento sobre ellos. Asimismo es necesario tener en cuenta que los taludes que reciben la exposición directa del sol de la tarde presentan mayores dificultades para la vegetación, que los que reciben el sol de la mañana o poseen condiciones de sombra relativa.

Si los materiales son muy duros, se puede requerir la excavación de cajas profundas para la siembra de cada arbusto y deben utilizarse importantes cantidades de suelo orgánico o fertilizantes.

En el cuadro N° 61 se relacionan de forma resumida las acciones principales de la vegetación y sus posibles ámbitos de aplicación en proyectos de ingeniería.

1 1.4.2 Bioingeniería

Bioingeniería es la estabilización de taludes por el uso combinado de vegetación y elementos estructurales adicionales, trabajando de una manera conjunta e integrada. Este concepto de estabilización comprende parámetros ambientales muy importantes y su efectividad ha sido extraordinaria (GRAY Y LEISER, 1982).

Los campos de aplicación de las técnicas de bioingeniería son muy variados, y con ellos se obtienen resultados satisfactorios (ver Cuadro N° 62).

Pastos y plantas diseñadas con el propósito de producir refuerzo del suelo, se pueden plantar junto con muros de contención o sistemas estructurales de estructura abierta en forma de grilla, con espacios para el crecimiento de la vegetación (ver Cuadro N° 63).

La utilización de mantos orgánicos o mantos sintéticos junto con la vegetación conforman una protección integral contra la erosión. Generalmente estos materiales se desintegran después de que las plantas crecen y se establecen en forma permanente.

Entre los atributos importantes de los sistemas de bioingeniería del suelo se pueden citar los siguientes:

- Requerimiento de mano de obra entrenada.
- Utilización de materiales naturales y/o locales.
- Más efectivos en costos que los métodos que sólo confían en el tratamiento de vegetación o en las soluciones estructurales en forma aisladas.
- Compatibilidad ambiental.
- Propiedades de auto reparación y auto mejora con el tiempo.
- Para su plantación dependen de la estación en que se realiza (de preferencia al final del otoño, en el invierno o al inicio de la primavera.)

Las técnicas de bioingeniería del suelo y la estabilización biotécnica comprenden:

Estabilización biotécnica: es el uso combinado o integrado de elementos vegetales vivos y componentes mecánicos o estructurales inertes. Los componentes inertes incluyen una variada gama de materiales: hormigón, madera, piedras, geotextiles, geomallas, etc.

Bioingeniería del suelo: se refiere principalmente a la utilización de plantas completas o estacas, fragmentos de tallos, raíces o ramas con capacidad de enraizar y desarrollar una planta adulta completa, como elementos principales y únicos en la estabilización de taludes. La acción de la vegetación se potencia con la instalación de geotextiles o geomallas de protección superficial. En esta categoría se incluye el estaquillado o las fajinas que habitualmente se usan para la protección de las orillas de los cursos de agua.

En el Cuadro N° 64, se presenta una clasificación de las diferentes técnicas de bioingeniería y estabilización biotécnica en función de la utilización o no de elementos

estructurales inertes y de la importancia relativa de la vegetación como elemento de estabilización.

Las construcciones vivas engloban las técnicas convencionales de revegetación, cuya función principal es la prevención y el control de la escorrentía superficial, junto con otras técnicas específicas de la bioingeniería del suelo, en la que se utilizan estacas de especies leñosas, ramos y tallos, fundamentalmente para desarrollar una cubierta vegetal estable y autosuficiente que actúe como un componente estructural para el refuerzo y estabilización del talud.

En las construcciones mixtas, en las que se utilicen elementos vivos e inertes de forma combinada, los elementos inertes (gaviones, escolleras, revestimientos, etc.) en un primer momento, proporcionan al talud resistencia frente a los procesos erosivos y de inestabilidad, pero su importancia como agentes de estabilización va disminuyendo progresivamente al desarrollarse la cubierta vegetal.

La vegetación también puede construirse junto con construcciones inertes y estructuras rígidas, como muros de retención, muros de celosía, etc, para crear estructuras vegetadas. En estos casos, la vegetación mejora la apariencia estética de las estructuras, las protege frente a los agentes externos (efecto de la lluvia, erosión, etc.), pero su papel como elemento estabilizador es muy limitado.

Las técnicas de bioingeniería del suelo y estabilización biotécnica presentan importantes ventajas sobre los métodos convencionales de estabilización: menor costo, mejor estética de los taludes tratados, necesidades de mantenimiento mínimas y capacidad de auto reparación, etc. pero también es necesario considerar que no puede utilizarse en todos los casos.

Cuando se necesita alcanzar un factor de seguridad y un grado de confianza elevados, la vegetación únicamente puede actuar como elemento secundario y el peso de la estabilización debe recaer sobre los materiales inertes y estructurales. En los casos menos críticos, donde las consecuencias de eventuales procesos de inestabilidad (deslizamientos, caídas ,etc.) no sean graves y no existe riesgo para personas o bienes, la vegetación sí puede jugar un papel de igual o superior importancia que los materiales inertes. (ver cuadro N° 64).

Cuadro N° 62
Aplicaciones de la vegetación en proyectos de ingeniería

Funciones	Campos de aplicación		Restauración en Minería	Carreteras y ferrocarriles	Construcciones	Vertederos	Aeropuertos	Canales	Drenaje de zonas húmedas	Embalses	Costas y protección de orillas	Edificios	Recreo	Transporte por tubería	Zonas valiosas
ESTABILIDAD DE PENDIENTES	Desmontes y terraplenes		X	X	X					X	X				
	Taludes rocosos		X	X							X				
CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA	Escorrentía superficial		X	X	X	X		X	X	X			X	X	
	Cárcavas y barrancos		X	X	X		X	X	X	X			X	X	
RIOS Y PROTECCIÓN DE ORILLAS	Canales de caudal continuo						X	X							
	Canales de caudal discontinuo		X	X		X		X	X		X	X			
	Embalses y masas de agua									X	X				
											X			X	
CONTROL DE LA EROSIÓN EÓLICA			X		X	X	X				X		X		
PANTALLAS VEGETALES	Cortavientos		X								X	X	X		
	Antiruidos			X		X						X			
PROTECCIÓN DE SUPERFICIES Y PISOTEO					X		X	X		X	X	X	X	X	
PROTECCIÓN Y CONTROL EN CUENCAS HIDROLÓGICAS			X	X	X	X		X	X					X	

Cuadro N° 63
Sistemas de protección utilizando biotecnología
(modificada de Gray y Sotir, 1992)

Categoría	Descripción
Vegetación convencional	Siembra por semillas, estolones o macetas
Plantas maderables utilizadas como refuerzo	Estacas vivas y colchones de maleza
Estructuras con vegetación	Gaviones, estructuras de llantas usadas, Muros, Criba, Geomallas. Revestimientos sintéticos

Cuadro N° 64
Clasificación de técnicas de bioingeniería y estabilización biotécnica

Categoría	Ejemplos
Construcción viva	
Plantación convencional	- Sembrado de gras - Champas - Transplantes - Estaquillado
Plantas leñosas utilizadas como refuerzo y como barreras de contención al movimiento del suelo.	- Fajinas - Esteras de matorral - Escalones de matorral - Gaviones "blandos"
Construcción mixta	
Plantación en taludes reforzados con geotextil y en los espacios frontales, bermas superiores o en los intersticios de estructuras porosas de retención.	- Revegetación de revestimientos (gaviones, mallas, celosías, etc.) - Revegetación de muros de contención (gaviones, muros escalonados, muros de tierra reforzada, celosías, etc.) - Revegetación de estructuras y sistemas de reforzamiento (geotextiles, mallas metálicas, sistemas de confinamiento celular, etc.)
Muros contruidos en la cabecera o pie de talud reforzados con vegetación.	- Muros de contención, piedra y revestimientos con plantaciones en la cara del talud. - Estructuras en gradas con plantaciones en las bermas. - Colchones de gaviones con estacado. - Revestimiento de bloques de concreto con vegetación. - Mallas celulares con vegetación.
Construcción inerte	
Estructuras convencionales.	- Muros de gravedad de concreto - Escollera - Muros de pilotes - Muros de tierra reforzada - Muros anclados

Se debe tener en cuenta que, antes de trabajar un talud es necesario efectuar un perfilado de taludes, por lo que a continuación se muestran algunos aspectos de sus diseños:

Perfilado convencional: se caracteriza por las superficies planas sin variación en la gradiente ni intersecciones agudas. Los drenes se construyen generalmente en una configuración rectangular.

Perfilado contorneado: los taludes son más curvilíneos que lineales, aunque sin variaciones en las gradientes.

Las intersecciones de superficies son redondeadas. Los drenes se construyen con cierta configuración geométrica.

Perfilado con la forma del terreno: se perfila siguiendo casi la forma del terreno natural y estable. Tiene continuas formas cóncavas y convexas. Los sistemas de drenaje se acomodan al drenaje natural. Los árboles y arbustos se concentran en zonas cóncavas, mientras que en las zonas convexas más secas se concentra la vegetación superficial.

Construcciones vivas

Estaquillado: consiste en introducir al suelo estacas de plantas leñosas, con capacidad para arraigar y desarrollar una planta adulta, de longitud y grosor suficiente para que puedan ser clavadas en el suelo.

Cuando las estaquillas arraigan crean una matriz de raíces que estabilizan el suelo por refuerzo y cohesión de sus partículas y reducen el paso de la humedad.

Puede utilizarse como tratamiento único pero con otras técnicas de estabilización, como las fajas y con sistemas de protección superficial del suelo.

Fajas: son manojos de raíces y tallos atados que se colocan en el fondo de zanjas poco profundas, excavadas transversalmente siguiendo el contorno del talud, que se recubren parcialmente de tierra.

Las ramas y tallos deben ser de plantas leñosas con alta capacidad de enraizamiento. Las ramas deben ser largas, rectas y flexibles y estar provistas de yemas de crecimiento activas.

Las raíces deben tener entre 1 y 9 cm de longitud; y entre 15 a 30 m de diámetro. La distancia entre sucesivas filas de fajas varía en función de la pendiente y la longitud del talud. (Ver cuadro N° 65).

Si el talud no presenta problemas de exceso de agua, las zanjas donde se instalarán las fajinas, se excavan en ángulo recto con la línea de máxima pendiente. Si hay problemas que se deriven de un exceso de humedad, es conveniente darle una ligera pendiente hacia los laterales del talud para evacuar el exceso de agua.

Cuadro N° 65
Distancia entre fajinas

Pendiente (°)	Distancia entre fajinas (m)	Longitud máxima de la pendiente (m)
45 -33	0,80 -1,25	5
33-25	1,25-1,50	6
25-20	1,50-2,00	9
20-18	2,00-2,50	12
18-14	2,50-2,75	15
14-11	2,75-3,00	18

Escalones de Matorral: consiste en situar ramas de especies leñosas con capacidad para enraizar en pequeñas zanjas o entre capas sucesivas de tierra a lo largo de la pendiente de los taludes, a manera de terraza o escalones.

Difiere de las fajinas, en la orientación de las ramas, la profundidad a la que se sitúan: en los escalones de matorral, las ramas se orientan más o menos perpendicularmente al perfil del talud y se introducen hasta 2 m dentro de él, mientras que las fajinas se sitúan paralelos al perfil del talud, se entierran muy superficialmente. La orientación perpendicular es más efectiva desde el punto de vista del refuerzo del suelo y la estabilidad del talud frente a los movimientos de masas. Las ramas actúan como elementos de tensión que refuerzan al talud, y las posiciones de las ramas que sobresalen sobre la superficie, actúan frenando la escorrentía y disipando su potencial erosivo.

Paquetes de matorral: es una técnica que se usa para reparar las depresiones ocasionadas por pequeños deslizamientos. Consiste en rellenar la depresión que se requiere reparar con capas alternas de ramas de matorral, tierras de relleno compactadas.

Esta técnica sólo puede utilizarse en áreas de deslizamientos menores de 1 m de profundidad y/o 2 m de suelo.

Es efectiva en movimiento en masa en taludes de pequeño tamaño, ya que las ramas actúan como tirantes que refuerzan el suelo una vez instaladas.

La vegetación desarrollada actúa como barrera, reduciendo la erosión y el socavamiento de los materiales.

Reparación de cárcavas con material vivo: es una técnica muy parecida a la de los paquetes de matorral, pero más adecuada para reparar depresiones ocasionadas por erosión superficial, como regueros profundos y cárcavas. Consiste en rellenar la cárcava que se pretende reforzar, con capas alternas de ramas y tierras compactadas.

Las ramas proporcionan un efecto inmediato de refuerzo del suelo tras su instalación, disminuye la velocidad de circulación del agua de escorrentía y actúan como una barrera-filtro que detiene el material destruido.

Esteras de matorral: Consiste en recubrir la superficie del talud con una capa gruesa de ramas atadas, entrelazadas de manera que formen una especie de colchón o estera, o simplemente extendidos sobre el terreno, ancladas a él por medio de estacas de madera o estaquillas y alambre. Esto está especialmente indicado para el tratamiento de las orillas de ríos, arroyos, donde la pendiente no sobrepase 3:1 (H:V) o 4:1 (H:V)

Construcción Mixta: La estabilización biotécnica y los métodos de la bioingeniería del suelo están dentro de la categoría de construcción mixta.

Las construcciones mixtas son aquellas técnicas de estabilización donde se emplean técnicas en que se usa la vegetación junto con elementos y estructuras inertes. Entre las más conocidas tenemos:

a) Estructuras de tierra reforzada

Es una técnica similar a la de los escalones de matorral. La diferencia estriba en que las estructuras de tierra reforzada, alternan capas de tierras y ramas de poco grosor con capas mucho más gruesas de tierras de relleno que van envueltas en un geotextil.

Las sucesivas capas de tierras de relleno reforzadas por la envoltura del geotextil forman una estructura que, en un primer momento, actúa como un muro de contención, sujetando el talud. Cuando las ramas arraigan, emiten raíces en toda su longitud, las cuales se introducen entre la cubierta del geotextil y el material de relleno, formando con ellas una masa coherente y sólida y penetran dentro del talud anclando firmemente toda la estructura.

Esta técnica es una alternativa a los muros de contención convencionales que permite estabilizar taludes de gran pendiente. Las capas del matorral actúan como drenajes horizontales que evacúan el exceso de humedad de los taludes mejorando sus condiciones de estabilidad.

b) Muros vivos

Son muros huecos con forma de cajón, contruidos con madera, que se rellenan con tierras y en cuya cara frontal se introducen varas y ramas de especies leñosas, las cuales enraízan dentro de la estructura y en el talud.

En un primer momento, la estructura de madera rellena de tierras sujeta el talud, actuando como un muro de contención. Pero una vez que se ha producido el enraizamiento y las plantas se han desarrollado suficientemente, la vegetación gradualmente va tomando posesión de las funciones estructurales que realizaban hasta ese momento los elementos de madera con los que está contruido el muro, hasta que llegan a ser el principal elemento de estabilización.

La estructura de madera puede contruirse de manera tal que forme una especie de muro o cajón vertical paralelo a la superficie del talud, o en forma de escalera, situando la base de la estructura más o menos alejada del pie del talud y acercando progresivamente los siguientes pisos a él.

Es apropiada para el tratamiento de taludes, para cuya estabilización es necesario contruir un muro bajo de contención y en los que es importante, además, cuidar los aspectos paisajísticos y de integración visual. Proporciona inmediata protección contra la erosión y, cuando la vegetación se desarrolla, da estabilidad a largo plazo, aunque no resiste la acción de fuerzas laterales intensas.

c) Enrejados vivos

Es una estructura tridimensional en enrejado, contruida con madera, que se ancla a la superficie del talud y se rellena con tierras. En los vanos que deja esta estructura, alternando con capas de relleno, se instalan capas de ramas de matorral con una disposición similar a la de los escalones del matorral.

El principal propósito de esta estructura es sujetar el suelo aportado y facilitar el establecimiento de la vegetación. Sus funciones en cuanto a elemento estructural de estabilización son prácticamente nulas. Es la vegetación la que cumple estas funciones, una vez se desarrolla a partir de las ramas que se insertan en los huecos del enrejado.

Permite revegetar taludes de gran pendiente (por encima de 45°) sin necesidad de tener que remodelarlos. La instalación del enrejado es sencilla y requiere muy pocos trabajos previos de limpieza y excavación en el talud y poco volumen del suelo para relleno la estructura.

d) Estaquillado de revestimientos porosos de piedra

Esta técnica consiste en introducir estaquillas de matorral a través de las juntas y huecos que dejan las piedras que recubren el talud, hasta clavarlas firmemente en el mis-

mo. El estaquillado puede realizarse una vez concluido el revestimiento del talud o de forma simultánea con su ejecución.

Las raíces de las plantas desarrolladas a partir de las estaquillas drenan el exceso de agua del talud y crean una densa matriz en el suelo, sobre la que se asienta el revestimiento rocoso, que refuerza el efecto de protección superficial de éste y evita el arrastre de finos por debajo y entre las piedras que lo forman.

e) Muros de gaviones con vegetación

Para revegetar los muros contruidos con gaviones, se colocan capas de ramas de matorral entre los sucesivos gaviones que componen el muro. Opcionalmente, pueden introducirse algunas ramas dentro de los propios gaviones.

Las raíces que desarrollan las ramas se introducen entre el relleno de los gaviones y alcanzan el talud arraigando en él y consolidando así la estructura. La vegetación, refuerza la estructura del muro de gaviones y la hace más resistente, al tiempo que le da una apariencia más natural, aunque es el muro de gaviones el que estabiliza el talud.

Es una técnica adecuada cuando es necesario cuidar estéticamente el acabado de las obras.

f) Muros de roca y vegetación

Son muros de contención contruidos con piedras superpuestas y no cementadas, entre las que se introducen ramas de matorral que, al desarrollarse, enraízan en la superficie del talud. Las raíces que emiten estas ramas forman una red que envuelven las piedras del muro y las ancla al talud, reforzando y protegiendo así la estructura.

El espacio que queda entre la cara interna del muro de piedra y el talud puede rellenarse con tierras, e insertar ramas en la parte alta de este relleno. Entre los sucesivos pisos de piedras que componen el muro también pueden extenderse capas de tierra de poco grosor.

Este tipo de muros a diferencia de los muros de contención convencionales, no resisten la presión de fuerzas laterales intensas. Es adecuado cuando lo que se pretende es reducir la pendiente en la base del talud y protegerlo del socavamiento y el descalce. Su aspecto una vez la vegetación se ha desarrollado, es más natural que el de los muros convencionales.

g) Tratamiento vegetal de muros de contención y de otro tipo de revestimientos

Las técnicas de revegetación de aberturas frontales de muros de contención convencionales y de las estructuras de confinamiento celular, son similares. Básicamente consisten en rellenar estas estructuras con tierra de calidad adecuada e introducir entre el relleno estaquillas, ramas u otro tipo de material vegetal con capacidad de enraizamiento.

En los muros de contención, la función de la vegetación se limita a mejorar la apariencia estética de la estructura y protegerla de la acción de los elementos. en las estructuras de confinamiento celular, por el contrario la vegetación es el elemento principal de estabilización. Los elementos inertes únicamente sirven para contener las tierras aportadas y evitar que se muevan pendiente abajo.

La revegetación de muros de contención y revestimientos no porosos, es decir, en los que no quedan huecos libres entre los elementos que componen la estructura, se realiza relleno con tierras el espacio que queda entre estas estructuras y la superficie del talud, y sembrando y/o plantando la superficie del relleno.

En los muros escalonados, la vegetación se introduce en las bermas, también previo relleno con tierras de calidad adecuada, por métodos convencionales de plantación y siembra.

Construcción inerte

Los métodos y tecnologías que se hallan dentro de la construcción inerte son:

Estructuras de contención:

- Muros de gravedad (muros, gaviones, de rejillas y celdas)
- Muros de piedra.
- Muros de bloques articulados (varios de marca registradas).
- Estructura de tierra armada (con tiras metálicas, georedes o geotextiles)
- Sistemas de confinamiento celular (celdas 3D apiladas o rellenas)

Sistemas de revestimiento:

- Riprap (piedra de cantera, escombros coluviales, roca natural).
- Colchones de gaviones.
- Revestimiento de concreto (gunita, placas de concreto).
- Sistemas de confinamiento celular (celdas 3D que cubren la superficie y están rellenas con agregado).
- Sistemas de bloque articulado (bloques de concreto unidos por cables u otros métodos).

Cubiertas:

- Champas artificiales (fibra de vidrio, fibras de celulosa y torsionadas).
- Mantas de redes (cubiertas que protegen la superficie y facilitan el crecimiento de la vegetación).

- Sistemas de confinamiento celular (celdas tipo panal 3D que cubren la superficie y están llenas de suelo o agregados).

Componentes estructurales-mecánicos de la estabilización biotécnica. Estructuras de contención

Aspectos generales

En la Fig. N° 9 se muestran esquemas de diversos tipos de estructuras de contención, donde los criterios de estabilidad son los siguientes:

Estabilidad externa: se debe verificar la estabilidad contra el volteo, el deslizamiento a lo largo de la base, el hundimiento y contra la falla a lo largo de un plano profundo por debajo del muro. En la Fig. N° 10 se muestran los esquemas de estos 4 posibles tipos de falla. La presencia de agua detrás de las estructuras de contención afectan seriamente su estabilidad, por lo que la inclusión de drenes apropiados es de particular importancia. En la Fig. N° 11 se muestra esquemáticamente las fuerzas que actúan sobre las estructuras de contención.

Según se muestra en esta figura, la reacción del suelo es uniforme y trapezoidal en el caso de estructuras de contención rígidas; sin embargo para estructuras de contención flexibles, la reacción del suelo decrece desde un máximo en la zona del punto de aplicación de la resultante hacia valores menores en los bordes de la cimentación. La reacción ancho/altura (D/H) es un factor crítico en la estabilidad, que se puede limitar a no menos de 0,5 aproximadamente. Para estimados iniciales de D/H se puede recurrir a la Fig. N° 12.

Estabilidad interna: los elementos estructurales sufren la acción del tiempo y la corrosión, por lo que es esencial para su integridad, que en el diseño se use el adecuado factor de seguridad para el dimensionamiento de los elementos, o bien los elementos debieran ser cubiertos o impregnados para mejorar su resistencia al deterioro.

Se debe considerar en el diseño la resistencia a la adhesión, así por ejemplo, las georedes tienen una resistencia superior a las tiras, debido a la resistencia pasiva movilizada a lo largo de los elementos transversales.

Estructuras porosas de contención

En la Fig. N° 13, se esquematiza los muros de gaviones. En la Fig. N° 14 se esquematiza los muros celda, en estos muros las fuerzas se transfieren entre los miembros

modulares en las uniones de las esquinas, los esfuerzos generalmente de corte se transmiten a través de pines y espigas.

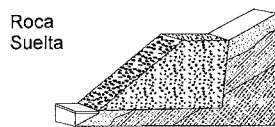
Los muros de celdas se construyen principalmente con elementos prefabricados de concreto, y también con elementos de madera, en cuyo caso se deben tratar a presión con preservativos tales como el pentaclorofenol líquido.

En los muros de georedes, los elementos que trabajan a tracción, varían desde elementos metálicos galvanizados y con costillas a geotextiles y georedes poliméricos.

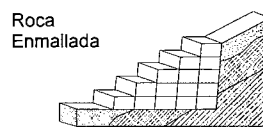
En la Fig. N° 15 se esquematiza un muro con malla metálica soldada y en la Fig. N° 16 un muro con refuerzo de polímeros, en estas últimas se pueden incrustar vegetación entre las sucesivas capas, según se muestra en la Fig. N° 17. Los parámetros que afectan el diseño en los muros de georedes se muestran en la Fig. N° 18.

Revestimientos

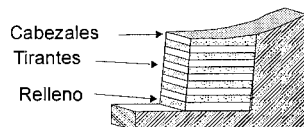
Los revestimientos se colocan generalmente en los taludes que no exceden la inclinación de 1,5:1 (V:H). Para taludes más empinados se requeriría muros de contención u otro tipo de estructura. Actualmente se usan varios tipos de estructuras flexibles tales como riprap, piedras de cantera, desmontes de concreto, colchones de gaviones. Llantas de caucho amarradas, bloques de concreto prefabricados y articulados. En las Figs. N° 19 y 20 se muestran detalles del diseño del riprap y de gaviones.



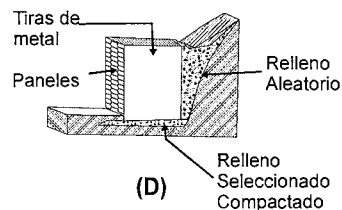
(A)



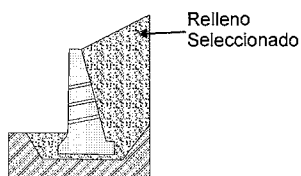
(B)



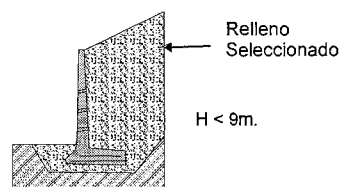
(C)



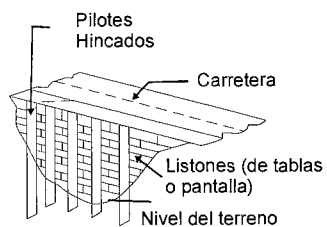
(D)



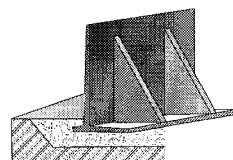
(E)



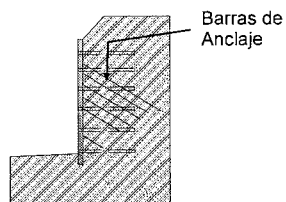
(F)



(G)



(H)



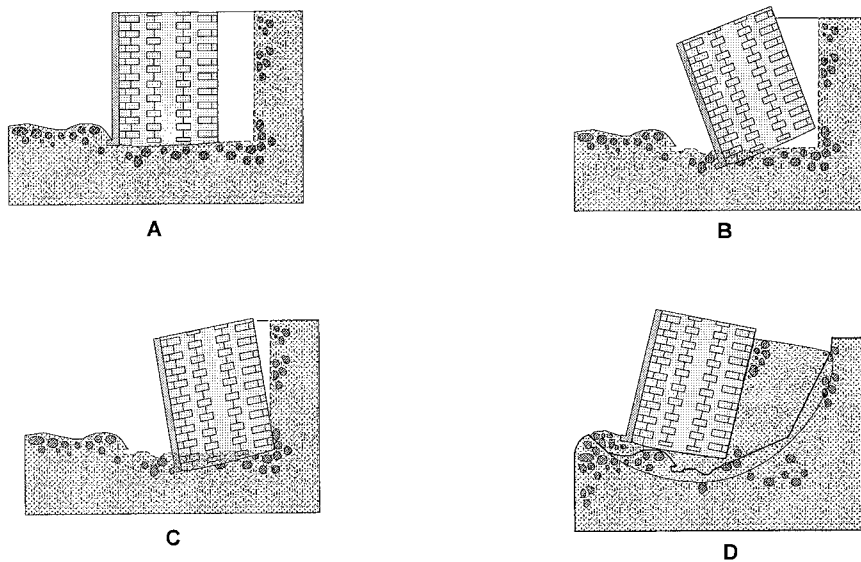
(I)

A) Cuña de enrocado
B) Muro de gabion
C) Muro rejilla

D) Muro de tierra armada
E) Muro de gravedad de concreto
F) Muro Cantilever

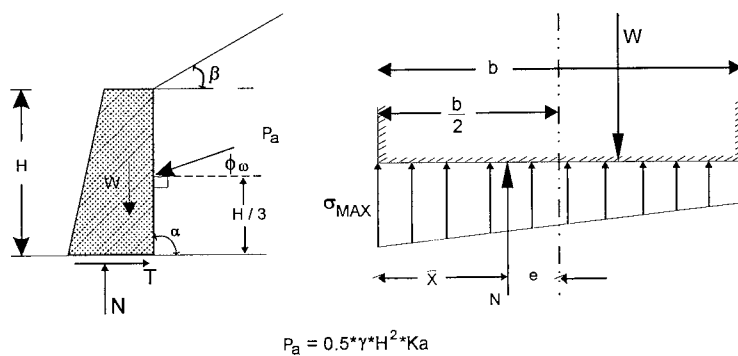
G) Muro con pilote de acero perfil
H) Muro de contrafuerte
I) Muro Anclado.

Fig. N° 9 Diferentes tipos de estructuras de contención



- A) Deslizamiento
B) Volteo
C) Capacidad de Falla Portante
D) Movimiento Rotacional Profundo (Falla de Talud)

Fig. N° 10 Modo de falla para estructuras de contención



$$P_a = 0.5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

Donde:

P_a = Fuerza Activa de tierras por unidad de longitud de muro

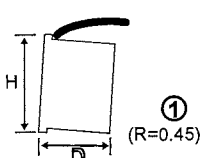
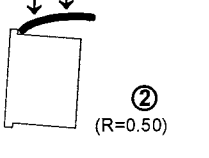
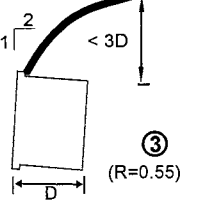
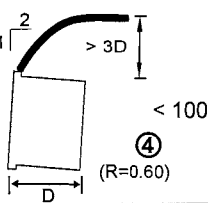
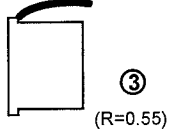
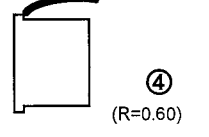
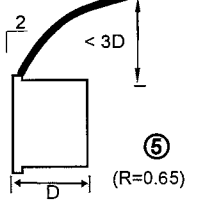
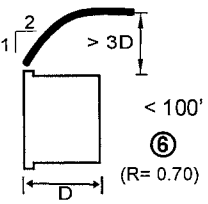
γ = Peso unitario del suelo

h = Altura del muro

K_a = Coeficiente de Presión activa de tierras

$$K_a = \left\{ \left(\frac{\cos(\alpha)}{\cos(\phi + \alpha)} \right) \cdot \left(\frac{\cos(\alpha - \phi)}{\cos(\alpha + \phi)} \right) \right\}^2 \left\{ \frac{\sin(\phi + \alpha)}{\sin(\alpha - \phi)} + \left(\frac{\sin(\phi + \alpha)}{\sin(\alpha - \phi)} \right) \cdot \left(\frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \beta)} \right) \right\}^2$$

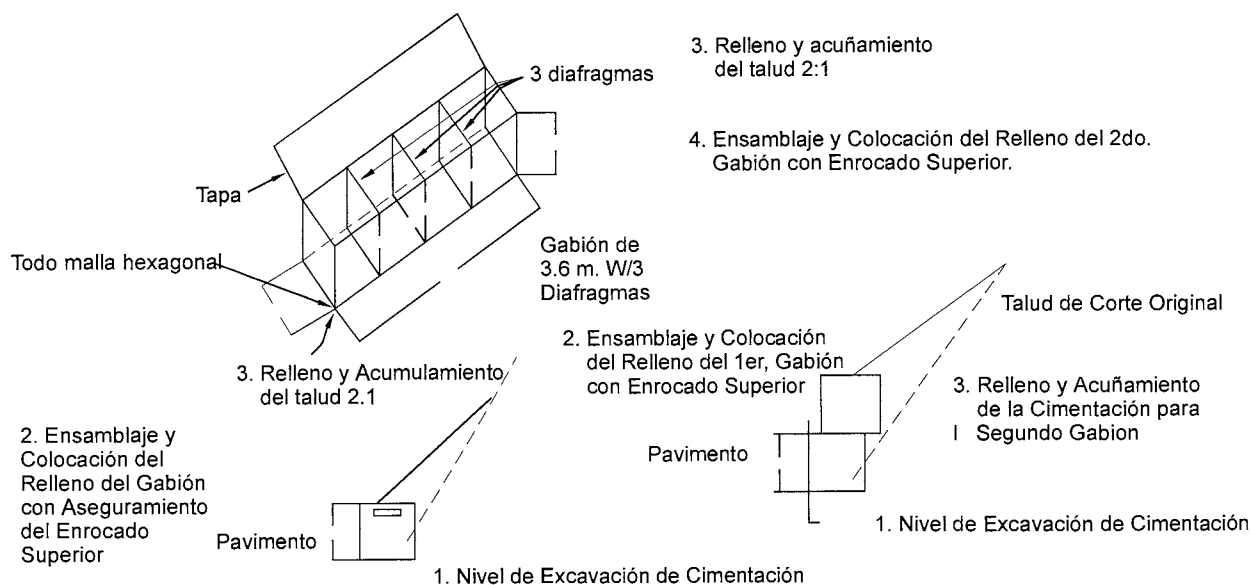
Fig. N° 11 Diagrama esquemático de fuerzas y esfuerzos actuando sobre el muro de contención de gravedad.

Inclinación	Relleno	Talud Inclinado de Relleno Ligero	Relleno de Talud Hasta 3D	Relleno de Talud por Encima de 3D
Inclinación de Pared 1/6	 ① (R=0.45)	 ② (R=0.50)	 ③ (R=0.55)	 ④ (R=0.60)
Pared Vertical	 ③ (R=0.55)	 ④ (R=0.60)	 ⑤ (R=0.65)	 ⑥ (R=0.70)

Nota : $R = \frac{\text{Ancho de Pared}}{\text{Altura de Muro}} = \frac{D}{H}$

Razones de Altura/Ancho requeridos para estructuras de gravedad con secciones simples bajo diferentes inclinaciones de muro y de relleno del talud.

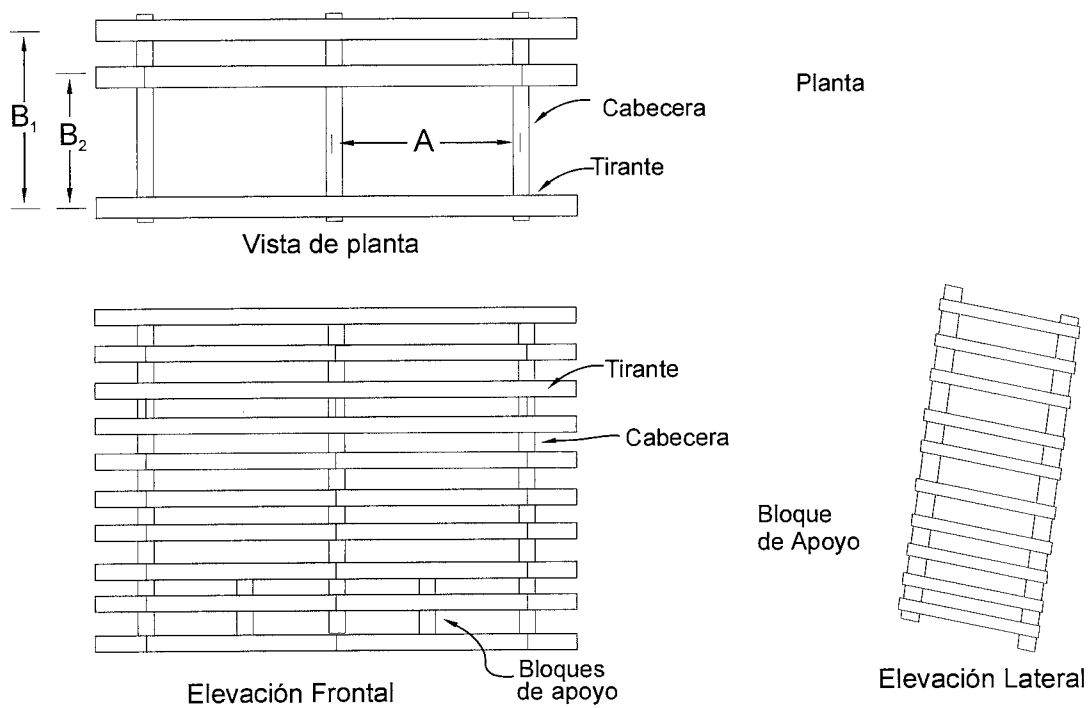
Fig. N° 12



Secuencia de excavaci6n, ensamblaje y relleno de muros de gabi6n de pie:

- Nivel Simple
- Nivel Doble

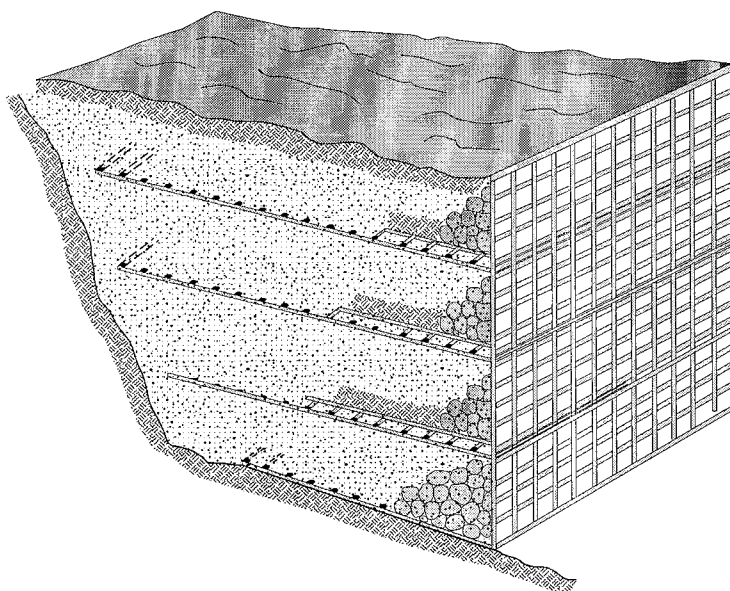
Fig. N° 13



A = Espaciamento del cabezal B_1 = Espaciamento de tirante (superior), B_2 = Espaciamento de Tirante (Inferior)

Componentes básicos y configuración de una celda de madera

Fig. N° 14



Las capas de las mallas soldadas están colocadas entre las sucesivas capas de relleno y conectadas en la cara frontal.

Ilustración esquemática de un muro de malla soldada

Fig. N° 15

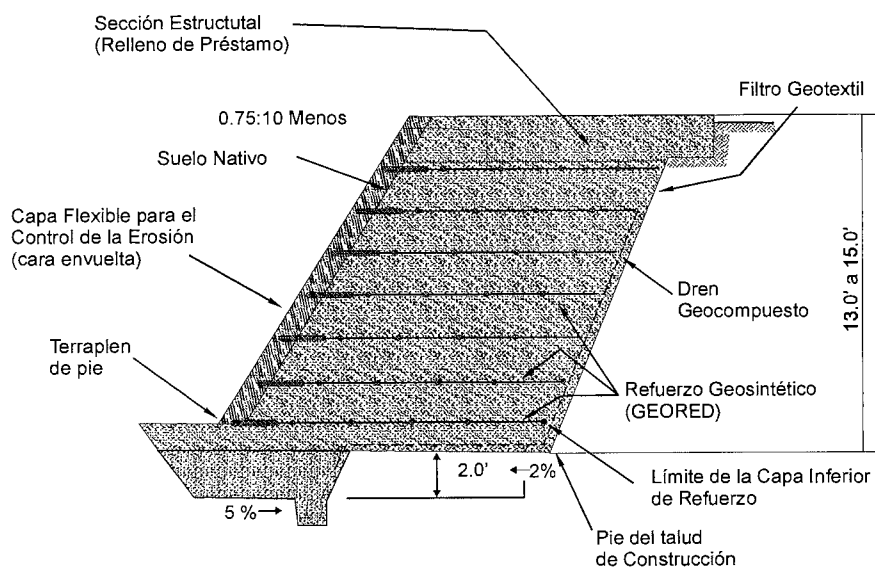
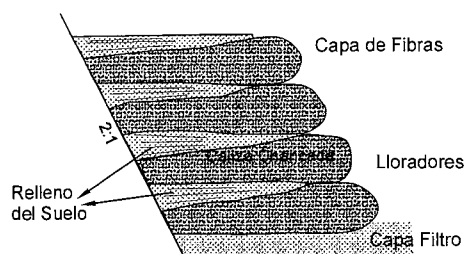
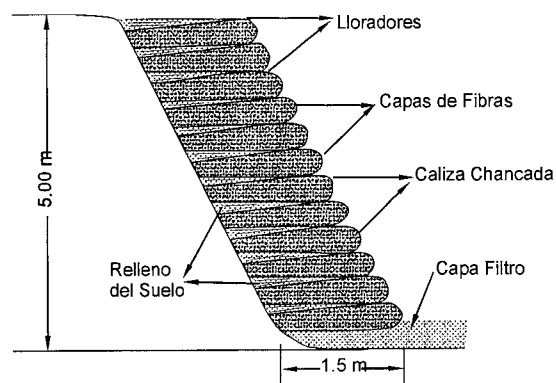


Ilustración esquemática de una estructura de contención con geored de esfuerzo. Se muestra colocación y espaciamiento típicos de las georedes poliméricas y flexibles.

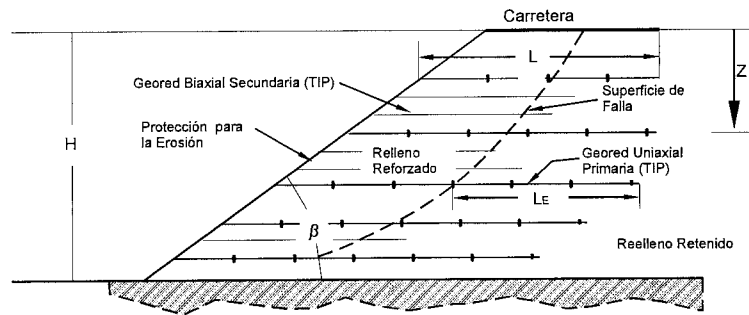
Fig. N° 16



Se insertó capas delgadas de suelos y cortes vivos (de Smolczyk and Malcharek, 1982).

Muro de contención construido con capas sucesivas de caliza chancada, envueltas y reforzadas con geotextil.

Fig. N° 17



ECUACIÓN:

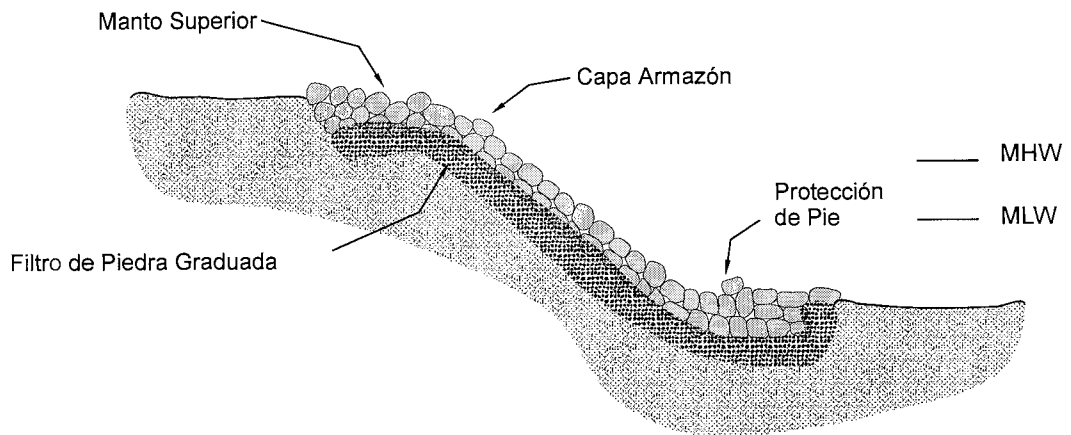
$$L_E = ((FS)T_{perm})/2 (\gamma z + q) \mu \tan \phi ; d = T_{perm}/(FS)K_a (z + q)$$

DONDE:

- d = Espaciamiento vertical requerido para esfuerzo estructural
- FS = Factor de Seguridad
- Tperm = Carga de tensión permisible en la Geored
- Ka = Coeficiente de presión activa de tierras.
- Z = Profundidad a la capa de refuerzo.
- Q = Sobrecarga vertical uniforme.
- γ = Peso unitario del relleno
- φ = Ángulo de fricción interna del relleno
- μ = Coeficiente de fricción interna entre el suelo y el refuerzo (aproximadamente la unidad para georedes)

Ilustración esquemática de los parámetros de suelo/talud/refuerzo que afectan el espaciamiento y longitud requeridos del esfuerzo de la GEORED.

Fig. N° 18



Componentes de revestimiento típico de piedra de cantera para la protección de taludes costeros (MHW = Altamarea media, MLW= Bajamarea media)

Fig. N°19

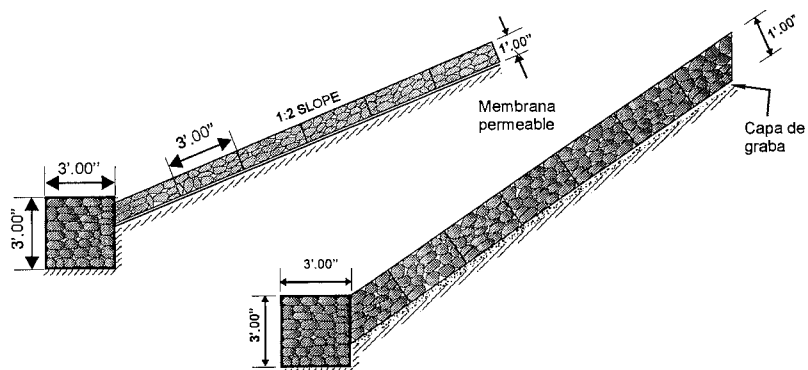


Ilustración esquemática del revestimiento de un muro de gabión con un muro de pie.

Fig. N° 20

CONCLUSIONES

1. El inventario de los peligros geológicos múltiples de la Franja N°2, ha permitido catalogar y cartografiar 1 496 peligros, diferenciándose 15 tipos, los que en orden de ocurrencia son: huaycos, derrumbes, deslizamientos, inundaciones, erosión de ribera, caídas de rocas, movimientos complejos, reptación de suelos, erosión de laderas, arenamientos, vuelcos, hundimientos, aluviones, aludes y flujos de lodo.
2. Entre los movimientos complejos, deslizamientos y derrumbes cuya evolución continúa hasta la fecha se encuentran: Chilcapampa, Maca-Chacaña, Yahuicho y Lacayaque (valle del Colca), deslizamiento de Yañajuayco (Coracora); deslizamiento en la carretera Puquio-Santa Ana de Huaycahuacho; derrumbes en los taludes de los sectores de Curva de Capiza-Andamayo (carretera Aplao-Viraco), Huario (carretera Aplao-Chuquibamba), Cerro Llahuayoc (carretera Llato-Pampacolca); carretera Antabamba-Abancay; Ampayapampa, Yanaccaca, Pucarrumi (carretera a Chalhuanca); en el cerro Jollevirca (Andahua-Chachas), derrumbe en la carretera Antabamba-Mina Utupara; quebrada Iscaycruz (carretera Cojata-Sina); Accollo (carretera Nuñoa-Mina Lola); Ccotaña, Lechelaya y Vistilaya (nueva carretera Arequipa-Juliaca), etc.
3. Dentro de los huaycos importantes destacan:
 - **Periódicos:** quebradas Huatarcuya y Amoray (Chalhuanca), quebradas San Juan y Luicho (valle de Cotahuasi); quebradas Huayabamba, Sandia, quebrada Camarón, Chichanaco y Santo Tomás (Sandia - San Juan del Oro), huaycos en la carretera Santo Tomás-Velille; quebrada Cullco (carretera a Tisco).
 - **Ocasionales:** torrenteras de Puno, quebrada Higuera y Cerro Negro (carretera Aplao-Tipán), Pacaychacra (carretera Sibayo-Cailloma), Huaccoto (carretera Arequipa-Yauri), cerros Carcinerayoc y Pichigua (carretera Orcopampa-Viraco); Cerro Compuerta (carretera Santa Lucía-Arequipa); quebradas San Ignacio y Arcopunco (Carretera Masiapo-Misquimayo); Sandia, Pacay Suizo y Charuyoc (San Juan del Oro-Putina Punco).
 - **Excepcionales:** quebradas Huanu Huanu, Charpa; Cangunge, Ronquillo y Orcona (Nasca), Pampa Redonda (Atico-mina Calpa); quebrada Mulapampa (carretera Huambo-Alto Siguas); Toco Toco (Sandia); Gilari (Limbani); Huarachani (Nuñoa).

4. Los principales peligros geológicos de remoción en masa y volcánicos que han afectado y modificado la morfología de la región de la Franja N° 2, en el período reciente, son:
 - a) **Peligros de Remoción en Masa:** deslizamientos en el área de Chuquibamba y Pampacolca; deslizamientos de tierras en el valle del Colca entre Sibayo y Pinchollo; flujos de lodo y aluviones que descendieron por las laderas de la vertiente occidental de la Cordillera Oriental (Cordillera de Carabaya); flujos de lodo de gran magnitud, en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental, asociados probablemente a períodos de El Niño (Niños excepcionales), cuyos depósitos se extienden hacia la planicie costanera; flujos de lodo rápidos hasta violentos (huaycos o aluviones), en las márgenes de los valles superiores de las cuencas de los ríos Vilcanota, Colca, Ocoña-Cotahuasi y Apurímac, etc., donde actualmente se asientan poblaciones y áreas agrícolas.
 - b) **Peligros Volcánicos:** avalanchas de escombros del volcán Hualca Hualca, que represaron el río Colca (Cabanaconde); actividad volcánica estromboliana en el valle de Andahua que represó y formó la laguna de Chachas y modificó el valle del río Andahua; área de volcanes de Huambo (tipo central y fisural); volcanismo lávico de los volcanes Quimsachata (Cusco), Coropuna y Firura (Arequipa); volcanismo lávico en el valle del Colca aguas arriba de Chivay (cerro Atun Orcoco).
5. El estudio de la sismicidad histórica en la Franja N°2 indica que se han producido sismos con intensidades de hasta grado X en la escala modificada de Mercalli y magnitudes de hasta 7,8 en la escala de Richter.
6. La distribución espacial de los sismos instrumentales en la Franja N° 2 indica una mayor actividad sísmica en la zona de subducción próxima a la costa. Hacia el continente las profundidades focales de los sismos de subducción aumentan. Así mismo hacia el continente existen sismos continentales relacionados al fallamiento activo.
7. La aceleración máxima para un período de 100 años, para las ciudades de Ica y Palpa es de 0,294 g, para la ciudad de Nasca es de 0,295 g y les corresponde una intensidad de VIII a IX MM.
8. Las aceleraciones máximas para los períodos de retorno de 30, 50, 100, 200, 400, 475 y 1000 años se muestran en el Capítulo VIII, Cuadro N° 50, válido para 16 localidades, observándose aceleraciones mínimas en el sector este de la franja (Puno, zona norte del lago Titicaca y el sector de Sicuani y Santo Tomás en el Cusco), además de valores altos en las localidades costeras cerca de la zona de subducción en el sector oeste de la franja, localidades de Ica, Palpa, Nasca y Chala.
9. La costa sur del Perú se caracteriza por la ocurrencia de sismos de gran magnitud, de grado mayor a VIII en la zona de subducción. Estos eventos han causado severos daños por vibraciones sísmicas y tsunamis, como el ocurrido el 13 de agosto de 1868 en Chala, donde perecieron 30 personas. El sismo del 23 de junio del 2001, no repercutió

en mayor grado en el litoral costero de la Franja N° 2, sin embargo debemos permanecer alertas en el presente, ya que en cualquier momento puede ocurrir un sismo tsunamigénico similar al del año 1868.

10. Los peligros geológicos de caídas (desprendimientos de rocas, derrumbes y vuelcos), deslizamientos y movimientos complejos, se localizan principalmente en los flancos y laderas de fuerte pendiente, de los valles de la costa y la selva alta, así como en los acantilados de la franja litoral y en los cortes de carretera, donde las condiciones litológicas, precipitaciones pluviales, presencia de agua y pendientes les son favorables. Zonas de muy alto riesgo se localizan en la cuenca alta del río Acarí, cuenca alta del río Yauca, cuenca media del río Colca (sector Tuti-río Majes), cuenca alta del río Chalhuanca, cuenca alta del río Oropesa (sector Chuquibambilla), cuenca alta de los ríos Cocha y Santo Tomás, sector selva alta (cuenca alta de los ríos Chuchuni, Limbani, Patambuco, Huari Huari y Tambopata).
11. Los flujos hídricos (huaycos, flujos de lodo, etc.), por lo general, están circunscritos a la reactivación periódica o excepcional de ríos y quebradas, debido a fuertes precipitaciones. En la Franja N° 2, las zonas sujetas a riesgo alto se localizan principalmente en los ríos, quebradas y sus tributarios que drenan al océano Pacífico: ríos Grande, Llauta, Viscas, Nasca, Acarí, Yauca, Cháparra, Ocoña, Colca, Capiza; quebradas Ayapana, Ingenio, Huanu Huanu, etc. En la ciudad de Puno, con la presencia de fuertes precipitaciones, debido a su morfología, se reactivan las diversas torrenteras que cruzan la ciudad hacia el lago Titicaca, afectando a la zona urbana, pudiendo ocurrir desastres como el de la ciudad de La Paz (Bolivia) en febrero del 2002.
12. En la Franja N° 2, las áreas sujetas a arenamiento, se presentan en forma de campos de arena, dunas, barcanas y médanos, y se localizan en las pampas costaneras y las áreas cercanas al mar. Las de zonas de alta amenaza se ubican en los sectores de Tanaca, Chaviña; y cerro Águila, Pampa Prieto, cerro Cruz Chico, pampa Camino Enladrillado, pampa Santa Cruz, Orovilca y cerro Portachuelo, al oeste de la ciudad de Ica.
13. Las áreas sujetas a erosión de laderas consideradas de alto riesgo, están localizadas en las tobas que cubren gran parte del cuadrángulo de Nasca, al este de la ciudad de Nasca, los piroclastos de la pampa del Confital, al SO del cuadrángulo de Santa Lucía. Los materiales inconsolidados que se ubican al NO de la ciudad de Puno sector Cabanillas, los estratos incompetentes de las formaciones cretácicas localizadas al norte de los cuadrángulos de Azángaro y Sicuani.
14. Las áreas sujetas a inundaciones están localizadas en las riberas de los lagos Titicaca y Arapa, en la laguna de Umayo y en las áreas circundantes a las numerosas lagunas y lagos localizados en la franja. También se ha observado este tipo de problemas en los ríos de la cuenca del Pacífico: Cháparra, Yauca, Acari, Nasca, Grande e Ica; así como en las cuencas medias de los ríos Ocoña-Cotahuasi, y Majes-Colca.

15. Se localizaron dos zonas con problemas de hundimientos (karst). La primera, al este de la franja (cuadrángulo de Putina), en la carretera Azángaro-Sandia, y la segunda en las cercanías de la localidad de Huambo (cuadrángulo de Huambo).
16. En la Franja N° 2, se han localizado 33 Instalaciones Críticas, ubicadas en la zona de muy alta amenaza por peligros geológicos/hidrológicos, que merecen atención especial, estos se muestran en el Capítulo IX, Cuadro N° 58.
17. Como resultado de la actividad minera se generan actualmente residuos en presas de relaves (mina Tintaya), depósitos de relaves, escombreras o botaderos de material estéril, escorias, depósitos de material industrial, etc., de minas en operación (Tintaya, Orcopampa, Cailloma, Arcata, Ares, Arirahua, San Rafael, Marcona, etc); residuos mineros de actividad minera artesanal (franja Nasca-Ocoña, cerro Rico-Yanaquihua, Ananea, La Rinconada), que sin un adecuado manejo pueden llegar a constituir un pasivo ambiental, como los observados en las numerosas minas abandonadas (principalmente auríferas) y polimetálicas (Katanga, Suyckutambo, Condoroma, Minas de Minsur, etc), ubicadas en la Franja N° 2.
18. Existen numerosos recursos geotermales en la Franja N° 2, tanto en la Cordillera Volcánica del Sur, Flanco Andino Oriental, Altiplano y Cordillera Oriental, cuyo potencial principal es el turístico (complejos turísticos termales, piscinas de recreación, propiedades termo-minerales o de interés paisajístico), su explotación puede proporcionar beneficios a las poblaciones que se ubican en su entorno.
19. Se han localizado afloramientos geológicos y áreas que por su belleza escénica, interés científico y didáctico (geológico), y uso ecoturístico merecen ser preservados como monumentos naturales o Parques Naturales, entre ellos tenemos: «Valle de los Volcanes de Andahua, Orcopampa y Sora», «Cañón de Tinajani», «Valle del Colca», «Valle de Cotahuasi», «Grutas de Warari», «Sacaco», «Pachapupo», Bosque de Rocas de «Imata», etc.

BIBLIOGRAFÍA

- ASKEW, B. (1985) - Catálogo de Terremotos para América del Sur. Datos de hipocentros e intensidades: Perú. Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), Lima, vol. 7, 3 t.
- AUGE, eds. (1994) - El Perú y sus recursos, Atlas geográfico y económico. Lima, 235 p.
- AYALA, F.J. (1990) - Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. Boletín Geológico y Minero, 101(3): 456-467.
- BOSKER, D.M., et al. (1994) - Revegetating Slopes for Stability. En: International Conference on Landslides and Slope Stability, Kuala Lumpur, Malasia, p 35-43
- CABRERA, M. & THOURET, J-C., (2000) - Volcanismo monogenético en el sur del Perú: Andagua y Huambo. En: Congreso Peruano de Geología, 10, Resúmenes, Soc. Geológica del Perú, Lima. p. 186.
- CASAVARDE, L. & VARGAS, J. (1985) - Mapa de distribución probabilística de Intensidades del Perú. En: Simposio sobre el Peligro y Riesgo Sísmico y volcánico en América del Sur, San Juan, Argentina, 1984, CERESIS, Proyecto SISRA, Lima, vol. 14, p. 393-410
- CASAVARDE, L. y VARGAS, J. (1980) - Zonificación sísmica del Perú. En: Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente, 2, Lima.
- CASTILLO, J. (1992) - Peligro sísmico en el Perú. Tesis, Univ. Nac. de Ingeniería, Fac. de Ing. Geológica Minera y Metalúrgica, Lima.
- COLL, J. (2001) - Estabilización biotécnica. Rev. Téc. Cap. Ingeniería Civil, C.I.P., Lima, 6(26):
- DÁVILA, S. (1987) - Inspección de la seguridad física de Madrigal, Dpto. de Arequipa. Servicio de Geología y Minería, División de Geotecnia, Lima, 8 p. (Informe técnico).
- DE SILVA, S.L. & FRANCIS, P.W. (1991) - Volcanoes of the Central Andes. Springer-Verlag, Berlin, 216 p.

- DECKER, R.. & DECKER, B. (1989) - Volcanoes (rev. ed.). W.H. Freeman, New York, 285 p.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SAO PAULO (1991).- Taludes en rodovias. Orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Sao Paulo.
- EISSEN, J.P., et al. (1996) - Adakites from Ecuador and Peru Quaternary volcanoes: preliminary interpretation. En: Congreso Latinoamericano "Volcanes, Sismos y Prevención", 1. Lima y Arequipa, p. 38-42.
- EXPRESO (1999) - Ecología del Perú, Fascículos coleccionables. Editora Perú, Lima.
- FIDEL, L. & ZAVALA, B. (1994) - Estudio geodinámico de la cuenca del río Camaná-Majes (Colca) Departamento de Arequipa INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 14, 206 p.
- FIDEL, L.; MORCHE, W. & NÚÑEZ, S. (1997) - Inventario de volcanes del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 15, 90 p.
- FIDEL, L.; MORCHE, W. & NÚÑEZ, S. (1997) - Riesgo volcánico en el Sur del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 16, 72 p.
- FIDEL, L.; VALENZUELA, G. & CASTRO, S. (1997) - Estudio geodinámico de la cuenca de los ríos Quilca, Sihuas y Vítor, Departamento de Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 19, 247 p.
- GALDOS, J. (1973) - Estudio geodinámico del área de Llacas, Prov. De Condesuyos, Dpto. de Arequipa. Servicio de Geología y Minería, División de Geotecnia, Lima, 13 p. (Informe técnico).
- GARCÍA, E. (1994) - Estudio de los tsunamis en las costas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. CISMID-UNI, Lima.
- GARCÍA, W. (1966) - Deslizamiento en el cerro Quehuisa en los distritos de Lari y Madrigal (Prov. de Caylloma, Dpto. de Arequipa). Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín, 13, p. 87-93.
- GRAY, D.H. & LEISER, A.T. (1987) - Biotechnical slope protection and erosional control. Van Nostrand Reinhold, New York. 271 p.
- GRAY, D.H. & OSHASHI, H. (1983) - Mechanics of fiber reinforcement in sand. Asce Journal of Geotechnical Engineering, 109(3):335-353.
- GREENWAY, D.R. (1987) - Vegetation and slope stability. En: Anderson, M.G. & Richards, K.S. (eds.), Slope stability, John Wiley, Chichester, p 187-230.

- GUILLANDE, R., et al. (1992) - L'activité éruptive actuelle du volcan Nevado Sabancaya (Sud du Pérou) et l'évaluation des menaces et des risques: géologie, cartographie et imagerie satellitaire. Ministère de l'Environnement et CNES, Paris, 120 p.
- HATTORI, S. (1979) - Seismic risk maps in the world (maximum acceleration and maximum particle velocity); (II), Balkan, Middle East, Southeast Asia, Central America, South America and others. Bull. Int. Inst. Seism. & Earthquake Engineering, 17: 33-96
- HERRERA, A.C. (1997) - Andamarca: Bendita Morada del Sol, "Los Manantiales". Editorial Tecnigraf, Lima, 40 p.
- HOBLITT, R., et al. (1995) - Volcano hazards from Mount Rainier. U.S. Geological Survey, Open File Report, 95-273, 10 p.
- HUAMÁN, D. (1995) - Métodos y aplicaciones de las imágenes de satélite en la cartografía geológica: el caso del seguimiento y evolución de la amenaza volcánica del Sabancaya (región del Colca, Arequipa, Perú); Tesis, E.P. Ingeniería Geológica, Univ. San Agustín, Arequipa, 138 p.
- HYLLAND, M.D. & LOWE, M. (1997) - Regional landslide-hazard evaluation using landslide slopes, Western Wasatch County, Utah. Environmental & Engineering Geoscience, 3(1):31-43.
- INGEMMET. DIRECCIÓN DE GEOTECNIA (1997) - Album de mapas de zonificación de riesgos fisiográficos y climatológicos del Perú, memoria descriptiva. INGGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 17, 142 p.
- INGEMMET. DIRECCIÓN DE GEOTECNIA (2000) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 1. INGGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 23, 330 p.
- INRENA (1995) - Estudio de reconocimiento del uso del recurso hídrico por los diferentes sectores productivos en el Perú. Convenio INRENA-PNUD-DDSMS, Dirección General de Aguas y Suelos, INRENA, Lima, 318 p.
- INRENA (1995) - Mapa ecológico del Perú a escala 1:1 000 000, Guía Explicativa. Inrena, Lima, 146 p.
- INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (1989) - Atlas del Perú. Proyecto Especial Atlas del Perú, Ministerio de Defensa, Lima.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (1995) - Compendio estadístico 1994-95: Dptos. de Arequipa, Moquegua y Tacna, Resultados Definitivos, Perfil Socio-Demográfico. INEI, Lima, v. 7.

- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1987) - Manual de Ingeniería de Taludes. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo de España, Madrid.
- JAMES, D.E. (1971) - Plate tectonic model for the evolution of the central Andes. Bull. Geol. Soc. Am., 82(12): 3325-3346.
- JIMÉNEZ, J. (1985) - Curso sobre estabilidad de taludes. Cedex, Madrid, p. 1-27
- LAZARES, L. (1993) - Estudio de riesgo sísmico de las edificaciones en el Sur del Perú. Tesis, Univ. Nacional de Ingeniería, Lima.
- LEFEVRE, C. (1979) - Un exemple de volcanisme de marge active dans les Andes du Pérou (Sud) du Miocene a l'actuel (zonation et pétrogénese des andesites et shoshonites). Doct. Thesis. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Académie de Montpellier, 555 p.
- LEGENDRE, C. (1999) - Pétrogénese du volcan "Misti Moderne" (Sud Pérou): essai de caractérisation de l'évolution pétro-géochimique et chronologique. Institut Géologique Albert de Lapparent, France, 88 p.
- LOCKRIDGE, P. (1985) - Tsunamis in Perú-Chile, World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Boulder, Colorado. 97 p.
- LÓPEZ, C., et al. (1999) - Manual de estabilización y revegetación de taludes. Madrid, Entorno Gráfico.
- MARENGO, J.A. (1987) - Impacto de la sequía de los años 1982-83 en la agricultura del Altiplano peruano. Estudios Agroclimáticos. En: 1er. Simposium Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres. CISMID, 1987, p. 213-232.
- MCGREGOR, J.P. & MCMANUS, K.J. (1995) - Management of lands to mass movements. En: Bell, D.H., ed., Proceedings Sixth International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, 1992, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, v. 2, p. 1437-1444.
- MCGUIRE, R.K. (1976) - Fortran computer program for seismic risk analysis, U.S. Geological Survey, Open-File Report 76-67, New York.
- MCPHIE, J.; DOYLE, M. & ALLEN, R.L. (1993) - Volcanic textures. a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, Univ. Of Tasmania, Hobart, 196 p.
- MEJÍA, M. & GARCÍA, L. (1996) - Natural hazard and risk assessment using decision support systems, application: Glenwood Springs, Colorado. Environmental & Engineering Geoscience, 2(3):299-324.

- MENDÍVIL, S. (1967) - Deslizamientos de tierras en el Distrito de Livitaca. Servicio de Geología y Minería, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 1, p. 9-31.
- MILLER, C.D. (1989) - Potencial hazards from future volcanic eruptions in California. U.S. Geological Survey Bulletin, 1847, 17 p.
- MONSALVE, M. (1999) - Amenazas volcánicas y sus efectos. En: Curso Internacional de Metodologías en Vigilancia Volcánica, 2, Manizales, 4-29 octubre 1999, Ingeominas, Bogotá, 8 p.
- MORCHE, W. & NÚÑEZ, S (1997) - Estudio del riesgo geológico del volcán Sara Sara. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica., 21, 83 p.
- NACIONES UNIDAS (1976) - Directrices para la prevención de desastres. Vol. 2: medidas de construcción para minimizar el efecto de los desastres. Naciones Unidas, Ginebra, 69 p.
- NACIONES UNIDAS, DEPARTAMENTO DE ASUNTOS HUMANITARIOS & INDECI (1995) – Tsunamis: Evacuación de la población y planes de uso de suelo para mitigar sus efectos; localidades estudiadas en el Perú entre 1981 y 1994. Programa de Mitigación de Desastres en el Perú 1992-95. Informe de Proyecto. INDECI, Marina de Guerra del Perú, Lima, 46 p.
- NÚÑEZ, S. & VALENZUELA, G. (1999) - Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán nevado Coropuna. INGEMMET, Dirección de Geotecnia. (Informe interno).
- OEA. DEPARTAMENTO DE DESARROLLO REGIONAL Y MEDIO AMBIENTE (1991) - Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Riesgos Naturales para Reducir los Daños. OEA y USAID, Washington, D.C., 79 p. .
- OEA. DEPARTAMENTO DE DESARROLLO REGIONAL Y MEDIO AMBIENTE (1993) - Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. OEA y USAID, Washington, D.C.
- OLCHAUSKI, E. & DÁVILA, D. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac., 50, 52 p.
- OLIVARES, P.; TAYPE, V. & CASTRO, S. (1994) - Estudio geodinámico de la cuenca del río Ica: departamentos Ica-Huancavelica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 13, 109 p.
- ONERN (1975) - Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la Costa. Cuencas de los ríos Atico, Caravelí y Ocoña. ONERN, Lima, 2 t.

- ONERN (1984) - Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la micro región Puno (Reconocimiento). ONERN, Lima, 237 p.
- ORTLIEB, L. & VARGAS, G. (2000) - Depósitos aluviales y huaycos del Pleistoceno Tardío y Holoceno Temprano en la costa sur del Perú: ¿Qué significado tienen para la reconstrucción de manifestaciones antiguas de eventos El Niño?. En: Congreso Peruano de Geología, 10, Resúmenes, Soc. Geológica del Perú, Lima. p. 144.
- PARODI, A. (1966) - The active volcanoes of Peru. En: Hantke, G. & Parodi, A. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatar fields-pt. 19, Colombia, Ecuador and Peru, Inter. Assoc. of Volcanology, Rome, p. 65-73
- RICE, R.M. & KRAMES, J. S. (1970) - Mars-wasting process in watershed management. Proceedings on Interdisciplinary Aspects of Watershed Management. ASCE, p. 231-260.
- RIVERA, M. (1998) - El volcán Ubinas (Sur del Perú): geología, historia eruptiva y evaluación de las amenazas volcánicas actuales. Tesis Ing., E.A.P. de Ing. Geológica, Univ. de San Marcos, Lima, 129 p.
- RIVERA, M. (2000) - Genèse et évolution pétrologique des magmas émis au cours de l'histoire éruptive récente du volcan Ubinas (Pérou méridional): contribution à l'évaluation des aléas éruptifs. These doctorale, Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales, Université Blaise Pascal-Clermont Ferrand II, 70 p.
- SCHIECHTL, H.M. (1980) - Bioengineering for land reclamation and conservation. University of Alberta Press, Alberta, Canada, 404 p.
- SENAMHI (1988) - Mapa de clasificación climática del Perú, SENAMHI, Lima.
- SIDLE, R.C.; PEARCE, A.J. & O'LOUGHLIN, C.L. (1985) - Hillslope stability and land use. American Geophysical Union, Washington D.C., Water. Resources Monograph 11, 140 p.
- SIEBERT, L.; GLICKEN, H. & TADAHIDE, U. (1987) - Volcanic hazards from Bezymianny and Bandai-type eruptions. Bulletin of Volcanology, 49(1):435-459.
- 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.
- SIMKIN, T. & SIEBERT, L. (1994) - Volcanoes of the world: a regional directory, gazetteer, and chronology of volcanism during the last 10,000 years, Geoscience Press, Tucson, Arizona, 349 p.

- STEINMÜLLER, K. & ZAVALA, B. (1997) - Hidrotermalismo en el Sur del Perú: Vigilancia de la actividad volcánica e hidrotermalismo en el Sur del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales, 18, 79 p.
- STOP DISASTERS (1996) - Ciudades en Peligro. Ciudades mas seguras ...antes de un desastre. DIRDN 1990-2000. Suplemento al N° 28 de Stop Disasters, 33 p.
- SUÁREZ, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Inst. de Invest. sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 548 p.
- THOURET, J.-C., et al. (1997) - L'éruption explosive de 1600 au Huaynaputina (Pérou), la plus volumineuse de l'histoire dans les Andes Centrales. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des Planètes, 325(12):931-938.
- TILLING, R.I. (1989) - Short course in geology, vol. I: volcanic hazards. 28th International Geological Congress, Washington D.C., 107 p.
- TOVAR, J. (1997) - La minería peruana y el agua subterránea. En: Congreso Peruano de Geología, 9, Lima, 1997, Resúmenes extendidos. Soc. Geológica del Perú, Lima, p. 649-652.
- TSUTIYA, A.M. & MACEDO, E.S. (1995) - Mechanism of natural slope instability in Guaratingueta, Brazil. En: Bell, D.H., ed., Proceedings Sixth International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, 1992, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- VAN WESTEN, C.J.; SEIJMONSBERGEN, A.C. & MANTOVANI, F. (1999) - Comparing landslide hazard maps. Natural Hazards 20(2-3): 137-158.
- VATIN-PERIGNON, N., et al. (1992) - Geodynamic interpretations of plate subduction in the northernmost part of the Central Volcanic Zone from the geochemical evolution and quantification of the crustal contamination of the Nevado Solimana volcano, southern Peru. Tectonophysics, 205(1-3):329-355.
- VELÁSQUEZ, E. & ASTÉ, J.P. (1995) - Algunas bases para la concepción de escenarios de riesgo asociados a fenómenos de inestabilidad. Revista INGEOMINAS, (7):1-17.
- WALKER, B.F. & MOHEN, F.J. (1987) - Groundwater prediction and control, and negative pore water pressure effects. En: Walker, B.F. & Fell, R., Proceedings of an extension course on soil slope stability and stabilisation, A.A. Balkema. Rotterdam, Netherlands, p. 121-181.

- WILLIAMS, A.A.B. & PIDGEON, J.T. (1983) - Evapotranspiration and heaving clays in South Africa. *Geotechnique*, Vol 22, N° 2
- YANQUI, C. (1983) - Geotecnia del deslizamiento de Lari. *Bol. Soc. Geol. Perú*, (72):287-299.
- ZAVALA, B. & NÚÑEZ, S. (1999) - Estudio geológico-geotécnico de la región suroccidental del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 22, 418 p.



Vista del deslizamiento de Maca, ubicado en el Sector Crítico N° 25. Movimiento Complejo activo que compromete áreas de cultivo, carretera Chivay - Cabanaconde.

Av. CANADÁ 1470-SAN BORJA

Apartado 889 - Lima 41 - Perú

Telfs.: 224-2963 • 224-2964 • 224-2965 • 225-3128

FAX: (51-1) 225-4540

[http: www.ingemmet.gob.pe](http://www.ingemmet.gob.pe)

e-mail: informacion@ingemmet.gob.pe

ventas@ingemmet.gob.pe