SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET, Boletín Serie N: Línea de Base Geoambiental
N° 2

Estudio geoambiental en la Cuenca del Río Ocoña

Lima, Perú
2021

INGEMMET, Boletín Serie N: Línea de Base Geoambiental
N° 2

Estudio geoambiental en la Cuenca del Río Ocoña

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Equipo de Investigación:

Lucio Medina Allcca
Hugo Gómez Velásquez
Boris Santos Romero
José Moreno Herrera
Walter Pari Pinto

Lima, Perú
2021

INGEMMET, Boletín Serie N: Línea de Base Geoambiental
N° 2

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-07494

Nombre del autor(es). “Esta es una obra colectiva”

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú
Primera Edición, INGEMMET 2021
Se terminó de imprimir el 19 de julio 2021 en los talleres del INGEMMET

Tiraje: 25

© **INGEMMET**

Presidente Ejecutivo: Víctor Manuel Díaz Yosa.

Gerente General: Luis Panizo Uriarte.

Comité Editor: Lionel Fídel Smoll, Yorri Carrasco Pinares.

Dirección encargada del estudio

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

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Yorri Carrasco Pinares.

Revisión Técnica: Mirian Mamani Huisa, Lionel Fídel Smoll.

Revisor Externo: Pedro Isique Chanampe.

Corrección gramatical y de estilo: Ana Bravo Hernandez.

Diagramación: Erick Rodríguez Zelada.

Fotografía de la carátula: superior, depósito de avalancha de detritos en Cotahuasi, provincia La Unión; inferior, cauce del río Ocoña en la cuenca baja.

Referencia bibliográfica
Medina, L.; Gómez, H.; Santos, B.; Moreno, J. & Pari, W. (2021) - Estudio geoambiental en la cuenca del río Ocoña. *INGEMMET, Boletín, Serie N: Línea de Base Geoambiental,* 2, 222 p., 21 mapas

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

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

Contenido

RESUMEN 7

ABSTRACT 9

CAPÍTULO I 11
INTRODUCCIÓN 11
1.1 PRESENTACIÓN 11
1.2 OBJETIVOS 12
1.3 ANTECEDENTES 12
1.4 METODOLOGÍA 12
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO 13
1.6 PARTICIPACIÓN 13

CAPÍTULO II 15
ASPECTOS GENERALES DE LA CUENCA 15
2.1 SITUACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA CUENCA 15
2.2 VÍAS DE ACCESO 17
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN 17
2.4 ACTIVIDADES ECONÓMICAS 20
2.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CUENCA 25
2.6 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS 30
2.7 UNIDADES ECOLÓGICAS 32
2.8 UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL 35

CAPÍTULO III 39
CONTEXTO LITOLÓGICO-ESTRUCTURAL 39
3.1 UNIDADES LITOLÓGICAS 39
3.1.1 Depósitos Inconsolidados 39
3.1.2 Unidades del Sustrato 43
3.2 ASPECTOS ESTRUCTURALES 50

CAPÍTULO IV 53
ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS 53
4.1 PENDIENTE DE LOS TERRENOS 53
4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA 55
4.2.1 Geoformas de carácter tectónicodegradacional y erosional 55
4.2.2 Geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional 59
4.2.3 Geoformas de carácter depositacional y agradacional 62

CAPÍTULO V 69
ASPECTO HIDROGEOLÓGICO 69
5.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 74
5.1.1 Acuíferos 74
5.1.2 Acuitardos 78
5.1.3 Acuífugos 81

5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES HIDROGEOLÓGICOS....81
5.2.1 Perfil A – A'....81
5.2.2 Perfil B – B'....81
5.2.4 Perfil D – D'....82
5.2.5 Perfil E – E'....82

CAPÍTULO VI....89
PELIGROS NATURALES....89
6.1 CONCEPTOS DE PELIGRO/AMENAZA....89
6.2 OCURRENCIAS HISTÓRICAS DE PELIGROS NATURALES EN LA CUENCA....90
6.3 EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD RECONOCIDAS....91
6.4 MOVIMIENTOS EN MASA....91
6.4.1 Caída....93
6.4.2 Deslizamiento....100
6.4.3 Flujo y avalancha de detritos....104
6.4.4 Reptación....108
6.4.5 Movimiento complejo....109
6.5 PELIGROS GEOHIDROLÓGICOS....110
6.5.1 Erosión fluvial....110
6.5.2 Inundación fluvial....112
6.6 OTROS PELIGROS NATURALES....113
6.6.1 Arenamiento....114
6.6.2 Erosión de laderas....115
6.7 PELIGRO SÍSMICO....117
6.7.1 Sismicidad histórica....117
6.7.2 Tsunamis....121
6.7.3 Movimientos en masa detonados por sismos....123
6.7.4 Licuación de suelos y deformaciones superficiales....123
6.7.5 Distribución de máximas intensidades sismicas....123
6.7.6 Distribución espacial de los sismos....124
6.7.7 Estudio sísmico probabilístico....124
6.7.8 Zonificacion y aceleraciones máximas....129
6.8 ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA....131
6.9 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS....136

CAPÍTULO VII....151
SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y EROSIÓN FLUVIAL....151
7.1 SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA....151
7.1.1 Factores condicionantes de la inestabilidad y determinación de su peso en la ocurrencia de los movimientos en masa....151
7.1.2 Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa....157
7.1.3 Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa....157
7.2 SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL....158
7.2.1 Método de análisis y elección de variables....158
7.2.2 Grados de susceptibilidad a inundación y erosión fluvial....160

CAPÍTULO VIII....163
CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES....163
8.1 INTRODUCCIÓN....163
8.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO....163

8.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS 164
8.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH) 166
8.3.2 Conductividad Eléctrica (CE) 167
8.3.3 Temperatura (T) 169
8.4 CONTROL DE CALIDAD DE DATOS 170
8.4.1 Balance iónico 170
8.5 CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA 171
8.5.1 Clasificación de aguas 171
8.6 ANÁLISIS DE COEFICIENTE DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN 173
8.6.1 Temporada de avenida 174
8.6.2 Temporada de estiaje 177

CAPÍTULO IX 183
ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS DE MOVIMIENTOS EN MASA 183
9.1 GENERALIDADES 183
9.2 MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y DE MITIGACIÓN 183
9.2.1 Medidas correctivas para deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas 184
9.2.2 Medidas correctivas para zonas de flujos y cárcavas 198
9.2.3 Medidas correctivas para erosión fluvial e inundaciones 203

CONCLUSIONES 205

RECOMENDACIONES 207

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 209

ANEXOS 213

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES 215

RESUMEN

El objetivo general del estudio es contribuir con el desarrollo sostenible de los habitantes en la Cuenca del río Ocoña. Proporciona información básica y temática sobre los problemas geológicos (movimientos en masa) y geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) que los afecta. Esto permitirá efectuar una adecuada planificación de lugares seguros. También proporciona información sobre la calidad de las aguas superficiales que discurren en los principales ríos.

El trabajo del inventario de peligros geológicos (movimientos en masa) y geohidrológicos se desarrolló mediante la interpretación visual de imágenes de satélite Landsat, Google Earth, fotografías aéreas y visitas técnicas en campo. Los mapas temáticos (litológico, pendiente, geomorfológico e hidrogeológico) que fueron usados como factores en el análisis de las susceptibilidades se elaboraron a escala 1:100 000 y fueron impresos a escala 1:300 000.

La toma de muestras para la evaluación de la calidad de aguas superficiales se desarrolló en temporadas de avenida (abril) y estiaje (setiembre) del año 2012, y el análisis químico de las muestras de agua se realizó en el Laboratorio de Química del Ingemmet.

La cuenca del río Ocoña, de relieve muy accidentado y presencia de volcanes potencialmente activos (Coropuna, Solimana, Sara Sara y otros), hidrográficamente está conformada por las subcuencas Alto Ocoña, Bajo Ocoña, Chichas, Churunga, Cotahuasi, Medio Alto Ocoña, Medio Bajo Ocoña, Medio Ocoña, Mirmaca y Parinacochas.

Los principales peligros que ocurrieron en la cuenca del río Ocoña, según su origen, corresponden a peligros geológicos, geohidrológicos y otros peligros. Los peligros geológicos por procesos de movimientos en masa (caídas, deslizamientos, flujos, movimientos complejos y reptación de suelos) generan el mayor número de ocurrencias de la cuenca con 70.39 %; seguidos por otros peligros (erosión de ladera o cárcava, hundimientos y arenamientos) con 26.89 % y peligros geohidrológicos (Inundación y erosión fluvial) con 2.72 %.

En trabajos de campo y gabinete se ha identificado en total 662 ocurrencias principales, de las cuales 303 fueron identificadas en campo y 359 mediante la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Además, según la estadística porcentual, 41.7 % de ocurrencias corresponde a flujos, 24.5 % a erosión de ladera, 16.9 % a caídas, 8.8 % a deslizamientos, 2.9 % a movimientos complejos, 1.8 % a arenamientos, 1.5 % a erosión fluvial, 1.2 % a inundación fluvial, 0.6 % a hundimientos y 0.2 % a reptación de suelos.

En la cuenca Ocoña han sido identificadas 22 zonas críticas, de las cuales: 1 se ubica en el distrito de Ocoña, 2 en Mariano Nicolás Valcárcel, 1 en Río Grande, 1 en San Juan de Chorunga, 1 en Yanaquihua, 4 en Chichas, 1 en Quechualla, 1 en Charcana, 1 Pampamarca, 1 en Toro, 3 en Cotahuasi, 1 en Puyca, 1 en Coronel Castañeda, 1 en Pacapausa y 2 en Pausa. Estas son más proclives a ser afectadas peligros geológicos por procesos de movimientos en masa peligros geohidrológicos.

Para analizar los grados de susceptibilidad a la ocurrencia de los movimientos en masa de la cuenca Ocoña, se consideró el método basado en la categorización y ponderación de factores (método heurístico, indirecto y cualitativo), cuyo objetivo principal es indicar y priorizar zonas donde las condiciones existentes hacen probable la ocurrencia de movimientos en masa. Se categorizó en cinco rangos: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

Se realizó trabajos de campo para la recolección de muestras en ocho subcuencas (Alto Ocoña, Bajo Ocoña, Chichas, Churunga, Cotahuasi, Medio Alto Ocoña, Medio Bajo Ocoña y Mirmaca) de las diez existentes. Además, se realizaron en dos temporadas: avenida (abril) y estiaje (setiembre) del año 2012. Para la temporada de estiaje se consideró 42 estaciones y para la temporada de avenida, 54 estaciones de aguas superficiales.

Finalmente, en este estudio se propone algunas alternativas para el manejo de los problemas generados por los movimientos en masa e inundaciones en la cuenca.

ABSTRACT

The general objective of the study is to contribute to the sustainable development of the inhabitants in the Ocoña River Basin It provides basic and thematic information on the geological (mass movements) and geohydrological (flooding and river erosion) problems that affect them. This will allow for proper planning of safe places. It also provides information on the quality of the surface waters that flow in the main rivers.

The work of the inventory of geological (mass movements) and geohydrological hazards was developed through the visual interpretation of Landsat satellite images, Google Earth, aerial photographs and technical visits in the field. Thematic maps (lithological, slope, geomorphological and hydrogeological) that were used as factors in the susceptibility analysis were prepared at a scale of 1: 100,000 and were printed at a scale of 1: 300,000.

The sampling for the evaluation of the surface water quality was carried out in flood seasons (April) and low water (September) in 2012, and the chemical analysis of the water samples was carried out in the Ingemmet Chemical Laboratory.

The Ocoña river basin, with a very rugged relief and the presence of potentially active volcanoes (Coropuna, Solimana, Sara Sara and others), hydrographically is made up of the Alto Ocoña, Bajo Ocoña, Chichas, Churunga, Cotahuasi, Medio Alto Ocoña, Medio sub-basins Bajo Ocoña, Medio Ocoña, Mirmaca and Parinacochas.

The main dangers that occurred in the Ocoña river basin, according to their origin, correspond to geological, geohydrological and other dangers. Geological hazards due to mass movement processes (falls, landslides, flows, complex movements and soil creep) generate the highest number of occurrences in the basin with 70.39 %; followed by other hazards (slope or gully erosion, subsidence and sandbanks) with 26.89 % and geohydrological hazards (Flood and river erosion) with 2.72 %.

In field and office work, a total of 662 main occurrences have been identified, of which 303 were identified in the field and 359 through the interpretation of satellite images and aerial photographs. In addition, according to the percentage statistics, 41.7% of occurrences correspond to flows, 24.5 % to slope erosion, 16.9 % to falls, 8.8 % to landslides, 2.9 % to complex movements, 1.8 % to sands, 1.5 % to river erosion, 1.2 % to river flooding, 0.6 % to subsidence and 0.2 % to soil creep.

In the Ocoña basin, 22 critical areas have been identified, of which: 1 is located in the Ocoña district, 2 in Mariano Nicolás Valcárcel, 1 in Río Grande, 1 in San Juan de Chorunga, 1 in Yanaquihua, 4 in Chichas, 1 in Quechualla, 1 in Charcana, 1 in Pampamarca, 1 in Toro, 3 in Cotahuasi, 1 in Puyca, 1 in Coronel Castañeda, 1 in Pacapausa and 2 in Pausa. These are more likely to be affected by geological hazards by mass movement processes geohydrological hazards.

To analyze the degree of susceptibility to the occurrence of the mass movements of the basin Ocoña, it was considered the method based on the categorization and weighting factors (method Heuristic, indirect and qualitative), whose main purpose is to indicate and prioritize areas where Existing conditions make the occurrence of mass movements likely. It was categorized into five ranges: very low, low, medium, high, and very high.

Field work was carried out to collect samples in eight sub-basins (Alto Ocoña, Bajo Ocoña, Chichas, Churunga, Cotahuasi, Medio Alto Ocoña, Medio Bajo Ocoña and Mirmaca) of the ten existing. In addition, they were carried out in two seasons: avenue (April) and low water (September) in 2012. For the dry season, 42 stations were considered and for the avenue season, 54 surface water stations.

Finally, this study proposes some alternatives for managing the problems generated by mass movements and floods in the basin.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet), a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), realizó el *Estudio Geoambiental de la Cuenca del Río Ocoña*, con el objetivo de generar información geocientífica de calidad que contribuya al desarrollo sostenible de la población ubicada allí.

Los resultados de este estudio permiten proponer políticas, programas y acciones de prevención ante los peligros naturales y los resultantes de los procesos de ocupación territorial. Además, esta información constituye la base para el plan de ordenamiento territorial y el desarrollo sostenible de las poblaciones de la cuenca del río Ocoña.

La geología ambiental fue definida por Bates & Jackson como "*la aplicación de los principios y conocimientos de la geología a los problemas creados por la ocupación y la explotación del entorno físico por el hombre*". Esta acción se ejerce principalmente sobre la superficie de la tierra, sobre el conjunto de rocas, geoformas, suelos y ecosistemas que son mantenidos por procesos naturales y que son la expresión de la historia del entorno natural, con adición de los impactos y de la gestión de los seres humanos (citado por Zavala *et al*., 2014).

Según Zavala *et al*. (2014), la importancia de las ciencias geoambientales tiene mucho que ver en el uso de herramientas para zonificar ambientalmente un territorio. Los componentes como la vegetación, el clima y la fauna son importantes, pero muchas veces pasamos por alto estos temas. Estos nos ayudan a:

- Definir zonas expuestas a deslizamientos, huaicos, inundaciones, erosión del suelo, etc., que perjudican áreas urbanas, agrícolas, mineras y de ubicación de infraestructura de desarrollo.
- Identificar zonas de recarga de acuíferos subterráneos por el tipo de formación geológica que conforman el territorio y que permiten que el agua se acumule de manera subterránea.
- Definir el paisaje y su importancia entre valles, lomas, colinas, escarpes, terrazas, abanicos, morrenas, cañones, cataratas, volcanes, etc., como elementos del patrimonio natural que necesitan ser conservados.
- Definir áreas que tienen posibilidad de tectonismo, terremotos por activación de fallas geológicas ubicadas en su entorno, así como la reactivación de volcanes.
- Determinar si el origen de la contaminación de agua o suelo es a partir de las características geoquímicas de las rocas y suelos (contaminación natural), o de las malas prácticas de manejo ambiental por la industria minera, agroindustrial o urbana.
- Por último, es importante definir cuáles son los impactos generados por el hombre que están deteriorando el medio físico (pasivos ambientales, residuos o desechos domésticos, contaminación de acuíferos), así como definir las transformaciones que están sucediendo como consecuencia del cambio climático.

El ordenamiento territorial (OT), como una estrategia de desarrollo, es una política o instrumento de planificación de carácter nacional, regional o local. Es una proyección en el espacio geográfico (cuenca o región) de la visión del desarrollo que la sociedad desea a largo plazo, orientada a ordenar las diversas actividades que el hombre realiza en su territorio, mediante su ocupación adecuada y uso sostenible de los recursos naturales. La Zonificación Ecológica Económica (ZEE), como política de OT (D.S. Nº 045-2001-PCM), está orientada para este fin, a identificar y sugerir los usos más adecuados de los diversos espacios del territorio y de sus recursos naturales, y se constituye en la base técnica y científica del proceso de OT.

Los problemas principales en nuestro país están relacionados con el crecimiento demográfico y la expansión de áreas urbanas, deterioro de los recursos naturales, escasez de agua, existencia de pasivos ambientales de la actividad minera y la creciente demanda de uso de suelo (industrial, poblacional, agrícola, infraestructura, etc.), con la consiguiente contaminación de aire, agua y suelo. Se aúna a esto una serie de riesgos asociados a fenómenos sísmicos, volcánicos y de movimientos en masa, que al igual que las causas de muchos problemas ambientales, pueden ser entendidos en un contexto geológico y mediante el conocimiento de procesos geodinámicos.

La información del presente estudio está basada en mapas temáticos sobre geomorfología, hidrogeología, peligros de origen natural y calidad de aguas superficiales. Estos están a disposición de las instituciones públicas y privadas encargadas de la materialización de programas de gestión del riesgo de desastre, planificación territorial y manejo de cuencas hidrográficas.

Los mapas generados corresponden a una síntesis, trabajados a escala 1:100 000 e impresos a 1:300 000. Deben usarse con un enfoque orientativo, sin extrapolar su zonificación a escalas de mayor detalle. El propósito es contribuir a la gestión ambiental y/o eventual asignación de usos del territorio por parte de los planificadores en una de las más importantes cuencas del Pacífico.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio son:

- Desarrollar un análisis sistemático de la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos (inundación fluvial) en la cuenca del río Ocoña. Además, asegurar que la información temática sea una herramienta básica y de utilidad para la gestión del riesgo de desastres y su adecuación a los planes de Ordenamiento Territorial.
- Analizar la calidad (parámetro fisicoquímico) de las aguas superficiales de los principales ríos en base a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua.

1.3 ANTECEDENTES

Acerca de la cuenca del río Ocoña hay numerosos estudios, pero se ha utilizado principalmente los realizados por Inrena, Onern e Ingemmet.

La publicación del Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007) trata sobre las condiciones hidrológicas y meteorológicas de la cuenca del río Ocoña, con el fin de conocer su comportamiento y caracterizar cada una de las variables del ciclo hidrológico. Además, permite conocer la disponibilidad del recurso hídrico durante todos los meses del año, así como su uso y distribución.

El estudio de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1975) presenta información referente al potencial de los recursos naturales de los valles costeros y a los diversos problemas que afectan su uso actual y futuro. Propone tentativamente planes de desarrollo integral para cada valle costero.

Los estudios realizados por el Ingemmet tratan temáticas relacionadas a las unidades litoestratigráficas y los riesgos geológicos a escala regional.

1.4 METODOLOGÍA

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

Gabinete I: Recopilación y análisis de datos

Los trabajos consistieron en:

- Recopilación y evaluación de información bibliográfica sobre la cuenca.
- Generación de la cartografía básica: delimitación de la cuenca y composición del mapa topográfico base utilizando hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional.
- Preparación de modelo digital de terreno (MDT) mediante SIG.
- Generación de mapas preliminares para su respectiva comprobación de campo (litológico, pendiente de los terrenos, geomorfológicos e hidrogeológico).
- Composición del mapa litológico-estructural a escala 1:100 000 a partir de la cartografía geológica actualizada por Ingemmet al 2006.
- Interpretación y cartografiado de peligros geológicos por procesos de movimientos en masa mediante el uso de imágenes satélite LandSat y fotografías áreas.

Campo: Recopilación de datos in situ

Los trabajos de campo (in situ) se efectuaron en diferentes fechas en las que se realizaron las siguientes actividades:

- Inventario, validación, caracterización y cartografiado de peligros geológicos por procesos de movimientos en masa y peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial)
- Evaluación de la seguridad física de centros poblados e identificación de zonas críticas a peligros geológicos
- Validación de mapas temáticos elaborados en la etapa de gabinete I
- Medición de parámetros in situ de pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua y sólidos totales disueltos en el agua superficial (fotografía 1.1)
- Toma de muestra de agua superficial en puntos relevantes de los ríos de la cuenca

Fotografía 1.1 Toma de muestra de agua superficial en el río Breamayo.

Gabinete II: Sistematización de la información y elaboración de productos

Los trabajos de gabinete II o finales han radicado en:

- Procesamiento y depuración de datos en base a la confrontación de la información obtenida en los trabajos de gabinete I y campo.
- Elaboración y preparación de una base de datos de peligros geológicos y geohidrológicos que permita su incorporación a la Base de Datos Geocientífica del Ingemmet y publicar en la plataforma virtual del Sistema de Información Geológico Catastral Minero (Geocatmin).
- Elaboración de mapas temáticos finales de factores (geomorfología, litología, pendientes, cobertura vegetal e hidrogeología).
- Elaboración de mapas de susceptibilidad por los movimientos en masa y susceptibilidad por inundación y erosión fluvial.
- Determinación de zonas críticas ante la posible ocurrencia de peligros de origen natural.
- Análisis del peligro sísmico.
- Análisis de los resultados químicos y fisicoquímicos obtenidos en campo y laboratorio.
- Elaboración de gráficos de geoquímica ambiental e interpretación de la calidad de las aguas superficiales en base a los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua.
- Preparación y redacción del informe final.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El alcance principal de este estudio es la evaluación de la susceptibilidad a los peligros geológicos y geohidrológicos; además, establer una base geoambiental en la cuenca del río Ocoña. Esta información es básica, de mucha utilidad para futuros trabajos de prevención de desastres y evaluaciones en la calidad de aguas superficiales del área de estudio.

La información sobre recursos naturales biológicos ha sido limitada, pero se consideró suficiente debido a que este es un estudio que aporta más en los aspectos geológicos y no es un estudio de impacto ambiental.

1.6 PARTICIPACIÓN

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

GEOMORFOLOGÍA, GEODINÁMICA, CARTOGRAFÍA, INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS, ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDADES, MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.

Ing. Lucio Medina Allcca

Ing. Dulio Gómez Velásquez

HIDROGEOLOGÍA

Ing. José Luis Moreno Herrera

ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO

Ing. Walter Pari Pinto

GEOQUÍMICA AMBIENTAL DE AGUAS SUPERFICIALES

Ing. Boris Laurend Santos Romero

COMPOSICIÓN, PREPARACIÓN E IMPRESIÓN DE MAPAS

Ing. Samuel Lu León

REVISIÓN

Revisión interna (metodología por pares): Sandra Villacorta Chambi y Shianny Vasquez Cárdeña

Revisión externa: Ing. Pedro Isique Chanamé

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA CUENCA

2.1 SITUACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA CUENCA

La cuenca del río Ocoña se encuentra ubicada entre los departamentos de Arequipa, Ayacucho y Apurímac (figura 2.1). Abarca parte de los distritos de las provincias de Camaná, Condesuyos, La Unión, Parinacochas, Páucar del Sara Sara y Aymaraes, con una extensión aproximada de 15 998 km^2.

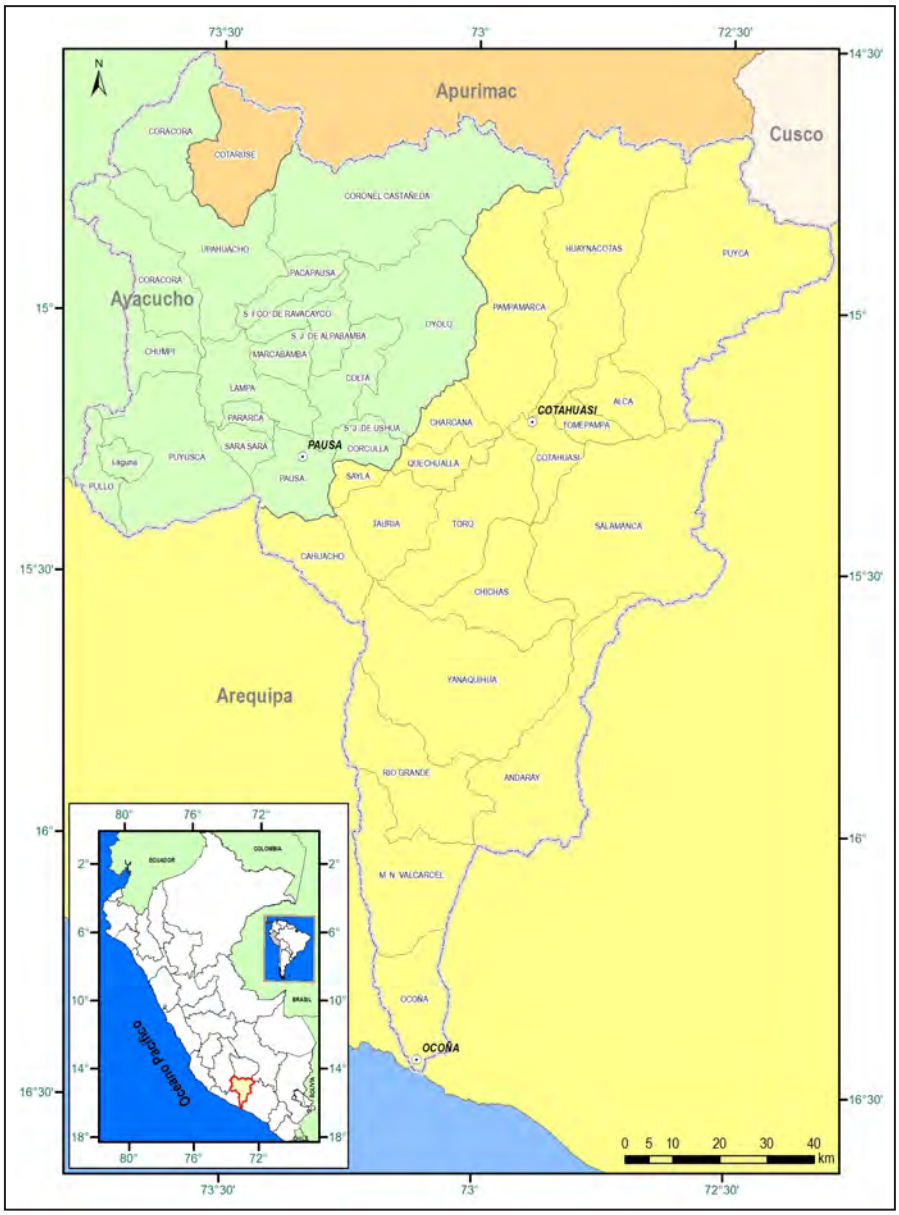


Figura 2.1 Ubicación de la cuenca del río Ocoña.

Además, geográficamente está entre los paralelos norte 16°30' y 14°30'. Limita con la cuenca Pampas e intercuenca Alto Apurímac por el norte, por el sur con el Océano Pacífico, por el este con la cuenca Camaná y por el oeste con las cuencas Yauca, Chaparra y Pescadores, Caravelí.

Dentro de la cuenca del río Ocoña hay 31 capitales distritales pertenecientes a las regiones de Arequipa (provincias de Camaná, Condesuyo y La Unión), Ayacucho (provincias Parinacochas y Páucar del Sara Sara) y Apurímac (Cotaruse) (cuadro 2.1).

Cuadro 2.1

División política de la cuenca del río Ocoña

Región	Provincia	Distritos	Capital de distrito
Arequipa	Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel	Urasqui
		Ocoña	Ocoña
	Condesuyos	Andaray	Andaray
		Chichas	Chichas
		Río grande	Iquipi
		Salamanca	Salamanca
		Yanaquihua	Yanaquihua
	La Unión	Alca	Alca
		Charcana	Charcana
		Huaynacotas	Taurisma
		Pampamarca	Mungui
		Puyca	Puyca
		Quechualla	Velinga
		Sayla	Sayla
		Tauría	Tauría
		Tomepampa	Tomepampa
		Toro	Toro
		Cotahuasi	Cotahuasi
Ayacucho	Parinacochas	Coronel Castañeda	Aniso
		Pacapausa	Pacapausa
		Puyusca	Incuyo
		S. F. de Ravacayco	S. F. de Ravacayco
		Upahuacho	Upahuacho
	Páucar del Sara Sara	Colta	Colta
		Corculla	Corculla
		Lampa	Lampa
		Marcabamba	Marcabamba
		Oyolo	Oyolo
		Pararca	Pararca
		San Javier de Alpabamba	San Javier de Alpabamba
		San José de Ushua	San José de Ushua
		Sara Sara	Quilcata
		Pausa	Pausa
Apurímac	Aymaraes	Cotaruse	Cotaruse

A fin de describir con mayor facilidad los diferentes ámbitos de la cuenca, se consideró la división de subcuencas (mapa 9) propuesta por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) denominadas: Alto Ocoña, Bajo Ocoña, Chichas, Churunga, Cotahuasi, Medio Alto Ocoña, Medio Bajo Ocoña, Medio Ocoña, Mirmaca y Parinacochas.

2.2 VÍAS DE ACCESO

Debido a las características morfológicas que presenta la cuenca del río Ocoña, es dificultoso el acceso por vía terrestre a los diferentes distritos y caseríos; se torna intransitable en periodos de lluvias.

Desde Lima a la cuenca se accede por medio de la carretera Panamericana Sur hasta la localidad de Ocoña. Luego, se recorre por trocha carrozable y carreteras afirmadas pasando por los pueblos de Urasqui, Iquipi, Yanaquihua, Andaray, Chichas, Salamanca, Toro, Velinga, Charcana, Cotahuasi, Mungui, Taurisma, Tomepampa, Alca y la Puyca.

Otra vía de acceso desde Lima es la misma carretera Panamericana Sur hasta la localidad de Atico; se sigue por la vía que pasa por el poblado de Caravelí; luego se continua por carretera afirmada hasta Pausa, desde donde se puede llegar a los pueblos de Quilcata, Pararca, Incuyo, Lampa, Oyolo, San Juan de Ushua, Corculla, Sayla, Tauría, Marcabamba, San Javier de Alpabamba, San Francisco de Ravacayco, Pacapausa, Upahuacho y Aniso.

La ruta más fácil para llegar a la cabecera de cuenca se sigue por la vía Lima – Nazca – Puquio hasta llegar al caserío de Iscahuaca; luego se continúa ruta a Orcopampa.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

El análisis estadístico poblacional se basó en la población censada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2008). Se tomó en cuenta a los distritos que tienen su capital dentro de la cuenca del río Ocoña (cuadros 2.2 y 2.3).

Según el Cuadro 2.3, en la cuenca del río Ocoña la provincia de La Unión concentra la mayor cantidad de población, con 15 662 personas; de los cuales el 54 % corresponde a la zona urbana y el 46 % a la zona rural. El cuadro también resalta que en la provincia Páucar de Sara Sara, el 67 % pertenece a la zona urbana y el 33 % a la zona rural de un total de 11 012 personas.

Cuadro 2.2

Población total, superficie y densidad poblacional, según provincia

Provincia	Distritos	Población total	Densidad poblacional	Area (km^2)
Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel, Ocoña	8 915	0.1	851.183
Condesuyos	Andaray, Chichas, Río Grande, Salamanca, Yanaquihua	10 977	0.35	3 878.581
La Unión	Alca, Charcana, Huaynacotas, Pampamarca, Puyca, Quechualla, Sayla, Tauría, Tomepampa, Toro, Cotahuasi	15 662	0.3	4 765.0324
Parinacochas	Coronel Castañeda, Pacapausa, Puyusca, San Francisco de Ravacayco, Upahuacho	7 812	0.46	3 602.6045
Páucar del Sara Sara	Colta, Corculla, Lampa, Marcabamba, Oyolo, Pararca, San Javier de Alpabamba, San José de Ushua, Sara Sara, Pausa	11 012	0.19	2 081.9328

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008.

Cuadro 2.3

Población según provincias, área y sexo

Provincia	Distritos	Población total	Hombres %	Mujeres %	Urbana %	Rural %
Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel, Ocoña	8 915	60	40	47	53
Condesuyos	Andaray, Chichas, Río Grande, Salamanca, Yanaquihua	10 977	57	43	38	62
La Unión	Alca, Charcana, Huaynacotas, Pampamarca, Puyca, Quechualla, Sayla, Tauría, Tomepampa, Toro, Cotahuasi	15 662	50	50	54	46
Parinacochas	Coronel Castañeda, Pacapausa, Puyusca, San Francisco de Ravacayco, Upahuacho	7 812	52	48	29	71
Páucar del Sara Sara	Colta, Corculla, Lampa, Marcabamba, Oyolo, Pararca, San Javier de Alpabamba, San José de Ushua, Sara Sara, Pausa	11 012	51	49	67	33

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008.

Saneamiento básico

Según el cuadro 2.4, en los distritos de Mariano Nicolás Valcárcel y Ocoña el acceso al agua es mediante camión cisterna; y en los demás distritos el abastecimiento de agua es principalmente por medio de acequias, manantiales, pozos y de la red pública.

La mayoría de las viviendas ubicadas dentro de la cuenca del río Ocoña no cuentan con el sistema de alcantarillado (cuadro 2.5).

Cuadro 2.4

Viviendas con acceso al agua por la red pública

Provincia	Red pública		Pilón uso publico	Camión cisterna	Pozo	Acequia, manantial	Agua del vecino	Otro tipo
	Dentro de la vivienda	Dentro de la edificación						
Mariano Nicolás Valcárcel, Ocoña	752	87	84	1285	111	360	55	23
Andaray, Chichas, Río Grande, Salamanca, Yanaquihua	921	239	262	330	64	1 538	32	8
Alca, Charcana, Huaynacotas, Pampamarca, Puyca, Quechualla, Sayla, Tauría, Tomepampa, Toro, Cotahuasi	1 783	355	133	2	107	2 163	113	15
Coronel Castañeda, Pacapausa, Puyusca, San Francisco de Ravacayco, Upahuacho	810	216	116	0	5	946	136	72
Colta, Corculla, Lampa, Marcabamba, Oyolo, Pararca, San Javier de Alpabamba, San José de Ushua, Sara Sara, Pausa	3 034	46	49	0	19	729	105	69

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008.

Cuadro 2.5

Viviendas con acceso al sistema de alcantarillado por la red pública

Provincia	Desagüe		Pozo séptico	Pozo ciego o letrina	Río, acequia o canal	Sin servicio
	Dentro de la vivienda	Fuera de la vivienda				
Mariano Nicolás Valcárcel, Ocoña	332	21	133	1 047	19	1 205
Andaray, Chichas, Río Grande, Salamanca, Yanaquihua	424	410	63	844	50	1 603
Alca, Charcana, Huaynacotas, Pampamarca, Puyca, Quechualla, Sayla, Tauría, Tomepampa, Toro, Cotahuasi	639	172	62	1 600	31	2 167
Coronel Castañeda, Pacapausa, Puyusca, San Francisco de Ravacayco, Upahuacho	35	6	37	585	13	1 628
Colta, Corculla, Lampa, Marcabamba, Oyolo, Pararca, San Javier de Alpabamba, San José de Ushua, Sara Sara, Pausa	432	92	183	921	7	1 572

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008.

Electrificación

En el cuadro 2.6 se presenta el estado de alumbrado eléctrico de viviendas ubicadas dentro de la cuenca del río Ocoña.

Cuadro 2.6

Alumbrado eléctrico por la red pública

Provincia	Distritos	Alumbrado eléctrico	
		Tienen	No tienen
Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel	258	1 232
	Ocoña	720	547
Condesuyos	Andaray	93	124
	Chichas	4	293
	Río Grande	369	776
	Salamanca	208	139
	Yanaquihua	384	1 004
La Unión	Alca	242	406
	Charcana	9	186
	Huaynacotas	325	370
	Pampamarca	110	334
	Puyca	174	666
	Quechualla	1	103
	Sayla	78	71
	Tauría	41	52
	Tomepampa	157	109
	Toro	137	186
	Cotahuasi	636	278

Salud

En el cuadro 2.7, se ubica a los principales centros de salud en las jurisdicciones de las provincias de Camaná, Condesuyos, La Unión, Parinacochas y Páucar del Sara Sara.

Continuación...

Provincia	Distritos	Alumbrado eléctrico	
		Tienen	No tienen
Parinacochas	Coronel Castañeda	116	181
	Pacapausa	193	227
	Puyusca	545	225
	San Francisco de Ravacayco	105	100
	Upahuacho	217	395
Páucar del Sara Sara	Colta	132	46
	Corculla	107	81
	Lampa	573	98
	Marcabamba	212	37
	Oyolo	110	216
	Pararca	180	12
	San Javier de Alpabamba	105	85
	San José de Ushua	40	17
	Sara sara	201	53
	Pausa	697	205

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008.

Cuadro 2.7

Lista de Establecimientos de salud estratégicos

Provincia	Distritos	Total	Tipo de establecimiento	
			Centros de Salud	Puestos de Salud
Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel, Ocoña	2	1	1
Condesuyos	Andaray, Chichas, Río Grande, Salamanca, Yanaquihua	2	1	1
La Unión	Alca, Charcana, Huaynacotas, Pampamarca, Puyca, Quechualla, Sayla, Tauría, Tomepampa, Toro, Cotahuasi	2	2	
Parinacochas	Coronel Castañeda, Pacapausa, Puyusca, San Francisco de Ravacayco, Upahuacho	2	2	
Páucar del Sara Sara	Colta, Corculla, Lampa, Marcabamba, Oyolo, Pararca, San Javier de Alpabamba, San José de Ushua, Sara Sara, Pausa	3	2	1

Fuente: R.M. N° 632-2012/MINSA

Centros educativos

De acuerdo con la información disponible en la página web del INEI, en el periodo 2013 en la cuenca del río Ocoña hubo aproximadamente 470 centros educativos públicos y privados (inicial, primaria, secundaria, etc.), de los cuales 190 se ubicaban en áreas urbanas y 280 en las zonas rurales (cuadro 2.8).

Cuadro 2.8

Instituciones educativas de los distritos de la jurisdicción de la cuenca del río Ocoña

Provincia	Distritos	Centros educativos		
		Total	Urbana	Rural
Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel, Ocoña	32	19	13
Condesuyos	Andaray, Chichas, Río Grande, Salamanca, Yanaquihua	74	24	50
La Unión	Alca, Charcana, Huaynacotas, Pampamarca, Puyca, Quechualla, Sayla, Tauría, Tomepampa, Toro, Cotahuasi	139	57	82
Parinacochas	Coronel Castañeda, Pacapausa, Puyusca, San Francisco de Ravacayco, Upahuacho	101	24	77
Páucar del Sara Sara	Colta, Corculla, Lampa, Marcabamba, Oyolo, Pararca, San Javier de Alpabamba, San José de Ushua, Sara Sara, Pausa	124	66	58
Total general		470	190	280

Fuente: Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones del INEI.

2.4 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

Agropecuario

Los datos presentados aquí han sido tomados del estudio Evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Ocoña, publicado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007). Este indica que la mayor actividad agrícola en la cuenca ocurre principalmente en el valle de Ocoña, donde los cultivos principales son el arroz, frijol, maíz grano, alfalfa y frutales.

Asimismo, menciona que según el Ministerio de Agricultura, durante diciembre del 2005 la actividad productiva del sector agropecuario fue mayor en 11.6 % con relación al nivel alcanzado en similar mes del 2004. Este resultado se sustenta por el crecimiento del subsector agrícola (5.5 %) y del subsector pecuario (20.5 %).

El comportamiento positivo del subsector agrícola fue determinado por el clima favorable, que influyó en mayores niveles de producción de maíz choclo, ajo, zanahoria, tomate, arveja grano verde y papa. Sin embargo, fue desfavorable la cosecha de maíz amiláceo, zapallo, col, haba grano verde, caña de azúcar, camote y lechuga.

El crecimiento del subsector pecuario fue determinado por la mayor producción de animales en pie: ovino, caprino, ave, porcino y vacuno; mientras que la producción de carne de alpaca y llama bajó. El volumen de leche fresca aumentó en 0.02 % por el mayor aporte de la cuenca lechera de la región. La producción de huevos incrementó debido al mayor número de gallinas ponedoras.

Pesca

Según la información publicada en la página web del Ministerio de la Producción, en la cuenca del río Ocoña existe aproximadamente 11 organizaciones pesqueras artesanales que se dedican principalmente a la captura de camarones.

La actividad pesquera en la cuenca es netamente artesanal. Una de las principales actividades en este sector es la extracción de camarones de río, principalmente durante los meses de marzo a diciembre.

Minería

Depósitos Metálicos

La actividad minera en la cuenca del río Ocoña se remonta a la época de la colonia y actualmente se desarrolla a nivel de mediana, pequeña y artesanal. Los centros mineros se encuentran principalmente en la cuenca media y alta. Según la base de datos del GEOCATMIN, en total existen 60 yacimientos (cuadro 2.9).

Cuadro 2.9

Yacimientos mineros de la cuenca del río Ocoña

Departamento	Tipo de yacimiento	Subtipo yacimiento	Elemento principal	Unidad minera
Arequipa	Mina	Au (Pb-Zn-Cu) relacionados con intrusivos	Ag/Au/Cu	Posco
Arequipa	Mina	Au (Pb-Zn-Cu) relacionados con intrusivos	Au	Ocoña Minas
Arequipa	Mina	Au (Pb-Zn-Cu) relacionados con intrusivos	Au	San Juan De Chorunga
Arequipa	Mina	Au (Pb-Zn-Cu) relacionados con intrusivos	Au	Sunca Nueva
Arequipa	Mina	Au (Pb-Zn-Cu) relacionados con intrusivos	Au/Cu	Cateo Torrepampa
Arequipa	Mina	Au (Pb-Zn-Cu) relacionados con intrusivos	Au/Cu/Mo	Erika
Arequipa	Mina	Epitermales de baja sulfuración	Ag/Au	Arirahua
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Huaca
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Eugenia
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Farallón
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Carpiza - Llallanizo
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Carpiza - Pajonal
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Ceres
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Cerro Rico
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Chorunga
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Alpacay
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Picha
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Sauce - Fortuna
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Tinoray
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Tinoray
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Tinoray - California
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Tinoray - Poderosa
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Tororumi
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Minascucho
Arequipa	Mina	Vetas	Au	Yanaquihua
Arequipa	Mina	Vetas	Au/Cu	Mishky

Continuación...

Departamento	Tipo de yacimiento	Subtipo yacimiento	Elemento principal	Unidad minera
Arequipa	Ocurrencia	Au (Pb-Zn-Cu) relacionados con intrusivos	Au	Cerro Encanto
Arequipa	Ocurrencia	Pórfidos de Cu-Au	Au	Maopampa
Arequipa	Ocurrencia	Stockworks	Au	Pata Capillo
Arequipa	Ocurrencia	Stockworks	Au	Pettsce
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Huantay
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Callipaco
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Cerro Blanco Veta 5-7-8
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Ahuañai
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Pararapa
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Sunca
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Tiquimbra
Arequipa	Ocurrencia	Vetas	Au	Huayllura
Arequipa	Prospecto	Aluviales	Au	Río Ocoña
Arequipa	Prospecto	Diseminados	Au	Pallacochas
Arequipa	Prospecto	Diseminados	Au	Pirca
Arequipa	Prospecto	Epitermales de baja sulfuración	Ag/Au	Coripampa
Arequipa	Prospecto	Stockworks	Au	Clarita
Arequipa	Prospecto	Stockworks	Au	Uchupalla
Arequipa	Prospecto	Vetas	Au	Focomarca
Arequipa	Prospecto	Vetas	Au	Esquillay
Arequipa	Proyecto	Vetas	Au	Chiquibamba
Arequipa	Proyecto	Vetas	Au	Agua Verde
Arequipa	Proyecto	Vetas	Au	San Martín
Arequipa	Proyecto	Vetas	Au	Antapuna
Arequipa	Proyecto	Vetas	Au	Palmaderas
Ayacucho	Mina	Epitermales de alta sulfuración	Ag/Au	Breapampa
Ayacucho	Mina	Epitermales de baja sulfuración	Ag/Au	Pallancata
Ayacucho	Prospecto	Epitermales de baja sulfuración	Ag/Au	Luicho
Ayacucho	Prospecto	Epitermales indiferenciados	Ag/Au	Inmaculada
Ayacucho	Prospecto	Vetas	Au	Yanacocha
Ayacucho	Proyecto	Vetas	Au	Cresta de Gallo
Ayacucho	Proyecto	Vetas	Au	Jello Pata Norte
Ayacucho	Proyecto	Vetas	Au	Jello Pata Sur
Ayacucho	Proyecto	Vetas	Au	Colpar

Fuente: Sistema Geológico Catastral Minero (Geocatmin). Ingemmet.

Depósitos no-metálicos

La actividad que destaca es la Mina de Sal de Huarhua. Tuvo un especial significado en la conformación de los circuitos económicos precolombinos hasta la década de los sesenta del siglo pasado. Ofrece cualidades para dar origen a diversos bionegocios articulados a la conservación que apoye la gestión del Área Natural Protegida. Se ubica a 3 600 m s. n. m., y cerca de la localidad del mismo nombre, distrito de Pampamarca. El acceso se hace por un camino de herradura que parte del puente Cuyao. La explotación se realiza por el sistema de galerías (Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible, 2005).

Turismo

Según los resultados de la Encuesta Nacional de Municipalidades e Infraestructura Socio Económica Distrital (INEI, 1997), en la cuenca del río Ocoña existe un total de 60 zonas arqueológicas, 21 baños termales y 8 zonas turísticas (cuadro 2.10), que constituyen potencial turístico en la cuenca.

Las más conocidas son: el Cañón del río Cotahuasi y la Catarata de Sipia, en la jurisdicción del distrito de Quechualla (fotografía 2.1), y los baños termales de Luicho, ubicados en el distrito de Huaynacotas (fotografía 2.2).

Cuadro 2.10

Recursos naturales y turísticos, por tipo, según provincia y distritos

Provincia	Distritos	Zonas arqueológicas	Zonas turisticas	Baños termales
Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel	1	-	-
	Ocoña	3	-	-
Condesuyos	Andaray	6		1
	Chichas	1	1	1
	Río Grande	3		
	Salamanca	1		1
	Yanaquihua	1		
La Unión	Alca	3		1
	Charcana	3		
	Huaynacotas	2	2	2
	Pampamarca	3	3	1
	Puyca	3	-	3
	Quechualla	4	1	
	Sayla	3		
	Tauría	1		
	Tomepampa	-	-	-
	Toro	-	-	-
	Cotahuasi	2	1	
Parinacochas	Coronel Castañeda			2
	Pacapausa	1		2
	Puyusca			
	S. F. de Ravacayco	2		
	Upahuacho	2		1

Continuación...

Provincia	Distritos	Zonas arqueológicas	Zonas turisticas	Baños termales
Páucar del Sara Sara	Colta			
	Corculla			
	Lampa	3		2
	Marcabamba			
	Oyolo	3		
	Pararca			1
	S. J. de Alpabamba	3		
	San José de Ushua			
	Sara sara	3		1
	Pausa	3		2
Total		60	8	21

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008.

Fotografía 2.1 Se observa el Cañón y la Catarata de Sipia, ubicados en el río Cotahuasi, distrito de Quechualla.

Fotografía 2.2 Fuente de aguas termales de Luicho, ubicada en la margen derecha del río Huarcaya, distrito de Huaynacotas.

Fuente: Gualberto Valderrama, Google Earth Pro.

2.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CUENCA

Estaciones climáticas

Las estaciones climatológicas están distribuidas regularmente en la cuenca, especialmente a lo largo del valle del río Ocoña y de las subcuencas de Cotahuasi, Chichas, Churunga, Parinacochas, Mirmaca y Colcamayo.

En total existen 20 estaciones meteorológicas, de las cuales 12 se encuentran funcionando y 8 no funcionan; además, 15 son estaciones convencionales meteorológicas, 3 son estaciones convencionales hidrológicas, 1 estación hidrológica automática y 1 estación meteorológica automática. Sus características y ubicación son presentadas en el cuadro 2.11.

Cuadro 2.11

Estaciones meteorológicas

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m s. n. m.)	Provincia	Distrito	Tipo	Estado
Ocoña	16 25’ 18”	73 6’ 55”	23	Camaná	Ocoña	CH	Funcionando
Ocoña	16 26’ 1”	73 6’ 1”	270	Camaná	Ocoña	ASH	Funcionando
Pampa Grande*	16 11’ 1”	73 3’ 1”	1806	Camaná	Ocoña	CM	No funcionando
Urasqui	16 2’ 1”	73 10’ 1”	330	Camaná	Mariano Nicolás Valcárcel	CM	No funcionando
Yanaquihua	15 46’ 35.79”	72 52’ 33.39”	3007	Condesuyos	Yanaquihua	CM	Funcionando
Chichas	15 32’ 41”	72 54’ 59.7”	2120	Condesuyos	Chichas	CM	Funcionando
Salamanca	15 30’ 33”	72 50’ 32”	3153	Condesuyos	Salamanca	CH	Funcionando
Salamanca	15 30’ 1”	72 50’ 1”	3303	Condesuyos	Salamanca	CM	Funcionando
Arma	15 24’ 1”	72 46’ 1”	4336	Condesuyos	Salamanca	CM	No funcionando
Cotahuasi	15 12’ 40”	72 53’ 38”	2675	La Unión	Toro	ASM	Funcionando
Cuyau	15 12’ 1”	72 55’ 1”	2410	La Unión	Cotahuasi	CH	Funcionando

Continuación...

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m s. n. m.)	Provincia	Distrito	Tipo	Estado
Pullhuay (Ayahuasi)	15 9' 1"	72 46' 1"	3113	La Unión	Alca	CM	Funcionando
Puica	15 4' 1"	72 40' 1"	3536	La Unión	Puyca	CM	Funcionando
Sairosa	14 55' 1"	72 40' 1"	4743	La Unión	Puyca	CM	No funcionando
Chinchayllapa	14 55' 1"	72 44' 1"	4497	La Unión	Huaynacotas	CM	No funcionando
Pauza	15 17' 17"	73 21' 21"	2652	Páucar del Sara sara	Pausa	CM	Funcionando
Lampa	15 11' 11"	73 21' 21"	3192	Páucar del Sara sara	Lampa	CM	Funcionando
Incuyo	15 15' 1"	73 34' 1"	3296	Parinacochas	Puyusca	CM	No funcionando
Tarco	15 18' 1"	73 45' 1"	3300	Parinacochas	Pullo	CM	No funcionando
Urayhuma	14 36' 1"	73 34' 1"	4267	Parinacochas	Coracora	CM	No funcionando

Fuente: SENAMHI. CM: Convencional-Meteorológica; CH: Convencional-Hidrológica; P: Pluviométrica; ASH: Automática - Sutron, Hidrológica; ASM: Automática - Sutron, Meteorológica. (*) Ubicada fuera de la cuenca.

Parámetros climáticos

Precipitación:

De acuerdo con la información recopilada, la variación de la precipitación media acumulada anual varía desde 0.6 hasta los 696.5 mm (cuadro 2.12 y figura 2.2).

Según el Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007), para el análisis pluviométrico se consideró las estaciones de Yanaquihua, Tomepampa, Salamanca, Chincayllapa, Puyca, Orcopampa, Cotahuasi, Lucanas, Carhuanillas, Lampa, Pausa, Chaviña, Incuyo, Ocoña y Urasqui en orden creciente a su ubicación altitudinal. También se consideró las estaciones de Carhuanillas, Chaviña, Lucanas y Orcopampa, ubicadas en las cuencas vecinas de Acarí, Yauca y Camaná. En el cuadro 2.12 se muestra las estaciones antes señaladas con sus respectivos valores medios anuales en el periodo de 1965 a 2005.

Cuadro 2.12

Precipitación total mensual (mm) en la cuenca del río Ocoña. Año promedio histórico 1995 – 2005

Estaciones	Altitud (m s. n. m.)	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Precipitación Total Anual (mm)
Ocoña	58	0,7	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0,3	0,8	2,1
Urasqui	330	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0	0,1	0	0	0	0,6
Pausa	2530	2,1	3	2,2	17,2	61,8	63,4	50,4	7,5	1,7	0,6	1,2	2,3	213,4
Tomepampa	2650	2,6	6,2	10,4	28,6	59,3	78,8	72,9	10,8	1,9	0,5	1,1	3	276,1
Lampa	2715	5,6	3,8	3,2	16,6	60	63,1	61,9	13,2	1,9	0,5	2,1	1,4	233,2
Cotahuasi	2883	3,9	5,1	7	27,3	82,4	99,3	74,1	12,4	2,1	0,8	1,3	2,9	318,5
Carhuanillas	3000	3,7	9,7	12,9	27,6	114,1	154,2	146,1	34,6	0,9	0	0,7	2,2	506,8
Yanaquihua	3130	0,8	1,4	2,9	10,1	39,3	57,4	35,2	1,8	0,5	0,4	0,3	1,6	151,7
Salamanca	3203	4,2	6,3	7,6	25,4	75,9	90,5	72,8	12,4	1,3	1,3	2,4	4,7	304,9
Incuyo	3298	3,9	10,4	5,1	31,1	76,3	106,6	92,7	26,6	0,9	0,1	0,9	0,5	355,1
Chaviña	3310	11,8	13,4	12	51,8	128,5	155,7	171,4	35,9	5,7	0,9	1	4,2	592,4
Puyca	3362	13,1	20,2	19,9	62,3	116,5	148,4	155,5	31,5	7,1	5,3	5,5	7,7	593,1
Lucanas	3400	7,9	13,7	13,4	34	106,7	117,5	145,5	40,6	5,1	1,8	2,3	5,5	493,9
Orcopampa	3779	8,9	12,5	23,1	53,4	98,4	100,3	84,5	30,1	4	1,5	3,3	5,4	425,5
Chinchayllapa	4100	18,6	26,9	24,4	72,4	161,6	153,5	149,8	52	9,2	5,4	6,3	16,3	696,5

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

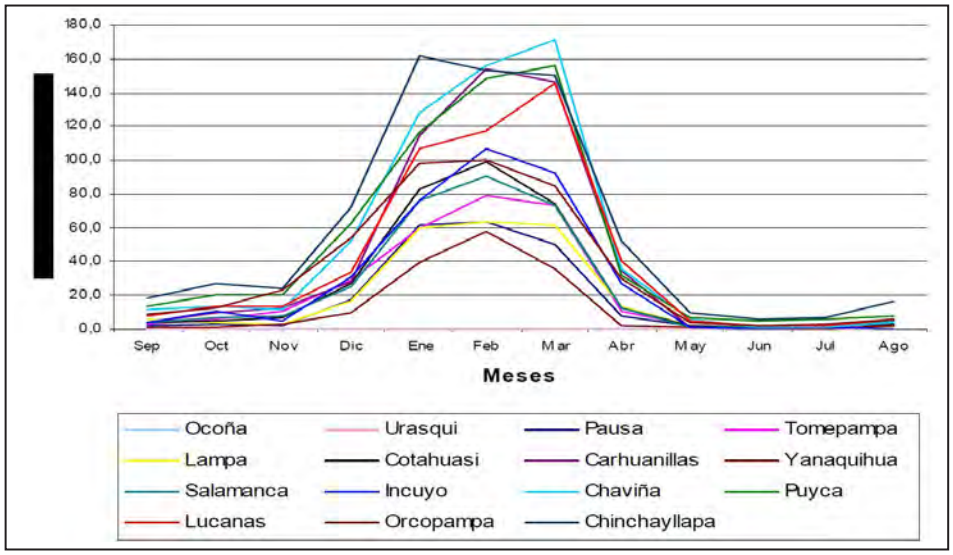


Figura 2.2 Distribución de la precipitación total mensual (mm). Año promedio histórico 1965 – 2005.

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

Temperatura:

La temperatura del aire y sus variaciones diurnas y estacionales son muy importantes para el desarrollo de las plantas. Constituye uno de los factores primordiales que influyen directamente en la velocidad del crecimiento, en la longitud del ciclo vegetativo y en la etapa de desarrollo de las plantas de período vegetativo anual (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007).

Para el análisis de la temperatura, Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007) usó información de las siguientes redes de estaciones de temperatura: Ocoña, Pausa, Cotahuasi, Salamanca y Yanaquihua.

En el cuadro 2.13, se presenta los valores de temperatura media mensual y anual de las estaciones antes mencionadas.

En la figura 2.3, podemos observar el comportamiento estacional de la temperatura. Así, tenemos que las estaciones registran sus valores máximos de temperatura entre los meses de diciembre a abril, que coincide con la época de estiaje (periodo seco), y sus valores mínimos entre los meses de mayo a noviembre, durante la época de avenidas (periodo lluvioso).

Cuadro 2.13

Temperatura media mensual por estaciones en la cuenca Ocoña

Estaciones	Altitud (m s. n. m.)	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Temperatura Promedio Anual (°C)
Ocoña	58	16,8	18,1	19,8	21,3	22,4	22,8	22	20,9	18,7	17,4	16,4	16,4	19,4
Pausa	2530	15,7	16,4	16,8	16,8	16,6	16,4	16,3	16,2	15,4	14,7	14,7	15,1	15,9
Cotahuasi	2883	15,8	16,6	16,7	16,5	15,6	15,5	15,3	15,6	15,4	14,9	14,7	15,4	15,7
Salamanca	3203	12,1	13	13,4	13,1	12,8	12,7	12,4	13	12,5	11,7	11,2	12	12,5
Yanaquinua	3130	13,8	14,6	14,3	14,2	13,3	12,8	13,1	13,9	13,7	13,2	12,7	13,6	13,6

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

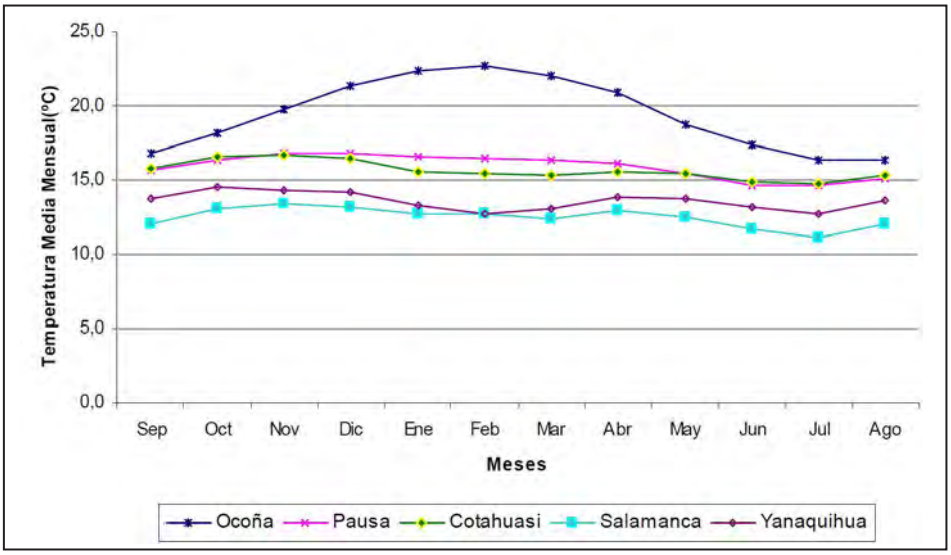


Figura 2.3 Temperatura media mensual por estaciones.

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

Evaporación:

Se observa que la intensidad de evaporación varía en sentido inverso al incremento de las temperaturas. Es decir, es menor en los meses de verano. No obstante presenta las temperaturas más altas y las lluvias más abundantes, que durante el invierno, que es más frío y seco.

Se asume así también que la intensidad de la evaporación varía en sentido inverso al incremento de la altitud; la evaporación presenta una mayor variabilidad en los niveles costeros respecto a la puna.

En el cuadro 2.14 y la figura 2.4, se observa la distribución total mensual de la evaporación en la cuenca del río Ocoña.

Cuadro 2.14

Distribución de la evaporación total mensual (mm)

Estaciones	Altitud	Evapotranspiración/Mensual												Total Anual
	(m s. n. m.)	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	(mm/año)
Ocoña	58	92,2	112,3	131,6	148,5	155,0	138,6	134,8	104,6	80,3	63,0	65,0	78,6	1304,5
Pausa	2530	108,1	126,5	132,1	139,6	132,8	118,1	120,9	100,1	86,2	72,0	77,8	89,8	1304,0
Cotahuasi	2883	101,3	122,2	125,3	129,6	125,3	111,5	114,5	95,1	82,5	69,9	75,8	87,8	1240,7
Yanaquihua	3130	91,5	109,9	109,9	116,3	112,2	95,8	102,8	86,8	76,5	63,1	66,3	81,2	1112,3
Salamanca	3203	85,8	98,4	103,0	105,1	100,9	88,8	96,5	78,8	66,4	57,3	59,3	70,4	1010,8

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

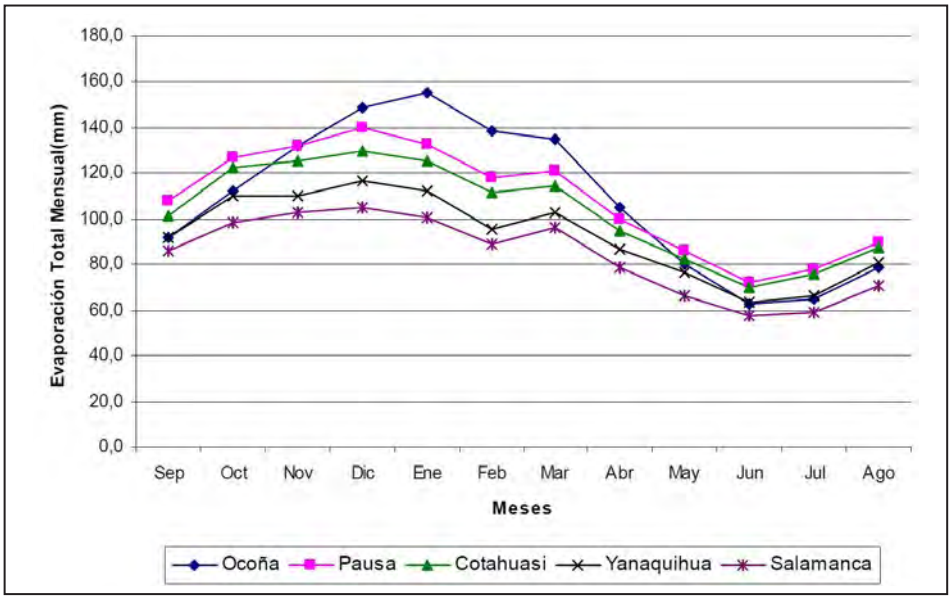


Figura 2.4 Distribución total media mensual de la evaporación.

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

Comportamiento del caudal del río Ocoña:

En la cuenca del río Ocoña, solo existe una estación hidrométrica denominada Puente Ocoña, que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se encuentra ubicada dentro del distrito de Ocoña a una altitud de 23 m s. n. m.

Según el Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007), la estación Puente Ocoña cuenta con un correntómetro para medir caudales, un limnígrafo convencional que registra los niveles instantáneos en una banda de papel graduado. Adicionalmente, desde el año 2000 cuenta con un limnímetro automático, instalado con fines de pronóstico y prevención, que transmite vía satélite los niveles horarios del río Ocoña a la central de SENAMHI.

Según el cuadro 2.15 y la figura 2.5 correspondientes al período 1998-2005, se ha podido diferenciar tres etapas dentro del ciclo anual: avenidas, estiaje y transición entre avenidas y estiaje; identificadas entre los meses de enero a mayo, junio a octubre y octubre a enero, respectivamente.

Cuadro 2.15

Caudales medios mensuales en m³/s corregidos de la estación Puente Ocoña

Q m³/s	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1998	46.7	45.9	46.4	92.6	293.2	440.2	192.7	119.1	63	64.4	59.3	51
1999	49.9	55	43.3	54.6	97.3	683	641.7	98.1	72.2	66.9	55.5	54
2000	58.9	70.5	54.1	77.2	284.7	473.1	389.3	217.4	151.8	90	73.4	69
2001	66.5	63.5	60.4	58.9	276.7	599.8	425.9	214.6	155.5	124.6	79.5	74
2002	57	60.6	59.5	64.6	65.5	358.1	366.4	213.9	100.3	64.1	75.8	58.3
2003	58.4	48.5	44.8	60.2	130.1	234.5	253.5	202.6	102.5	73.5	72.9	66.9
2004	65.1	56.5	51.2	67.6	144.5	289.8	154.5	133.5	74.6	62.4	64.8	66.6
2005	68.8	61.1	60	102.2	118.2	144.9	167.4	152.8	74.6	78.7	78	69.5
μ	55	53.5	51.7	59.1	173.5	302.5	286.7	160.7	88.6	71.5	63.2	58.2
max	68.8	70.5	60.4	102.2	378.1	710.5	647.4	233.8	155.5	124.6	79.5	74
min	46.7	45.9	43.3	49.5	65.5	93.9	93.9	90.7	52.8	51.5	50.7	50.2
δ	4.1	4.1	3.1	10.6	65.7	147.3	127.9	36.4	20.7	11.6	6.3	5

* μ= media; δ= desviación estándar

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

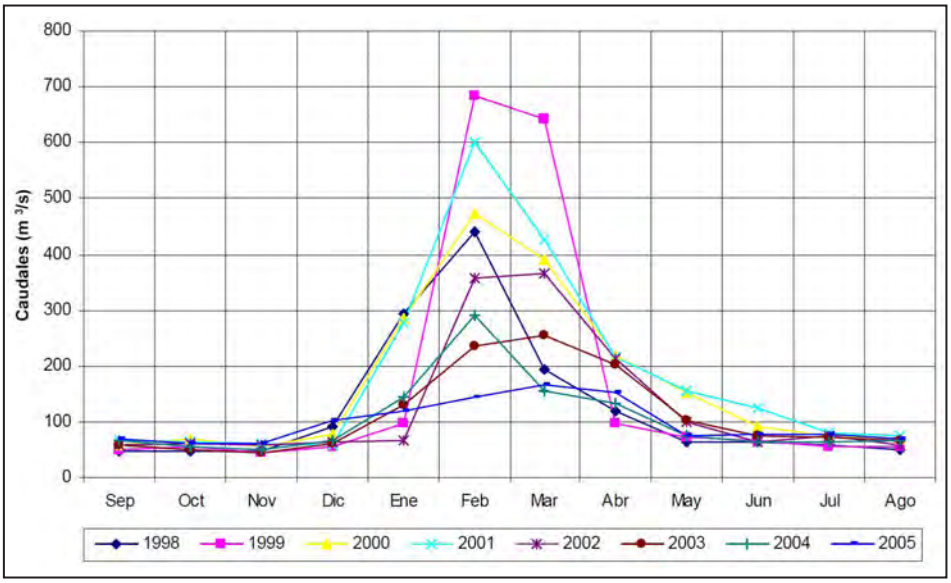


Figura 2.5 Caudales medios mensuales corregidos de la estación Puente Ocoña.

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.

2.6 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

El presente ítem se desarrolló principalmente con información publicada por la Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible (2005).

Áreas Naturales Protegidas

Son los espacios continentales y/o marinos del territorio nacional, expresamente reconocidos y declarados como tales, incluyendo sus categorías y zonificaciones, para conservar la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país.

Las Áreas Naturales Protegidas, con sus diferentes categorías, están normadas en la actualidad por la Ley N°26834 (1997) *Ley de Áreas Naturales Protegidas*, y el Decreto Supremo N°010-90-AG (1990) P*lan Director del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sinanpe).*

En el ámbito de la cuenca del río Ocoña, se ha identificado áreas naturales protegidas bajo las siguientes categorías (cuadro 2.16 y figura 2.6):

Cuadro 2.16

Categorías y áreas naturales protegidas en la cuenca del río Ocoña

Categorías	Base legal	Ubicación política
Reservas Paisajísticas		
Subcuenca del Cotahuasi	D.S. Nº 027-2005-AG	Arequipa
Áreas de Conservación Privada		
Huamanmarca - Ochuro – Tumpullo	R.M. Nº 0501-2008-AG	Arequipa
Uchumiri	R.M. Nº 007-2009-MINAM	Arequipa

Fuente: Minag-Inrena-Sinanpe, 2007.

Reserva Paisajística Subcuenca del Cotahuasi

La Subcuenca del Cotahuasi coincide espacialmente con la provincia de La Unión, en la región Arequipa; es uno de los afluentes del río Ocoña y forma parte de la vertiente del Océano Pacífico.

La Subcuenca del Cotahuasi tiene una superficie de 490 550 ha, con altitudes que oscilan entre los 900 m, en un lugar próximo a la localidad de Chaucalla, y 6 093 m en una de las cimas del Nevado Solimana. La longitud de la subcuenca es de 122.26 km y 80.61 km de ancho (Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible, 2005).

Posee uno de los cañones más profundos y hermosos del planeta, el cual se extiende desde las faldas del nevado Solimana hasta la confluencia con el río Ocoña. En el sector de Ninacocha, el cañón supera los 3 500 m s. n. m.

En los alrededores del cañón, se ha identificado templos y zonas arqueológicas con extensos y antiguos andenes que reflejan el ingenio de los pueblos nativos en adaptarse a su entorno conservando el ecosistema de manera armónica. Otro valor importante de la RPSCC es que esta alberga una gran diversidad cultural.

Área de Conservación Privada Huamanmarca-Ochuro-Tumpullo

Se encuentra sobre los terrenos de la comunidad campesina de Huamanmarca-Ochuro-Tumpullo, perteneciente al distrito de Andaray, provincia de Condesuyos, región Arequipa, ubicada muy cerca del nevado Coropuna y en la cabecera de la subcuenca Arma.

Abarca una superficie de 15 669 ha y comprende el área ubicada desde el límite inferior de los bosques de Polylepis hasta la laguna Pallarcocha, incluyendo los bofedales Agua Blanca, Pariaviri, Tacupacha, Ñahuincha y Huacoto, además de los tolares, roquedales, yaretales, matorrales, pajonales que los circundan y la Laguna Pallarcocha.

Históricamente esta área fue ocupada por pastores andinos que con el tiempo generaron la cultura "Aruni", quienes dejaron una tradición hasta ahora caracterizada en la población local. Este grupo humano está constituido por una población de pastores de puna, que por la especie predominante domesticada se les denomina "llameros", como un subgrupo cultural andino especializado. Los restos arqueológicos de Tumpullo y Huamanmarca constituyen una muestra de sus logros culturales, prehispánicos. En la actualidad los comuneros practican la arriería, actividad que originalmente abarcaba espacios de Arequipa, Ayacucho, Apurímac y Cusco, y movilizaba un importante flujo de bienes y servicios. Así, daba vida a circuitos económicos que enlazaban espacios de las zonas altas y valles interandinos del sur del Perú y que operaban articulados a la mina de sal de Huarhua (La Unión, Arequipa).

La comunidad campesina proponente logró su reconocimiento oficial en el año 1986. Luego de este hecho, uno de sus deseos primordiales se concentró en la conservación de los recursos naturales, principalmente los bosques de Polylepis. Estos bosques son destruidos generalmente por factores antrópicos, originados por actores externos y, a veces, por los comuneros. Los efectos negativos son crecientes.

Los terrenos de la comunidad campesina Huamanmarca-Ochuro-Tumpullo, donde opera el Área de Conservación Privada, están ocupados por bosques de Polylepis, cuyo manejo a través del tiempo incluye pastoreo de camélidos andinos, especialmente llamas y, últimamente, de cabras. Las tierras, pastos y demás recursos son usados comunitariamente en cada una de las parcelas.

Área de Conservación Privada Uchumiri

Se encuentra ubicada en los territorios de la comunidad campesina de Uchumiri, al sur oeste del nevado Coropuna, en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, región Arequipa, en las coordenadas 730497 longitud oeste y 8265007 latitud norte.

La comunidad campesina de Uchumiri realizó los trámites necesarios para el reconocimiento de su Área de Conservación Privada ante la Intendencia de Áreas Naturales Protegidas.

La comunidad campesina proponente logró su reconocimiento oficial el año 1986. Desde ese instante, una de sus preocupaciones fundamentales se centró en la conservación de los recursos naturales, principalmente los bosques de Polylepis. Estos bosques son destruidos por factores antrópicos, originados por actores externos y, marginalmente por los comuneros, aunque con efectos negativos crecientes.

Los terrenos de la comunidad campesina de Uchumiri, donde opera el Área de Conservación Privada, están ocupados por bosques de Polylepis cuyo manejo, históricamente, incluye el pastoreo de camélidos andinos, especialmente llamas y, últimamente, de cabras. Las tierras, pastos y demás recursos son usados comunitariamente, en cada una de las parcelas.

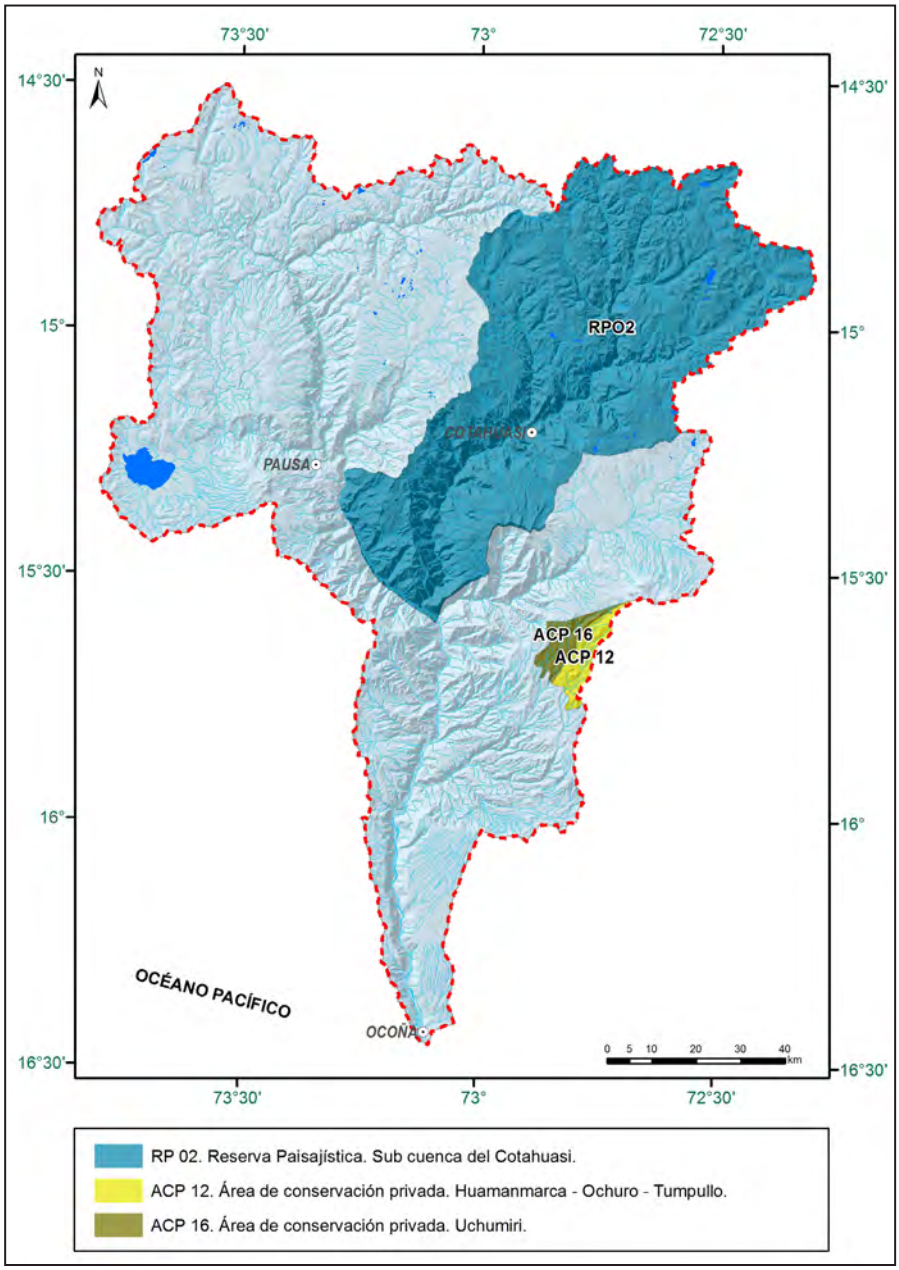


Figura 2.6 Áreas naturales protegida de la cuenca del río Cotahuasi.
Fuente: SERNANP

2.7 UNIDADES ECOLÓGICAS

Las unidades ecológicas (figura 2.7) de la cuenca del río Ocoña se describen en base a los estudios realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (1995).

Desierto desecado. Se ubica en el litoral de la costa, sobre una extensión superficial de 1 567.27 km^2, equivalente al 9.80 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal es nula o muy escasa, predomina el paisaje de planicie cubierto por mantos de arena y algunos afloramientos de colinas y lomadas con afloramientos líticos. La actividad agrícola en la zona solo es posible donde existe agua para regadío.

Desierto superárido. Abarca una extensión de 341.84 km^2, equivalente al 2.14 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal es bien dispersa y del tipo arbustivo xerofítico y hierbas estacionales que emergen en invierno con la humedad de las neblinas. La actividad agrícola se lleva a cabo solo en los valles de los ríos que atraviesan esta zona de vida.

Desierto perárido. Se sitúa entre los 300 y 650 m s. n. m., en las laderas de la cordillera occidental de la costa cercanas al litoral; también entre los 2 000 y 2 500 m s. n. m., en las laderas de las estribaciones de la cordillera de los andes cercanas al litoral, sobre una extensión superficial de 688.53 km^2, equivalente al 4.30 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal es escasa, pero durante la época de lluvias veraniegas emergen hierbas efímeras que se asocian con la vegetación arbustiva y algunas cactáceas que sí existen permanentemente. En las tierras de esta zona de vida, se desarrolla una agricultura sobre la base de cultivos propios de costa.

Desierto árido. Está entre los 3 000 y 3 500 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 249.10 km^2, equivalente al 1.54 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal está constituida predominantemente por cactáceas y muy escasa vegetación herbácea y arbustiva. Las tierras de esta zona son utilizadas para el pastoreo estacional o temporal trashumante.

Matorral desértico. Forma parte de los valles intermontañosos de la faja costera media de la región Arequipa que penetra al flanco occidental de la Cordillera de los Andes. También se distribuye en la región de la costa cerca al litoral, sobre una extensión superficial de 2 374.13 km^2, equivalente al 14.84 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal está conformada por gramíneas estacionales, arbustos y cactáceas gigantes del género Neoraimondia, que sirven de indicadores. En las pequeñas áreas agrícolas se cultivan frutales como duraznos, manzanas, tunas. Básicamente constituyen tierras de protección.

Estepa espinosa. Se ubica en los valles interandinos y laderas de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, entre los 2 000 y 3 000 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 425.76 km^2, equivalente al 2.66 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal es abundante, conformada por una vegetación herbácea, asociada con arbustos como la "chamana" dodonea viscosa y árboles como el "molle", Schinus molle y cactáceas. Mayormente la agricultura en esta zona de vida es practicada en los lugares donde hay disponibilidad de agua para regar, cultivándose productos de pan llevar y frutales como manzanos y duraznos. También se asientan poblados.

Estepa. Está entre los 3 000 y 4 000 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 2 229.61 km^2, equivalente al 13.94 % del área de la cuenca. Conforma la cubierta vegetal una vegetación graminal de pradera altoandina algo dispersa asociada con cactáceas del género Opuntia. En las tierras de esta zona de vida, se cultiva principalmente la cebada, que inclusive sirve para reconocer esta zona.

Páramo húmedo. Se ubica entre los 3 900 y 4 200 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 4 878.70 km^2, equivalente al 30.50 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal está conformada por una vegetación típica de pradera altoandina constituida por pastos naturales más o menos densos, principalmente de la familia Gramíneas, con presencia de algunas cactáceas postradas del género Opuntia, así como de arbustos y especies arbóreas del género Polylepis, comúnmente llamado "quinual". Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de ganado lanar y vacuno.

Páramo muy húmedo. Se sitúa entre los 4 200 y 4 500 m s. n. m., sobre una extensión de 1 019.07 km^2, equivalente al 6.37 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal está constituida por una vegetación de pradera altoandina constituida por pastos naturales provenientes de diversas familias, pero principalmente de la familia Gramíneas. En general, esta zona tiene una composición florística compleja y es más densamente poblada. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de ganado lanar y vacuno, y en menor proporción para pastoreo de camélidos sudamericanos.

Páramo pluvial. Se distribuye entre los 4 500 y 5 000 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 49.79 km^2, equivalente al 0.31 % del área de la cuenca. La cobertura vegetal está constituida por una vegetación adaptativa en respuesta a los muchos factores limitantes del ambiente físico. Las plantas son de poca altura, ejes cortos, hojas pequeñas y coriáceas, raíces muy desarrolladas.

Tundra húmeda. Altitudinalmente, se encuentra entre los 4 500 y 5 000 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 28.61 km^2, equivalente al 0.18 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal es escasa, destacando las especies de los géneros Stipa, Calamagrostis, Festuca, etc., así como plantas arrosetadas, que constituyen comunidades muy abiertas y dispersas, dejando el suelo casi desnudo. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional.

Tundra muy húmeda. Se distribuye entre los 4 500 y 5 000 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 506 km^2, equivalente al 3.16 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal está conformada por matas de pastos naturales altoandinos muy dispersos. Asimismo, existen especies arrosetadas y almohadilladas muy distanciadas. La composición florística y la abundancia son algo mayor que en la tundra húmeda. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional.

Tundra pluvial. Se distribuye entre los 4 500 y 5 000 m s. n. m., sobre una extensión superficial de 733.87 km^2, equivalente al 4.59 % del área de la cuenca. La cubierta vegetal es más abundante y florísticamente diversificada con relación a las otras tundras como la tundra húmeda y la tundra muy húmeda. Además de las matas gramíneas, existen plantas arrosetadas y de porte

almohadillados. Se observa la presencia de Distichia muscoides de forma almohadillada convexa cuyas partes superiores crecen continuamente mientras que sus partes inferiores y las raíces más profundas se van convirtiendo en lo que comúnmente se denomina turba. También es posible observar la existencia de líquenes y musgos en altitudes superiores hasta sobrepasar los 5 000 m s. n. m. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo temporal.

Nival. Se ubica en las partes más altas de la Cordillera Occidental de los Andes sobre los 5 000 m s. n. m. Comprende una extensión superficial de 822.96 km^2, equivalente al 5.14 % del área de la cuenca. En los niveles bajos de esta zona de vida, inmediatamente a continuación de la tundra, entre los 5 000 y 5 500 m s. n. m., puede observarse algunas formas vegetales criofílicas, en los “oasis de calor” constituidos por rocas y pedregales que se calientan con el sol durante el día y van desprendiendo calor durante la noche favoreciendo la vida vegetal, no solo en forma directa, sino también indirecta porque derrite la nieve cercana mucho más rápido. Las tierras de esta zona de vida son improductivas porque no pueden ser utilizadas siguiendo los métodos corrientes o naturales del uso de la tierra.

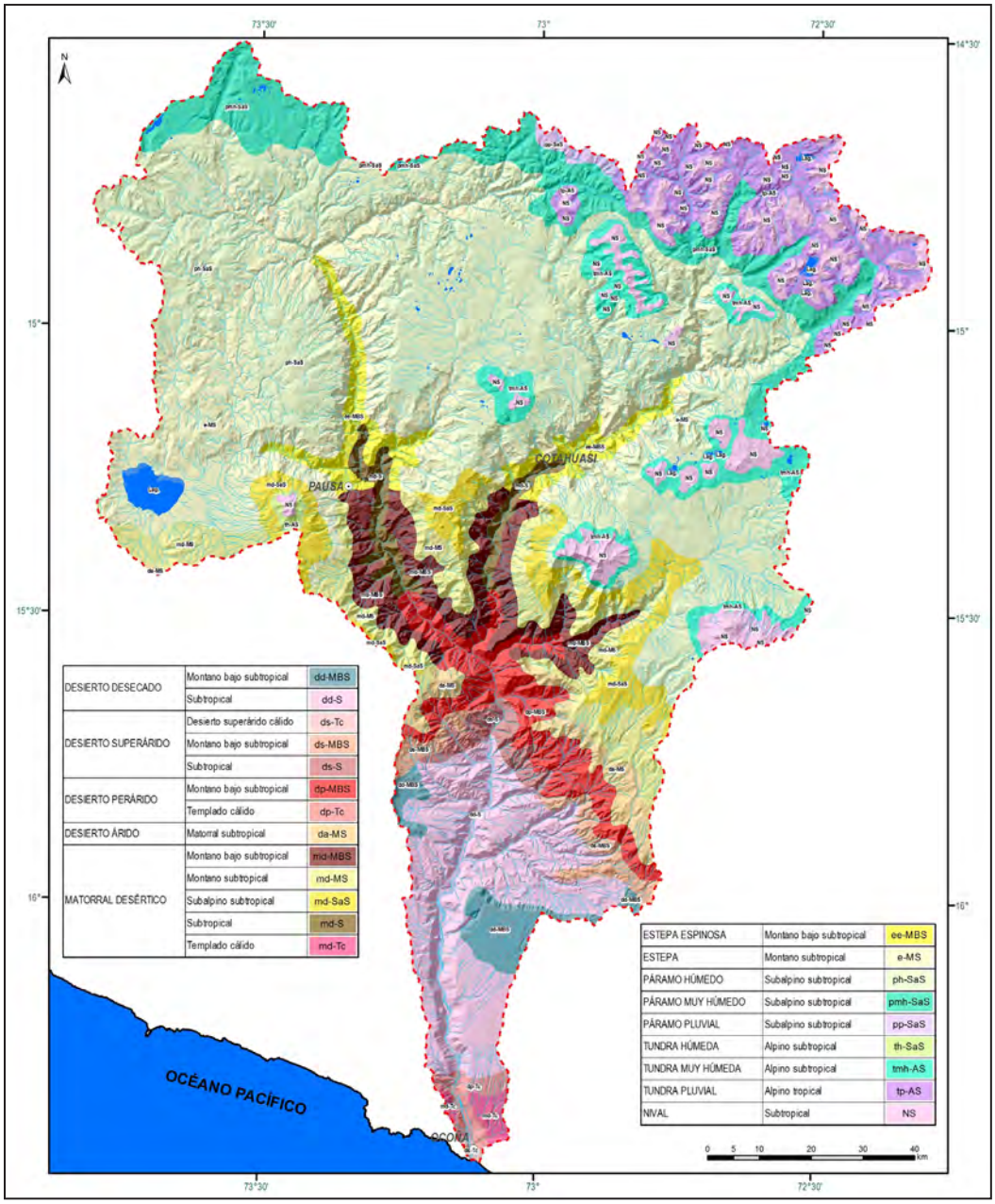


Figura 2.7 Unidades ecológicas de la cuenca del río Ocoña.

2.8 UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL

Las unidades de cobertura vegetal (figura 2.8) se describen en base a la memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del Perú elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente (2012).

Bosque Relicto Altoandino (Bral)

Se encuentra distribuido de manera fraccionada en algunas zonas puntuales de las microcuencas de Parinacochas, Mirmaca y Churunga, sobre piedemonte, laderas empinadas y cimas montañosas, aproximadamente entre 3 400 y 4 100 m s. n. m. Ocupa una superficie aproximada de 4 787.5 ha que representa el 0.30 % del total de la cuenca.

Es considerado como "relicto" debido a su reducida superficie, distribución fraccionada y ubicación poco accesible. Está representado por el género *Polylepis*, conocido localmente como "queñoal", "quinual" o "quenual", que está conformado por más de 10 especies.

Alcanza alturas máximas de hasta 10 m en sitios con humedad permanente mientras que, en sitios con largos periodos secos, los bosques son de porte casi arbustivo (3 m).

Es aprovechado por la población rural, principalmente como leña, carbón, cercos y también en trabajos de artesanía. Debido a su reducida superficie, a su ubicación en sitios con fuerte pendiente, suelos superficiales y rocosos, se recomienda que sean conservados y protegidos.

Matorral Arbustivo (Ma)

Se encuentra distribuido ampliamente en la cuenca media, desde aproximadamente 1 200 m s. n. m., hasta 4 150 m s. n. m. Ocupa una superficie de 379 269.5 ha, que representa el 23.71 % del total de la cuenca.

Está conformada por comunidades de especies arbustivas. Se distinguen fisonómica y florísticamente al pasar de un nivel altitudinal a otro, tal como se describe a continuación:

En el nivel altitudinal inferior, aproximadamente por debajo de los 2 500 m s. n. m., las condiciones áridas y semiáridas propician el desarrollo de asociaciones arbustivas que pierden totalmente su follaje durante el período seco del año, mezcladas con suculentas y herbáceas de vida efímera. Las especies arbustivas más comunes son: *Jatropha sp*. "huanarpo", *Cnidoscolus sp., Ortopterigium huasango* "huancoy", *Carica candicans* "mito", *Heliotropium arborescens, Mutisia sp, Tecoma arequipensis, Fourcroya andina* "maguey", *Grindelia sp.*, etc. Entre las cactáceas figuran las siguientes: *Browningia candelaris* "candelabro", *Neoraimondia arequipensis* "gigantón ", *Haageocereus sp., Spostoa sp*., etc.

En el nivel medio, comprendido en los rangos altitudinales de 3 000 a 3 800 m s. n. m., las condiciones subhúmedas permiten el desarrollo de asociaciones arbustivas tanto de carácter caducifolio como de carácter perennifolio, mostrando una mayor diversidad florística que en el piso inferior. Entre las especies más frecuentes se mencionan a las siguientes: *Dodonea viscosa* "chamana", *Kageneckia lenceolata* "lloque", *Mutisia acuminata* "chinchilcuma", *Barnadesia dombeyana* "yauli", *Agave americana* "maguey azul", *Tecoma sambucifolia* "huaranhuay", *Ophryosporus peruvianus, Ambrosia arborescens* "marco", *Ambrosia artemisioides, Grindelia sp., Heliotropium sp., Ophryosporus sp., Spartium junceum* "retama", *Senecio sp., Bidens sp., Aristeguietia sp.*, etc. Entre las cactáceas más frecuentes se encuentra *Opuntia subulata "anjokishka", Echinopsis pachanoi* "San Pedro", *Armatocereus sp.*, etc. Se incluyen en este piso algunas especies arbóreas de porte bajo y de manera dispersa, tales como: *Acacia macracantha* "faique", *Schinus molle* "molle" y *Caesalpinea spinosa* "tara".

En el nivel superior, de 3 600 a 3 800 m s. n. m., existen mejores condiciones de humedad y menores valores de temperatura, lo que propicia el desarrollo de una mayor diversidad de especies arbustivas. Entre ellas se mencionan a las siguientes: *Lupinus balianus* "chocho", *Baccharis tricuneata* "tayanco", *Parastrephya lepidopylla* "tola", *Diplostephyum sp., Dunalia espinosa, Hesperomeles sp.* "manzanita", *Brachiotun sp, Tibouchina sp, Aristeguietia sp., Senna biflora* "mutuy", *Bereberis lutea, Monnina sp, Solanun sp,* etc. Se incluyen arbolillos de *Oreopanax sp., Duranta sp., Escallonia sp., Myrcianthes sp., Gynoxis sp., Miconia sp., Ribes sp., Vallea stipularis*, etc.

Este tipo de cobertura constituye un recurso importante para la población rural, para provisión tanto de leña como de plantas medicinales. Asimismo, se ubica en tierras con aptitud forestal y en tierras de protección, las primeras con un buen potencial para el desarrollo de proyectos de reforestación con fines comerciales y de conservación y protección de cuencas.

Pajonal Altoandino (Pj)

Este tipo de cobertura está formado por herbazales y se ubica en la porción superior de la cuenca o cuenca alta, aproximadamente entre 3 700 y 4 800 m s. n. m. Se desarrolla sobre terrenos que van desde casi planos a ondulados en las altiplanicies, en las depresiones y en el fondo de valles glaciares, hasta empinados o escarpados en las laderas montañosas y cumbres altoandinas. Ocupa una superficie de 675 675.6 ha, que representa el 42.23 % del total de la cuenca.

Está conformado por asociaciones de hierbas con dos estratos bien definidos en su perfil vertical, el dominante y el inferior. El estrato dominante está constituido por matas de gramíneas de hasta 1 m de alto, cuyas hojas son de consistencia rígida, enrolladas y punzantes "tipo paja", que toman el nombre colectivo de "ichu", y se encuentran distribuidas bajo un patrón regular de distribución espacial, con grados de cobertura que varían de 30 % a 70%. El estrato inferior, conocido como "vegetación de piso", está conformado por hierbas que crecen pegadas al suelo, con alturas hasta de 10 cm de altura y que constituye la verdadera fuente forrajera.

Los géneros más abundantes del estrato dominante son las poáceas: *Festuca, Stipa y Calamagrostis*. En el estrato inferior, los más comunes son: *Calamagrostis, Aciachne, Carex, Scirpus, Geranium, Agrostis, Muhlembergia, Eleocharis, Hypochaeris, Dissanthelium, Luzula, Oxalis, Poa, Astragalus, Bromus, Trifolium, Werneria, Agrostis, Trisetum, Hordeum, Taraxacum, Alternaria, Pycnophyllum,* etc.

En algunas zonas se presenta como una mixtura de hierbas y arbustos de follaje siempre verde, tales como: *Baccharis, Senecio, Chuquiraga, Parastrephya, Diplostefium, Lupinus, Azorella, Margyricarpus*, *Adesmia, Chersodoma, Fabiana, Chersodoma, Efedra,* etc.

Constituye una fuente de forraje importante para la actividad ganadera, principalmente a base de camélidos sudamericanos y ganado ovino. Sin embargo, muchas áreas se encuentran en proceso de degradación debido al sobrepastoreo.

Bofedal (Bo)

Llamado también "oconal" o "turbera", constituye un ecosistema hidromórfico distribuido a manera de "parches" en la extensa región altoandina, es decir, arriba de los 3 200 m s. n. m. Ocupa una superficie de 18 520 ha, que representa el 1.16 % del total de la cuenca.

Se encuentra ubicado en los fondos del valle fluvioglacial, los conos volcánicos, las planicies lacustres, el piedemonte y las terrazas fluviales. Se alimenta del agua proveniente del deshielo de los glaciares, del afloramiento de agua subterránea (puquial) y de la precipitación pluvial.

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

La vegetación es densa y compacta, siempre verde, de porte almohadillado o en cojín. Las especies más frecuentes son: *Distichia muscoides* "champa" (Juncaceae), *Plantago rigida* "champa estrella" (Plantaginaceae), *Alchemilla pinnata* (Rosaceae), *Werneria caespitosa* (Asteraceae), *Hypochoeris sp.* (Asteraceae), *Hypochaeris sp.* (Asteraceae), *Eleocharis sp.* (Cyperaceae), *Poa ovatum* (Poaceae), *Rorippa nasturtium* (Cruciferae), *Luzula peruviana* (Juncaceae), *Gentiana sedifolia* (Gentianaceae), *Calamagrostis rigescens* (Poaceae), *Calamagrostis jamesoni* (Poaceae), *Scirpus rigidus* (Cyperaceae), *Agrostis sp.* (Poaceae), etc.

El bofedal funciona como eficiente almacén natural de agua. El agua de escorrentía superficial ingresa lentamente y se almacena en el sustrato orgánico para luego escurrir lentamente hacia las porciones inferiores del terreno. Constituye un verdadero filtro natural que mejora la calidad del agua y una importante fuente de forraje permanente para la actividad pecuaria altoandina basada principalmente en camélidos sudamericanos y ovinos.

Loma (Lo)

Este tipo de cobertura se localiza en las estribaciones andinas cercanas al mar, en el desierto costero. Se extiende sobre una superficie de 476.4 ha y representa el 0.03 % del total de la cuenca.

Constituye un ecosistema originado por la baja temperatura de las aguas marinas continentales (corriente peruana de Humboldt), que recorre paralelamente a la costa, produciendo capas densas de neblina durante el invierno austral (junio-setiembre), que al ponerse en contacto con los primeros contrafuertes andinos genera un tipo especial de vegetación que puede empezar casi a la orilla del mar hasta aproximadamente los 1 000 m de altitud. Dentro de la cuenca, destacan las Lomas de Ocoña, ubicadas al noreste del poblado del mismo nombre.

Se caracteriza por su gran riqueza de especies y de endemismo, así como por la predominancia de herbáceas estacionales o de vida efímera que tapizan totalmente la superficie del suelo durante el periodo de nieblas invernales, seguido de un estrato arbustivo, en algunos casos en forma dispersa y en otros relativamente concentrados, de carácter temporal y perenne. Solo en los sectores donde existe mayor captación de humedad crecen algunas especies arbóreas.

Las lomas resultan ser ecosistemas frágiles debido a su aislamiento o ubicación geográfica restringida, a su carácter temporal y a ser muy sensible a los años secos.

Agricultura Costera y Andina (Agri)

Esta cobertura corresponde a todas las áreas donde se realiza actividad agropecuaria, actualmente activa y en descanso,

ubicada en todo el valle que atraviesa el extenso desierto costero y los valles que ascienden a la vertiente occidental andina hasta el límite con el pajonal altoandino. Ocupa una superficie de 52 506.9 ha, que representa el 3.28 % del área total de la cuenca del río Ocoña.

Comprende los cultivos bajo riego y en secano, tanto anuales como permanentes. Se incluye en esta cobertura la vegetación natural ribereña, que se extiende como franjas angostas e interrumpidas a lo largo de los cauces de los ríos y quebradas, donde son frecuentes las especies *Salix humboldtiana* "sauce", *Acacia macracantha* "huarango" y *Shinus molle* "molle".

Otras áreas

Comprende aquellas áreas sin cobertura vegetal como son los glaciares (Gl), los periglaciares (Ap), cuerpos de agua y el desierto costero (D). En esta última cobertura existe vegetación de manera esporádica, cuya baja densidad no permite su delimitación cartográfica.

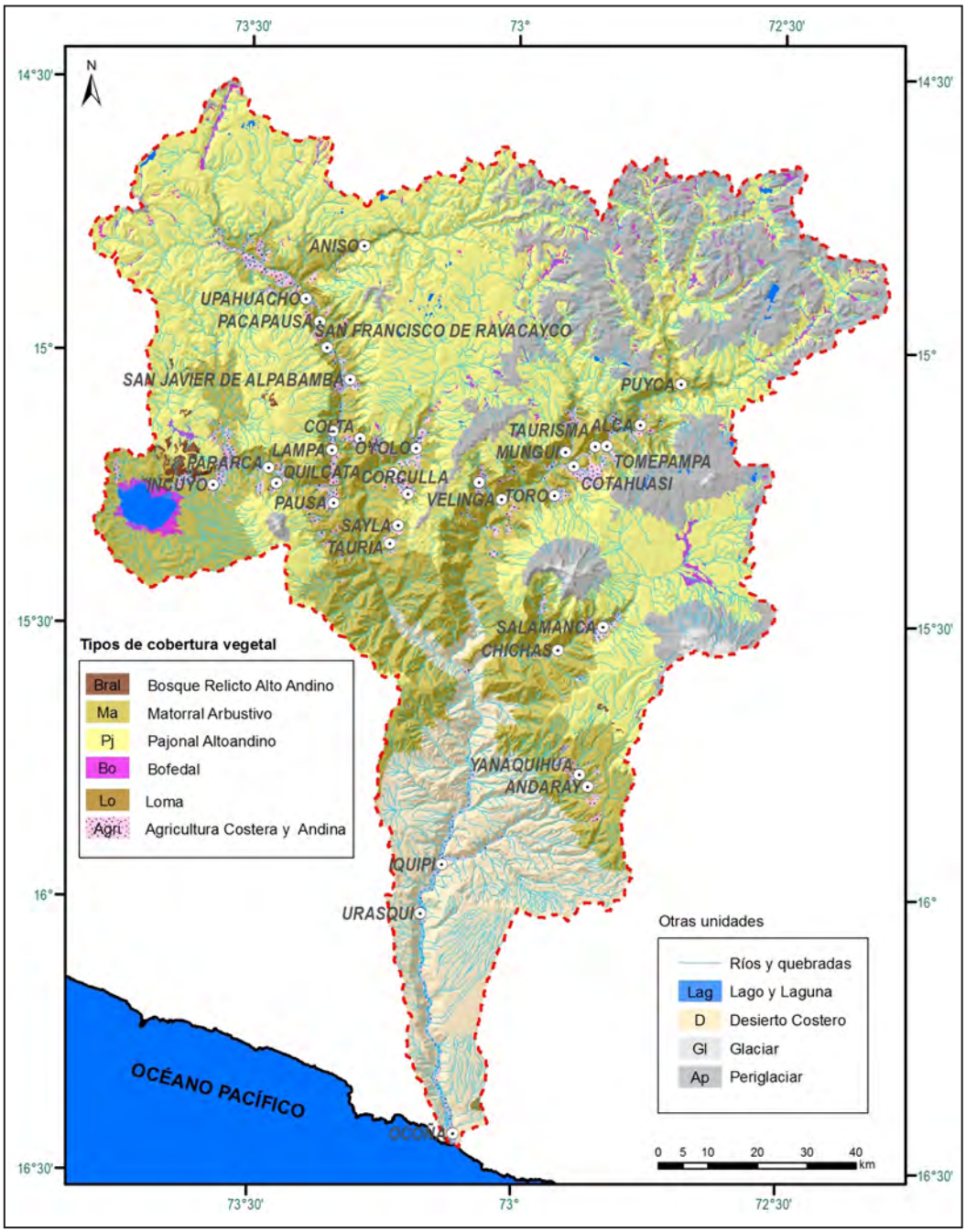


Figura 2.8 Unidades de cobertura vegetal.

CAPÍTULO III
CONTEXTO LITOLÓGICO-ESTRUCTURAL

Los mapas litológicos expresan la distribución de rocas en cualquier territorio e indican la clase a la que pertenecen dentro de una clasificación petrológica (Zavala *et al*., 2014).

Su utilidad se pone de manifiesto a través del concepto de recurso natural, como constituyente primario que interviene en el desarrollo de obras y actividades humanas; como soporte de estas o como materia prima. Por otro lado, su investigación y conocimiento son necesarios para cualquier estudio que aborde problemas medio ambientales y de ordenación del territorio. Esto se debe a la estrecha relación que existe entre distintos aspectos de la geología, tales como geomorfología, hidrología, edafología y riesgos geodinámicos (deslizamientos, erosión e inundaciones), entre otros (Zavala *et al*., 2014).

3.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

El mapa litológico-estructural (mapa 1) se elaboró en base a los mapas geológicos (cuadrángulos Chaviña, Pacapausa, Chulca, Cayarani, Coracora, Cotahuasi, Chaparra, Chuquibamba, Ocoña y La Yesera y Pausa) publicados por el Ingemmet. Para la validación se usó imágenes satelitales y fotos aéreas, además de realizarse trabajos de campo.

La agrupación de unidades litológicas se basó en el predominio de la litología dominante de las formaciones geológicas existentes sin considerar su edad. Se dio énfasis en las características geotécnicas como intensidad de fracturamiento, grado de meteorización, resistencia a la erosión y, en general, características de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa[1].

Las principales unidades litológicas han sido clasificadas en dos grandes unidades:

- Depósitos inconsolidados
- Unidades del substrato rocoso

La descripción y categorización de las unidades litológicas se realizó en base a la información de los boletines del Ingemmet publicados por Mendívil & Castillo (1960), Olchauski (1980), Pecho (1983), Olchauski & Dávila (1994), Dávila (1991) y la Asociación LAGESA - CFGS (1996). Además, se consideró las memorias descriptivas de Quispesivana & Navarro (2003), León *et al*., (2000), Martínez & Cervantes (2003), Díaz & Milla (2003), Salas *et al*., (2003) y Sánchez *et al*., (2003).

3.1.1 Depósitos Inconsolidados

Esta unidad agrupa a los depósitos o materiales poco o nada coherentes, de extensión y grosor variable, de naturaleza litológica heterogénea y heterométrica, depositados en el Pleistoceno y Cuaternario Reciente, agrupados en función de su origen. Esta unidad ocupa aproximadamente el 21 % del área total de la cuenca.

En la cuenca del río Ocoña, se ha diferenciado ocho tipos de materiales no consolidados, que son productos de la meteorización, erosión y posterior acumulación. Presentan diferentes morfologías que van desde planas a plano-onduladas, terrazas, acumulaciones de piedemonte con cierta pendiente.

Depósito fluvial (I-2)

Corresponde a los depósitos formados por las corrientes de los ríos actuales (fotografía 3.1). Se ubica a lo largo del fondo del valle de los ríos Ocoña, Arma, Cotahuasi, Ocoruro y Huanca Huanca. Está compuesto por depósitos heterométricos y heterogéneos. Litológicamente corresponde a bolos, cantos y gravas redondeadas, soportados en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y areno-limosos. Además, son depósitos inconsolidados poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles y su permeabilidad es alta.

[1] Los métodos cartográficos de unidades geotécnicas publicadas por la IAEG (1981a) y UNESCO-IAEG proponen en la clasificación de unidades de rocas y suelos (basados en la litología y origen de los materiales), aplicables según la escala del mapa y ordenados de mayor a menor grado de homogeneidad litológica y física lo siguiente: 1) Tipo geotécnico, 2) Tipo litológico, 3) Complejo Litológico y 4) Conjunto Litológico. Para nuestro caso, se toma conjuntos litológicos que tratan de complejos litológicos desarrollados bajo iguales condiciones genéticas (paleogeográficas) y tectónicas; presentan ciertas características litológicas comunes que los diferencia de otras unidades o conjuntos litológicos. En este caso, se aporta propiedades geotécnicas muy generales y se trabaja en mapas a pequeña escala.

Depósito aluvial (I-3)

Conforma llanuras aluviales antiguas, niveles de terrazas y conos recientes adyacentes al valle principal del río Ocoña y sus tributarios mayores (fotografía 3.1 y 3.2). Depósito poco consolidado, erosionado por la corriente actual. Está compuesto por una mezcla heterogénea de bolones, gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, limos y arcillas. Tiene regular a buena selección y presenta estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial.

Presenta susceptibilidad muy baja por la ocurrencia de movimientos en masa. Sin embargo, podría ser afectado por la erosión fluvial e inundaciones, principamente las áreas adyacentes al curso principal de los ríos Ocoña, Cotahuasi y sus afluentes.

Fotografía 3.1 Se observa los depositos fluviales, aluviales y eólicos en la zona del poblado de Ocoña.

Fotografía 3.2 Depósitos aluviales (Q-al) ocupados por tierras de cultivos y viviendas de la localidad de Tomepampa (río Huarcaya).

Depósito proluvial (I-4)

Forma abanicos y conos de diferentes dimensiones en función de su dinámica y capacidad de transporte de ríos o quebradas. Se confunde con las terrazas aluviales o se interdigita. A diferencia de los aluviales, los depósitos son mal clasificados; presentan clastos de rocas subangulosos a subredondeados en una matriz fina. Se deposita principalmente en las desembocaduras de los ríos y quebradas, por ejemplo, podemos citar a los que se observan en las quebradas Chaquiloma, Laigua, San Cristóbal y en el poblado de Cotahuasi.

Depósito deluvial (I-5)

Son acumulaciones de depósitos de vertiente con taludes suaves a moderados. Su origen está asociado a flujos no canalizados. Estos depósitos han sido removidos por la escorrentía formada por precipitaciones pluviales, la cual no se encuentra encauzada o ha sido transportada por torrentes de corto recorrido. Además, se les encuentra como capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños y redondeados, y es de alta susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos en masa de tipo deslizamientos, reptaciones y por la erosión en cárcava.

En muchos casos, los depósitos deluviales cubren a depósitos coluviales y se ubican dispersos principalmente en las laderas de las montañas de las subcuencas Bajo Ocoña, Alto Ocoña y Cotahuasi.

Depósito coluvial (I-6)

Se le reconoce por su geometría. Debe su origen principalmente a los procesos de movimientos en masa como deslizamientos (fotografía 3.3), derrumbes, caída de rocas, y otros, con fuente de origen cercana. Está formado por material grueso de naturaleza homogénea, heterométrico, mezclado con materiales finos como arena, limo y arcilla en menor proporción. Su distribución generalmente es caótica y constituyen taludes de escombros, detritos de ladera y piedemonte.

Es de susceptibilidad muy alta por la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (chorreras y huaicos), o reactivaciones cuando se altera la estabilidad de sus taludes naturales. Se ubica principalmente en las laderas de las montañas de las subcuencas, Medio Alto Ocoña, Alto Ocoña y Cotahuasi.

Fotografía 3.3 Se observa depósito coluvial (I-6) ubicado en flanco suroeste del cerro Huañahuy-Mayca, margen izquierda del río Huarcaya, norte del poblado Alca.

Depósito lacustrino/bofedal (l-7)

Corresponde a sedimentos finos, con predominio de limos, arenas y arcillas altamente saturadas de agua; en algunos casos puede tener alto contenido de materia orgánica. Generalmente, se encuentra en el contorno de las lagunas como en el caso de la laguna Parinacochas.

Depósito glaciar/fluvioglaciar (l-8)

El depósito glaciar está constituido por materiales resultantes de la destrucción mecánica de las rocas (fotografía 3.4) por el glaciar en movimiento y por materiales sueltos provenientes de las laderas montañosas. De acuerdo con la posición, es posible observar morrenas laterales, terminales y basales. Las morrenas laterales son las de mayor predominio, su desarrollo es más expresivo en valles que se extienden por tramos cortos. La difusión de las morrenas terminales y basales es menos significativa. Estas se presentan mayormente en las partes bajas como fiel testimonio de un retiro glaciar y con morfologías no muy bien definidas, principalmente por efectos de erosión.

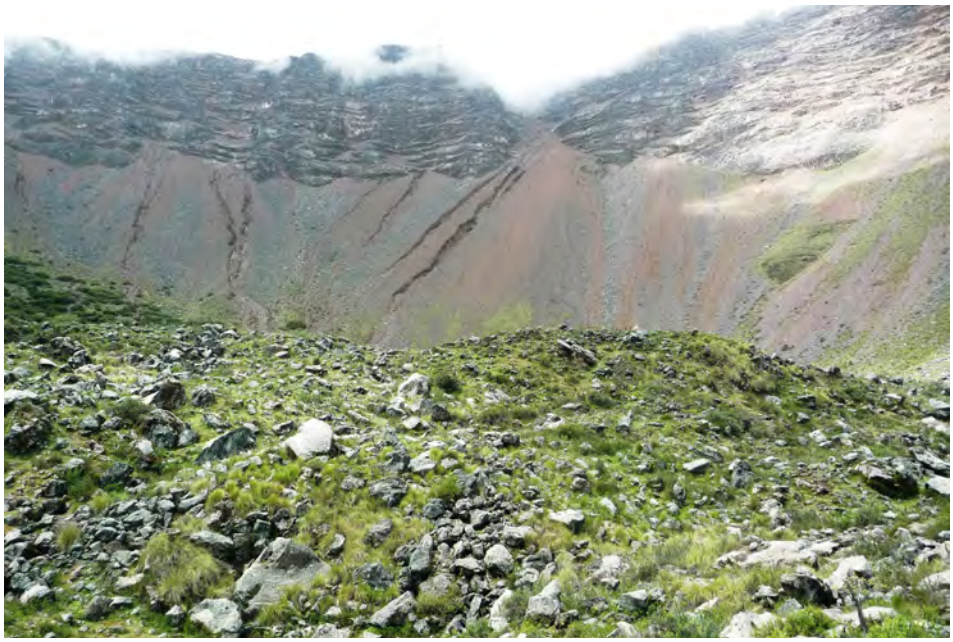
Está formado por una mezcla heterogénea de clastos angulosos y subangulosos polimícticos de naturaleza principalmente volcánica, soportados en una matriz arenoarcillosa, mal clasificados. Lo encontramos en las laderas de los nevados Solimana y Coropuna. También en el sector noreste del cuadrángulo de Pausa, en las laderas de los cerros Huanipaco, Huancacoya, Anturi y la zona de Huacracca.

Los depósitos fluvioglaciares se distribuyen en la cuenca alta como pequeñas cubiertas y abanicos de aluvión fluvioglaciar resultante del acarreo y acción acumulativa que ha ejercido la fuerte energía cinética de las aguas de fusión glaciar sobre las morrenas. Están compuestos por bloques polimícticos (volcánicos) angulosos y subangulosos, mal clasificados, englobados en una matriz de grava, arenas y arcillas.

Además, son depósitos que han ido formado planicies suavemente onduladas como en los alrededores de los cerros Huanipaco, Chapipampa, Loma Pampa Blanca. En el cuadrángulo de Chulca los depósitos más importantes se encuentran en una depresión entre las lagunas de Huacullo y Huanzo, quebradas Uquitacra, Ayaquilla y Chinchahuayjo. Los depósitos fluvioglaciares, en el cuadrángulo de Chaviña, se presentan al noreste de las lagunas Parccoccocha, Anchacata, cerros Atojhuachama, Accoccasa, ríos Pampamarca y Urayhuma. Dentro del cuadrángulo de Pacapausa, se ubican entre las quebradas Ichumarca y Piruro, pampa Pampacairapallga y en el río Puico. En general, se ubican en cotas por encima de los 4 000 m s. n. m.

Depósitos eólicos (l-12)

Son acumulaciones de arena depositados por el viento en forma de mantos de unos pocos metros de espesor o como cordón de dunas; sobrepuestas o alineadas, en constante migración, describiendo ondulaciones locales. Son arenas bien seleccionadas de granos medio a grueso, de color gris oscuro por su contenido de minerales ferromagnesianos; arenas finas cuarzosas de color más claro y de mayor movilidad. Se ubican al noreste del poblado de Ocoña y entre los cerros Pumacoto y Azul. Por su ubicación, son de alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa y procesos eólicos (fotografía 3.5).



Fotografía 3.4 Depósito glaciar (l-8) ubicado en el sector Huambo, distrito de Cotahuasi.

Fotografía 3.5 Depósito eólico ubicado en la margen izquierda del río Ocoña, al este del sector Surita, distrito Mariano Nicolás Valcárcel.

3.1.2 Unidades del Sustrato

Estas unidades han sido divididas de tal forma que agrupan a las diferentes litologías según su composición principal. En la cuenca se observa cinco grandes grupos:

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

Cada unidad se ha subdividido en varias litologías particulares que se describen a continuación:

A) Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas ocupan en conjunto el 10 % del área de la cuenca. Afloran principalmente como *stocks* y cuerpos subvolcánicos dispersos entre los cuadrángulos de Chuquibamba y parte de Pausa.

Las rocas intrusivas que afloran en la cuenca del río Ocoña han sido divididas en cinco subunidades:

Monzonita (II-1)

Subunidad litológica compuesta por monzonitas de la Superunidad Linga. Las rocas presentan tonos de color gris claras, de grano medio a grueso, con abundantes concentraciones de elementos ferromagnesianos, donde destaca la biotita y hornblenda (Pecho, 1983). Los afloramientos se encuentran fracturados y poco meteorizados. Son de susceptibilidad media por la ocurrencia de movimientos en masa como caídas de roca si se modifica su talud. Se observa al noreste del poblado de Iquipe en la margen izquierda de la quebrada Chorunga (límite oeste del cuadrángulo de Caravelí); también, en ambas márgenes de la quebrada Challhuane y en los cerros Jallaniyoc y Soledad, dentro del cuadrángulo de Chuquibamba.

Granodiorita (II-2)

Roca de naturaleza granodiorítica de la Superunidad Tiabaya, caracterizada por sus cristales bien formados de ferromagnesianos, que le da tonalidades más oscuras (Pecho, 1983).

Aflora en ambas márgenes de los valles Ocoña, Chichas y Marán. También se ubica en forma dispersa en la cabecera de la microcuenca del río Pallancata.

Se le encuentra muy erosionada, dando una morfología disectada y meteorizada, con suelos arenosos de grano grueso a medio, fracturados. Además, es de susceptibilidad alta a la ocurrencia de movimientos en masa.

Dioritas, tonalitas y gabros (II-3)

Subunidad litológica susceptible por caídas de rocas y flujos de detritos. Está conformada por dioritas y gabros. Son afloramientos dispersos principalmente en las subcuencas Churunga, Medio Bajo Ocoña y Cotahuasi, principalmente, en los cuadrángulos Ocoña (fotografía 3.6), Coracora, Pausa y Cotahuasi. En los cuadrángulos de Ocoña, Cotahuasi y Pausa, los afloramientos intrusivos corresponden a dioritas de color oscuro de grano medio y de aspecto bandeado; contienen principalmente minerales de plagioclasa, cuarzo, ortoclasa con accesorios de biotita y muscovita. Sin embargo, en el cuadrángulo de Cotahuasi, además de dioritas, se encuentra afloramientos de composición cuarzo latita, y en el cuadrángulo de Coracora, los macizos corresponden a gabros y dioritas.

Además, la conforman las tonalitas, afloramiento perteneciente a la Superunidad Incahuasi, ubicado entre los cerros Teneray, Tinatay, Collanga, La Yesera, Tantarpata, Tiquimbro, Porvenir, Purimarca y Chiuca (cuadrángulos Chuquibamba y Caravelí). Son de composición potásica gradando a granodiorita, cuyo origen podría deberse a la cristalización fraccionada o a la migración de iones de potasio. Entre los minerales principales están plagioclasa, ortosa y cuarzo. Entre los accesorios se tiene biotita. Los secundarios están conformados por calcita y sericita. La tonalita en superficie es de color gris rojizo. En muchos lugares, por meteorización, se disgrega fácilmente (fotografía 3.7).

B) Rocas Volcánicas

Esta unidad ocupa la mayor parte del área de la cuenca del río Ocoña con 53 %. De acuerdo con sus características litológicas principales, se ha dividido en cuatro grupos principales:

Tobas e ignimbritas (III-1)

Subunidad conformada por afloramientos masivos y de susceptibilidad baja por la ocurrencia de movimientos en masa. Está conformada por: a) tobas de caída, bien estratificadas, subhorizontales, pertenecientes al Volcánico Sara Sara (bajo esta denominación agrupa a los productos volcánicos emitidos por los últimos períodos de erupción de los volcanes Sara Sara, Solimana y otras manifestaciones volcánicas menores como el Uchao, Auquihuato, Apiñuño, Saina y los Volcánicos de Huancarama y Huanipaco); b) ignimbritas interestratificadas con tobas cineríticas a dacíticas de la Formación Barroso 1; c) toba de lapilli de naturaleza vítrea y cristalina con líticos de biotita, vidrio, feldespato potásico y accesorios de pómez, escoria y lavas, pertenecientes a la secuencia Toba Cuno Cuno; d) tobas friables con líticos y biotitas, bien estratificados, subhorizontales de la Formación Sencca; e) tobas dacíticas a riodacíticas pertenecientes al Estrato Volcán Coropuna; f) tobas de tonalidades blanquesinas de la Formación Andamarca; g) ignimbritas riolíticas de la Formación Huylillas; h) tobas soldadas riodaciticas del complejo volcánico Saycata; e, i) secuencias de tobas e ignimbritas de la Formación Alpabamba (fotografías 3.8 y 3.9).

Fotografía 3.6 Afloramiento rocoso intrusivo compuesto principalmente por diorita, ubicado en el flanco este del cerro Mal Paso (margen derecha del río Ocoña).

Fotografía 3.7 Afloramiento rocoso intrusivo compuesto por tonalitas, ubicado en el flanco este del cerro Teneray (margen derecha del río Ocoña).

Fotografía 3.8 Afloramientos rocosos volcánicos de las formaciones Tacaza y Alpabamba ubicados en cerro Tarhuara (margen derecha del río Huarcaya).

Fotografía 3.9 Tobas de la Formación Alpabamba ubicadas en el cerro Allahuay (sur del caserío Cachana).

Lavas, piroclásticos y brechas (III-2)

Esta subunidad consiste en afloramientos de macizo fracturado en bloques y de susceptibilidad baja por la ocurrencia de movimientos en masa. Está conformada por flujos piroclásticos de lapilli y cinerita perteneciente al estrato volcán Sara Sara. También se considera dentro de esta subunidad a las secuencias de brechas piroclásticas del Grupo Barroso; secuencia de aglomerados volcánicos andesíticos del Grupo Sillapaca, y a la secuencia constituida por brechas de flujo intercaladas con lavas andesíticas pertenecientes al miembro Santa Rosa de la Formación Tacaza.

Lavas andesíticas, dacíticas, traquiandesíticas y riolíticas (III-3)

Los afloramientos que pertenecen a está subunidad son de susceptibilidad muy baja por la ocurrencia de movimientos en masa y se encuentran levemente fracturados. Corresponden a rocas volcánicas del Cretáceo Superior y Pleistoceno. Conforman las rocas del Centro Eruptivo Chibemi, Volcánico Chacona, Complejo Volcánico Saypta, Complejo Volcánico Huarancante, Centro Volcánico Sillajasa, Estrato Volcán Coropuna, Estrato Volcán Solimana, Estrato Volcán Firura, Estrato Volcán Jatun Huychahui, Estrato Volcán Achatahua, Estrato Volcán Peste, Estrato Volcán Yancore; formaciones Ichocollo, Arma, Senca, Lampa; y Grupos Tacaza y Barroso.

Dentro de esta unidad, también se incluye a los domos de lava del Grupo Barroso, y domos de lavas traquiandesíticas del Sistema Domo Sara Sara, entre otros.

Sus afloramientos principales se encuentran en los cerros Ccano, Huanaccamarca, Anchacalla, Ccamatehuañuscca, Huachcca, Lucmani, nevado Chulluni, Huanipaco, Huancarama, Chacahuaya, Huamanalca, Pucuñuma, Ajosunto, Chocco, Tintaya y Pampa Pacualapampa. También están presentes en el cuadrángulo de Cotahuasi, y al norte del cuadrángulo de Chuquibamba se les encuentra formando el nevado Coropuna.

Lavas andesítico-basálticas y escorias (III-4)

Subunidad de susceptibilidad muy baja por la ocurrencia de movimienrtos en masa. Está conformada por los afloramientos de lavas andesíticas basálticas vesiculares pertenecientes a los estratos volcánicos Señal P'illune y Palla Palla; flujo de escorias afaníticas del Grupo Andagua. Se distribuyen ampliamente en el cerro Huallacsuyopata, Tayapata, Cerco Orcco, Huaman Pirca, Antapunco, Huayunca, Millo, Pucapuncho, Chimpullo, Surayuni, Comulla y Huamanillo en el cuadrángulo de Chaviña y Pacapausa.

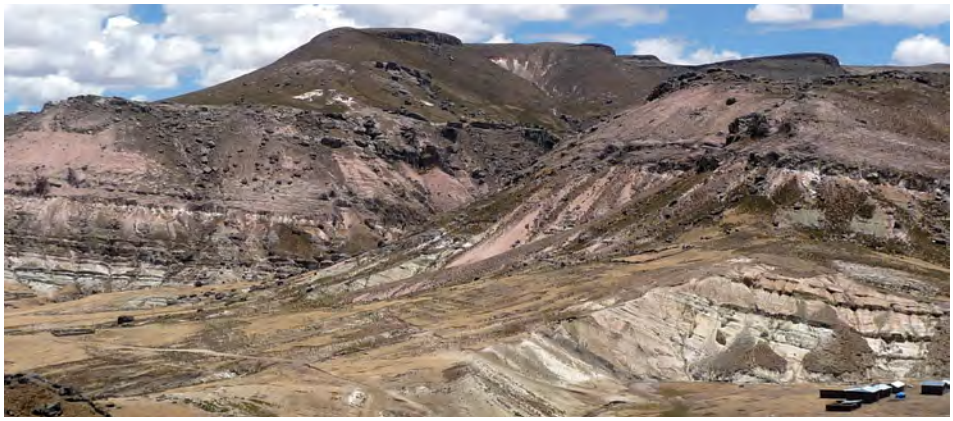
C) Rocas Volcánicas-Sedimentarias

Estas rocas están conformadas en la cuenca por una sola subunidad y ocupa el 6 % del área.

Areniscas tobáceas, conglomerados y volcánicos **interestratificados y brechas (IV-1)**

Corresponde a afloramientos seudoestratificados desintegrados. Consiste en sedimentos clásticos con mezcla de volcanoclásticos. Destacan las siguientes unidades: Formación Pausa, compuesta por secuencias intercaladas de arenas tobáceas con materiales

volcánicos lapillíticos, niveles de pómez y bombas formando niveles de conglomerados; miembro sedimentario de la Formación Tacaza, conformada de areniscas tobáceas con niveles piroclásticos, lavas andesíticas intercaladas con secuencias de lutitas abigarradas y calizas; Formación Aniso, conformada por la intercalación de areniscas tobáceas y tobas redepositadas (fotografía 3.10); secuencias interestratificadas de tobas retrabajadas con arenas tobaces y cineritas pertenecientes a la Formación Alpabamba; Formación Aniso, constituida por niveles de piroclásticos de areniscas tufáceas intercalados con limolitas y niveles de diatomitas; Formación Chocolate, conformada por rocas volcánicas de composición andesítica con estratificaciones delgadas a medianas de areniscas, microconglomerados y brechas angulosas. La susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos en masa es muy alta.



Fotografía 3.10 Roca volcánico-sedimentaria de la Formación Aniso ubicada en el cerro Ishurutuna (norte del caserío Uchuy Huasi).

D) Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias mantienen una distribución y control estructural. Se ubican en el sector central y norte de la cuenca y se presentan estructuralmente plegadas, falladas e imbricadas, ocupando un porcentaje poco considerable en la cuenca (7 %). Esta unidad ha sido dividida en cuatro subunidades, tomando en cuenta la litología predominante de cada subunidad.

Areniscas y lutitas (V-2)

Esta subunidad corresponde a macizos rocosos fracturados y la calidad de la roca es regular. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta. Está constituida por la Formación Labra, que comprende secuencias de areniscas gris blanquecinas en estratos medianos a grueso de grano medio con patinas de óxido que le dan un color rojo; se interestratifican con lutitas negras delgadas con algunos niveles de lutitas carbonosas y la presencia de algunos niveles de areniscas calcáreas. También se considera a la Formación Hualhuani, constituida por areniscas cuarzosas gris claras de grano mediano a fino compactas en estratos que varían de grosor; en el techo presenta intercalación de lutitas que van disminuyendo de espesor (fotografía 3.11).

Sus principales afloramientos se encuentran en el cañón del río Cotahuasi, a la altura de los cerros Chusacay, Chaupo, Paracra, Pallaca, Pucro, Huiñau, Huaccaccmama y quebrada Tanisca en el río Huanca Huanca.

Lutitas, limolitas y areniscas (V-4)

Agrupa afloramientos rocosos de las formaciones Cachios y Murco. Están conformadas por lutitas negras fisibles (con presencia de nódulos pequeños y restos de fósiles mal conservados) e intercaladas con areniscas blanquecinas de grano medio compactas interestratificadas con niveles de lutitas arenosas gris oscuras; intercalación de areniscas calcáreas gris amarillentas con niveles delgados de areniscas rojizas y pardo amarillentas intercaladas con lutitas rojas, verdes, abigarradas y niveles de areniscas marrones de grano medio a fino y niveles de lutitas, limolitas rojas, verde delgadas con intercalación de areniscas cuarzosas compactas y niveles esporádicos de lutitas gris oscuras y lentes delgados de yeso.

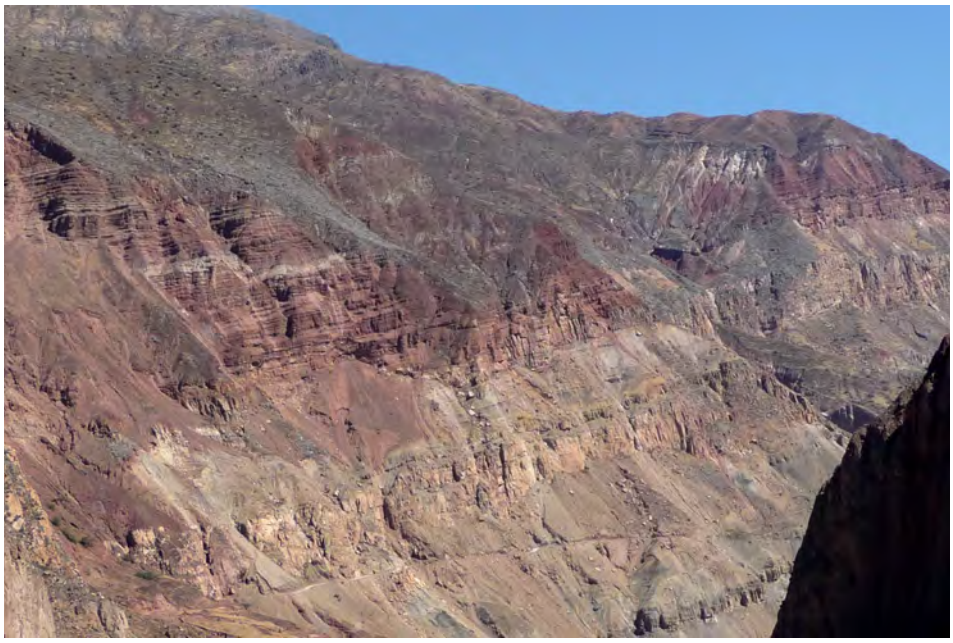
El macizo rocoso se encuentra fracturado, perturbado y muy meteorizado. La susceptibilidad por los movimientos en masa es muy alta.

Sus principales afloramientos se ubican en ambas márgenes del río Cotahuasi (alrededor de los pueblos de Andamarca, Pallacra Pucro y Velinga); cerros Huiñau, Tanisca, Luicho, Llamoc y San Antonio; quebrada Ushua; y, margen izquierda del río Huanca Huanca.

Conglomerados y areniscas (V-5)

Subunidad litológica de afloramientos rocosos fracturados, muy meteorizado y de susceptibilidad media por la ocurrencia de movimientos en masa. Ocupa la cuenca baja, próxima a la zona costa. Consiste en bancos gruesos de conglomerados volcánicos, intercalados con niveles de areniscas grises de grano grueso a fino, con una capa tobácea hacia la base (Formación Millo); conglomerados medios, con un 60 % de ellos redondeados a subredondeados, tratándose de cuarcitas y subvolcánicos, una facie media de lutitas, areniscas finas, limolitas con textura tobácea y una facie superior conformada por conglomerados heterogéneos poco consolidados; hacia su tope se aprecian areniscas y piroclastos (Formación Moquegua); areniscas conglomerádicas, conglomerados con líticos de grano rojo, gneis y esquistos intercalados con limoarcillitas gris verdosa y pardas (Formación Ambo). Sus principales afloramientos se encuentran entre los cuadrángulos de Caravelí y Ocoña.

Además, esta constituida por areniscas tobáceas con lentes de conglomerados, limolitas, tobas redepositadas, coquinas y areniscas calcáreas pertenecientes a la Formación Pisco; interestratificación de areniscas, limolitas y lodolitas marrón rojizos con niveles de yeso distribuidos irregularmente pertenecientes a la Formación Sotillo. Sus principales afloramientos están ubicados en la pampa Gramadal, quebradas Huarucanqui, Las Conejas, Ochocruz y los cerros Fortuna, Yuscanqui, CunoCuno y Murillo.



Fotografía 3.11 Rocas sedimentarias de la formaciones Labras, Hualhuani y Murco ubicadas en el flaco sur del Cerro Sanquimocco (margen izquierda del río Cotahuasi).

Calizas y margas (V-8)

Subunidad litológica de susceptibilidad baja por la ocurrencia de movimientos en masa y maciso rocoso fracturado en bloques. Está constituida principalmente por calizas de las Formaciones Arcurquina (fotografía 3.12) y Socosani. Se presenta en los alrededores de la ciudad de Cotahuasi, principalmente en la margen derecha del cañón del río Cotahuasi y se extiende hacia el cuadrángulo de Pausa, una faja alta en el valle de Andamarca, cerro Jocha Jocha (Charcana) hasta el cerro Tanisca. También se encuentra en las localidades de Pampamarca y Taurisma, entre otros, y al norte de la laguna Parinacochas en el cuadrángulo de Coracora. Los afloramientos están constituidos por secuencias de calizas con presencia de fósiles e intercaladas con delgadas capas de areniscas calcáreas.

Fotografía 3.12 Estratos de calizas de la Formación Arcurquina ubicados entre las quebradas Toro y Alluay (margen izquierda del río Cotahuasi).

E) Rocas Metamórficas

Ocupa el 3 % del área de la cuenca. Esta unidad está representada por afloramientos rocosos compuestos por gneis, esquistos, filitas e intercalación de pizarras con esquistos, por lo que, según su litología, se ha dividido en dos subunidades.

Gneis y esquistos (VI-2)

Constituida por afloramientos rocosos con ligera meteorización del Complejo Basal de la Costa (fotografía 3.13). Se compone de dos facies de metamorfismo: Facies de granulitas/gneis, que conforman rocas metamórficas de alto grado de metamorfismo, presentan bandeamientos de ortosa con cuarzo hialino y mica, principalmente biotita; y, Facies de esquistos/gneis, compuestas por ortogneis, muestran una estructura plegada y esquistos micáceos, cloritosos, horbléndicos con filitas de colores verdosos. La susceptibilidad por la ocurrencia de los movimientos en masa es media.

Aflora a lo largo del valle del río Ocoña, desde la Quebrada Chorunga hasta la desembocadura de la cuenca; también aflora entre la confluencia de los ríos Ocoña y Cotahuasi.

Filitas y esquistos (VI-3)

Corresponde a rocas antiguas muy meteorizadas. La conforman afloramientos del Complejo Basal de la Costa compuestos mayormente por filitas y gneises de buena esquistosidad. Dentro de esta subunidad, también se ha incluido a los metasedimentos precambrianos que corresponden a la primera fase de metamorfismo de los sedimentos. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Afloran a lo largo del río Cotahuasi desde el poblado Huallhua hasta el poblado de Macetinya, y en los sectores Humauro, Quenhuamarca y Silviani.

Fotografía 3.13 Afloramiento rocoso del Complejo Basal de la Costa compuesto por gneis, ubicado al oeste de la localidad de Urasqui (margen derecha del río Ocoña).

3.2 ASPECTOS ESTRUCTURALES

Las estructuras dentro de la cuenca del río Ocoña han desempeñado un rol importante en el desarrollo de la morfología actual. La deformación está condicionada a las características litológicas. Por ejemplo, las cuarzo areniscas y calizas cretáceas tienen un plegamiento más suave y forman anticlinal y sinclinal amplios; las lutitas y areniscas arcillosas jurásicas muestran un plegamiento y fallamiento más intenso, como se observa en el Grupo Yura, en los valles de los ríos Cotahuasi (base del Huiñau y cerro Tanisca) y Huanca Huanca (base de los cerros Llamoc y Luicho).

El fallamiento observado por Mendívil & Castillo (1960) en el cuadrángulo de Ocoña está representado principalmente por fallas longitudinales, de tipo normal, con un marcado paralelismo; las fallas son de dirección noreste tales como las fallas Torre Grande y Mollebamba.

Sistema de fallas NE-SO

Estas fallas son de menor extensión y menos evidentes, de tipo normal y buzamiento subvertical, de formación posterior al sistema interior. A este sistema pertenecen las fallas de la Laguna Ecma y las situadas en la parte norte del cuadrángulo de Chulca (Salas *et al*., 2003).

Sistema de sobreescurrimiento Cincha Lluta

El Sistema Cincha Lluta fue identificado por Martínez & Cervantes (2003) en el flanco oriental del cerro Palmaderas, margen derecha del río Cotahuasi, donde se puede observar el contacto del Complejo Basal de la Costa (gneis) con las lutitas del Grupo Yura (Formación Labra). Tiene rumbo noroeste y está cubierto por los volcánicos recientes.

Falla Tauría

Cruza el pueblo de Tauría poniendo en contacto a la Formación Socosani con el grupo Tacaza y, en el flanco izquierdo del río Marán, a la Formación Chocolate con el grupo Yura. Está cubierta por los volcánicos más jóvenes hacia el norte (Martínez & Cervantes, 2003).

Falla Tanisca

Nombre proveniente de la quebrada Tanisca (margen derecha del río Cotahuasi). Es una falla inversa con un rumbo (sinestral) aproximado N 60° O que pone en contacto al grupo Yura con la Formación Arcurquina. Hacia el norte llega hasta el río Huanca Huanca, donde está cubierta por los volcánicos recientes (Martínez & Cervantes, 2003).

Falla Charcana

Se encuentra a lo largo del valle del río Chuquibamba, en una falla normal que afecta principalmente a secuencias del Jurásico superior y Cretáceo (Martínez & Cervantes, 2003).

Falla Torre Grande

La Falla Torre Grande es la mayor y mejor expuesta en el cuandrángulo de Ocoña. Mendivil & Castillo (1960) la observó en varios tramos en el Cerro Las Trancas, Cinco Cruces y Cerro Minas, con un rumbo constante promedio de N 65° W, y en buzamientos comprendidos entre los 50° y 75° hacia el noreste.

Es una falla normal con algunas pequeñas inflexiones y afecta tanto al Complejo Basal como a las formaciones permo-carboníferas, pero no se le ha podido ver en las rocas Terciarias. Un gran tramo se pierde debajo de la cubierta Cuaternaria (Mendívil & Castillo, 1960).

Falla Mollebamba

Fue reconocida por Mendívil & Castillo (1960). Menciona que se ubica cerca al Cerro de Arena, pero no se le ha podido seguir sobre el terreno hacia el este por encontrarse cubierta en todo su recorrido, principalmente en el cerro La Planchada, las lomas de Ocoña y las lomas de Camaná. En estos lugares, en las fotografías aéreas se advierte un alineamiento pronunciado que contrasta con el drenaje normal. Esta singularidad puede ser consecuencia del fallamiento.

La Falla Mollebamba, en el Cerro de Arena, parece haber ocasionado un gran acantilado sobre el mar, el cual va hasta Punta de Oscuyo. En líneas generales, presenta una escarpa en línea recta de más o menos N 80° W con inclinación suroeste (Mendívil & Castillo, 1960).

Falla Choclón

Ha sido observada en la quebrada Cejas por Mendívil & Castillo (1960), donde afecta a los depósitos Terciarios, prolongándose al oeste hasta penetrar en el cuadrángulo de Atico. Su orientación promedio es de N 80° E, con una inclinación hacia el noroeste.

Sistema de fracturamiento escalonado

Este segundo sistema (ubidado en el cuadrángulo de Ocoña) representa un fracturamiento escalonado con hundimientos hacia el noroeste, contra la Falla Torre Grande. Esta parece haber levantado parte de la Cordillera de la Costa a manera de un pilar tectónico limitado por el norte con la Falla Torre Grande y por el sur con la Falla Mollebamba (Mendívil & Castillo, 1960).

Lineamientos

Los más importantes son Huancarama, Auquihuato, Andamarca, Oyolo, Cruz Pata, Puca Ccasa, Pirca y Sara Sara con rumbos generales noroeste – sureste (Martínez & Cervantes, 2003).

CAPÍTULO IV
ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

En el contexto nacional y regional, la generación de capas temáticas para la evaluación de línea de base ambiental toma mucho en cuenta la geomorfología del medio físico. El espacio geográfico de la cuenca hidrográfica permite evaluar integralmente las características hidrológicas desde su divisoria de aguas hasta su desembocadura, la pendiente de los terrenos, los procesos activos, así como los procesos relacionados al efecto del cambio climático (retiro de los glaciares). En las cordilleras volcánicas se analiza las geoformas asociadas a los productos y emisiones volcanológicas, muy distribuidas en el sur del país y, en particular, en esta cuenca (Zavala *et al*., 2010).

Además, el análisis geomorfológico es una herramienta primordial para la caracterización de peligros geológicos. Asimismo, la determinación de geoformas existentes en una área o región es fundamental para evaluar (desde nuestra perspectiva geológica) el paisaje de una región y promover el geoturismo (Zavala *et al*., 2010).

En la interpretación geomorfológica es necesario conocer previamente el clima. Por lo tanto, el punto de partida de la morfología actual en la cuenca es la consideración del relieve como el resultado de la interacción de fuerzas, agentes y procesos endógenos (sismicidad y volcanismo) y exógenos (movimientos en masa); factores que controlan el modelado del relieve; y factores tectónicos, volcánicos, bioclimáticos (deglaciación, fenómeno El Niño) y geomorfológicos (Zavala *et al*., 2010).

Desde el punto de vista morfoestructural, el área de estudio corresponde a la Cordillera de la Costa, llanura costanera o preandina, Cordillera Occidental, y al altiplano. En la Cordillera Occidental se encuentra la franja de conos volcánicos, representados por los volcanes activos Coropuna, Solimana y Sara Sara (figura 4.1).

4.1 PENDIENTE DE LOS TERRENOS

La pendiente de los terrenos (mapa 2), así como la morfología del relieve, es uno de los aspectos importantes en la caracterización de las unidades y subunidades geomorfológicas. Además, es uno de los principales factores condicionantes en el análisis de la susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos en masa, ya que determina la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002).

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

El mapa de pendientes de la cuenca del río Ocoña (mapa 2) se elaboró utilizando las hojas fotogramétricas del Instituto Geográfico Nacional del Perú (mapa a escala 1:100 000, con espaciamiento de curvas de nivel cada 50 m), que fueron procesadas en el software ArcGis. Para su categorización, se adaptó la propuesta realizada por Martín-Serrano *et al*., (2004) y se consideró seis rangos o grados de pendiente: terrenos llanos (<1º, muy baja), inclinados con pendiente suave (1º-5º, baja), pendiente moderada (5º-15, media), pendiente fuerte (15º-25º), pendiente muy fuerte o escarpado (25º-45º) y pendiente muy escarpada (>45º, abrupta). Estas se describen a continuación:

Terrenos llanos (<1º)

Comprende al 12.75 % del área de la cuenca. Los terrenos son casi planos, con sectores ondulados; se distribuyen a lo largo de las mesetas ignimbrítica, bofedales y fondos de valle conformadas por terrazas aluviales, fluviales e indiferenciadas. Algunas áreas caracterizadas dentro de este rango están sujetas a erosión fluvial e inundaciones de tipo fluvial y pluvial. Uno de los lugares más resaltantes se ubica en los lados del río Ocoña.

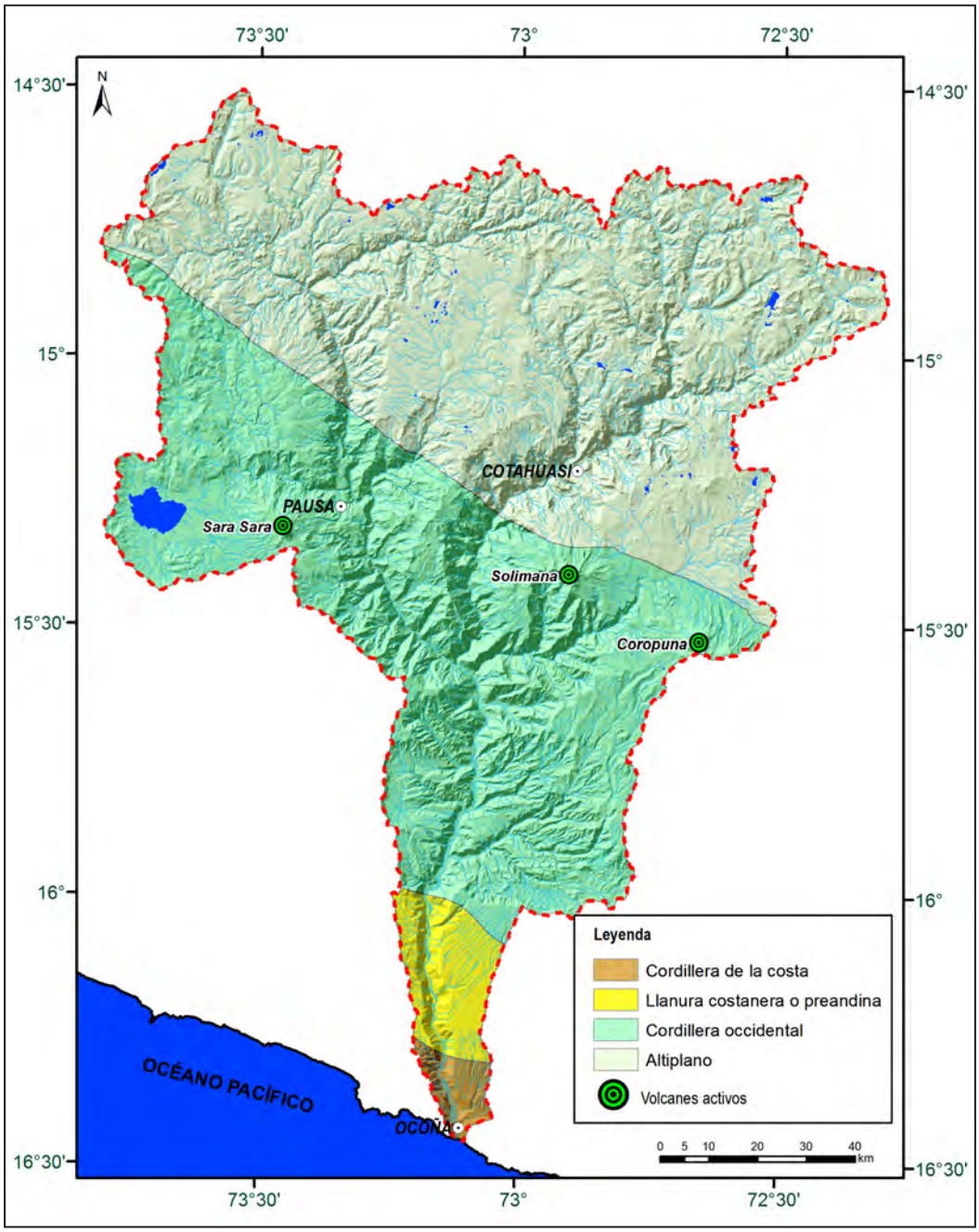


Figura 4.1 Mapa morfoestructural de la cuenca del río Ocoña.

Terrenos inclinados con pendiente suave (1º - 5º)

Este rango de pendiente tiene regular distribución en toda la cuenca; ocupa el 13.26 % del área. Se encuentran distribuidos a lo largo de las altiplanicies y también en las mesetas ignimbríticas, donde estas presentan ligeros ondulamientos que le otorgan algo de irregularidad al terreno, también relieves de lomadas. Asimismo, se observa en relieves de abanicos, piedemonte aluvio-torrenciales y vertientes glaciofluviales.

Generalmente, sobre este rango de pendiente son depositados los materiales acarreados por los procesos de movimientos en masa de tipo flujos de detritos y otros.

Pendiente moderada (5º - 15º)

Los terrenos de moderada pendiente corresponden principalmente a las unidades de lomadas y colinas existentes en la cuenca. Este rango ocupa aproximadamente el 28.87 % del área. Aquí se podrían registrar movimientos en masa de tipo

reptación de suelos, deslizamientos, derrumbes o caídas de rocas; principalmente por la actividad antrópica o antropogénica, como son los cortes de taludes para la construcción de carreteras y viviendas, entre otros.

Pendiente fuerte (15º - 25º)

Los terrenos de pendiente fuerte ocupan una extensión reducida dentro de la cuenca (10.30 % del área) y se distribuyen indistintamente en las laderas de las montañas.

Rango de pendiente de los terrenos, sujeto a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos, movimientos complejos; también pordría ocurrir reptación de suelos.

Pendiente muy fuerte o escarpado (25º - 45º)

Los terrenos con pendiente muy fuerte tienen una buena distribución. Ocupan la mayor cantidad de área (30.76 %). Se encuentran repartidos a lo largo de las laderas de montañas.

Superficies susceptibles por las ocurrencias de movimientos en masa de tipo deslizamiento, movimiento complejo, avalancha de rocas, flujo de detritos y erosión de laderas.

Pendiente muy escarpada (> 45º)

Ocupa áreas muy reducidas en la cuenca (4.06 %). Se distribuye indistintamente en laderas de montañas y valles encañonados.

Este rango de pendiente es susceptible principalmente por la ocurrencia de movimientos en masa tipo caídas de rocas, avalancha de rocas y derrumbes.

4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Desde el punto de vista morfológico, basados en la geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación de tierras propuesta (Villota, 2005), la cartografía permitió diferenciar tres grandes grupos de unidades de relieve geomorfológico:

- Geoformas de carácter tectónico-degradacional y denudacional
- Geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional
- Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Además, en función de la escala de trabajo (1:100 000), en la diferenciación de unidades y subunidades se consideró dos aspectos fundamentales:

- Homogeneidad litológica y carácter estructural
- Aspectos del relieve con relación a la erosión y sedimentación

Las geoformas individuales se agrupan en tres tipos generales del relieve en función de su altura relativa y pendiente: 1) montañas, colinas y lomeríos, 2) piedemontes y 3) planicies. La descripción de cada una de ellas incluye la pendiente del terreno, asociación litológica y control estructural. A diferencia de otras cuencas del país, se tiene una gran influencia volcánica, así como procesos tectónicos y fluvioglaciares.

La base topográfica utilizada para la elaboración del mapa geomorfológico corresponde a la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000; la asociación litológica (substrato rocoso y depósitos superficiales) se basó en los límites de las unidades geológicas diferenciadas en los cuadrángulos geológicos publicados por Ingemmet (escala 1:100 000 o 1:50 000). Además, se realizó la cartografía de depósitos de acumulación reciente (movimientos en masa) con ayuda de las fotografías aéreas e imágenes de satélite Landsat.

A continuación, se describe las unidades geomorfológicas (mapa 3), detallando su ubicación y distribución geográfica, acompañadas de algunas fotografías ilustrativas de las geoformas características.

4.2.1 Geoformas de carácter tectónicodegradacional y erosional

Resulta del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales. Estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). Ocupa el 51.9 % del área de la cuenca.

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos, forman parte de las cadenas montañosas, colinas, altillanuras, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo están las siguientes unidades:

a) Unidad de montañas

Las montañas presentan la mayor distribución en la cuenca del río Ocoña (41.1 %). Son geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local (citado por Villota, 2005), donde se reconocen cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.).

En el contexto general, se encuentran conformadas por alineamientos alargados constituidos por rocas de tipos volcánico, intrusivo, sedimentario y metamórfico, con un moderado a fuerte estado de meteorización superficial y de erosión.

Comprende las siguientes subunidades:

Montañas y laderas en roca intrusiva (RM-ri y LM-ri)

Estas subunidades son de alta y media susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos en masa. Están conformadas por laderas y crestas de topografía abrupta, con elevaciones que varían de 600 m hasta los 3 250 m y altitud máxima de 4 200 m s. n. m., presenta drenaje dendrítico a dendrítico rectangular por la presencia de fracturas o diaclasas en varios sectores de los valles profundos y en forma de V.

Los cuerpos ígneos intrusivos que modelaron estas subunidades se disponen como *stocks* y batolitos, de formas irregulares a alargadas, en algunos casos son controladas por fallas. Se encuentran constituidas por rocas intrusivas de composición intermedia a ácida, tipo tonalita, granodiorita, diorita y monzonita. Se encuentran muy meteorizados, por lo que originan suelos arenosos y arcillosos.

Se distribuye entre los pueblos de Iquipi y Salamanca, norte de Ocoña, oeste de Cotahuasi, este de Alca, sureste de Pacapausa, alrededores de Marcabamba, entre otros lugares.

Montañas y laderas en roca volcano-sedimentaria (RM-rvs y LM-rvs)

Se considera a las montañas y laderas modeladas en afloramientos de rocas volcano-sedimentarias del Jurásico y Neógeno, como las Formaciones Aniso y Chocolate. Presentan crestas altas e irregulares, con pendientes que pueden superar los 30º, sus altitudes alcanzan los 3 800 m s. n. m. También se tienen montañas con laderas empinadas y cimas redondeadas. Estas subunidades son de susceptibilidad media por la ocurrencia de movimientos en masa.

Se encuentran distribuidas en ambos lados de los ríos Marán, Oyolo y Pallancata, principalmente al norte y al noreste de Aniso, al sureste de Pausa y entre los pueblos de San Francisco de Ravacayco, Colta y Oyolo.

Montañas, colinas y laderas en roca volcánica (RMC-rv y LM-rv)

Agrupa relieves de montañas, colinas y laderas con afloramientos de rocas volcánicas (tobas soldadas, tobas dacíticas brechoides, tobas lapilli, brechas de lavas y flujos, aglomerados volcánicos andesíticos y lavas con niveles porfiríticos); litológicamente, corresponden a los miembros de la Formación Alpabamba (fotografía 4.1) y del Grupo Tacaza. Sus altitudes alcanzan los 4 620 m s. n. m., y presentan superficies con pendientes muy fuertes. Estas subunidades son de susceptibilidad baja y media, respectivamente, por la ocurrencia de movimientos en masa.

Las principales exposiciones se ubican bordeando las laderas del nevado Solimana, en la margen derecha del río Cotahuasi (entre los ríos Sopaccota y Pampa marca), margen derecha del río Marán (entre las quebradas Parachata y Asinga), suroeste de Cotahuasi y en los alrededores del poblado de Tomepampa.

Montañas y laderas en roca sedimentaria (RM-rs y LM-rs)

Los macizos rocosos que conforman los relieves de montañas y laderas corresponden a rocas sedimentarias pertenecientes al Grupo Ambo y a las formaciones Cachios, Socosani, Socosani, Labra, Murco, Hualhuani, Arcurquina, Sotilo, Moquegua, Camaná y Pico. Las formaciones fueron afectadas intensamente por procesos tectónicos y erosivos. Asimismo, la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa es alta a muy alta, respectivamente.

Litológicamente están conformadas por secuencias sedimentarias del Carbonífero, Jurásico, Cretáceo y Neógeno, compuestas por areniscas conglomerádicas, lutitas, intercalación de calizas y lutitas carbonosas, areniscas, limoarcillitas, cuarcitas, calizas fosilíferas con nódulos, calizas masivas, areniscas arcillosas, areniscas poco consolidadas e intercalación de areniscas, coquinas y conglomerados (fotografía 4.2).

En los sectores cercanos o alrededores de los poblados Taurisma, Mungui, Cotahuasi, Toro, Velinga, Tauría, San José de Ushua, Colta, San Francisco de Ravacayco, Pacapausa Urasqui y Ocoña presentan laderas de pendientes muy fuertes. Sin embargo, en los sectores ubicados al sur y al suroeste de la laguna de Parinacochas la pendiente disminuye a moderada y fuerte.

Fotografía 4.1 Ladera de montaña modelada en roca volcánica de la Formación Alpabamba, ubicada en el cerro al norte del poblado Pampamarca.

Fotografía 4.2 Ladera de montaña modelada en roca sedimentaria compuesta de lutitas intercaladas con estratos de arenisca, ubicada en la margen derecha del río Cotahuasi.

Montañas y laderas en roca metamórfica (RM-rm y LM-rm)

Corresponde a cadenas montañosas y laderas antiguas expuestas cerca a la confluencia de los ríos Ocoña y Chichas y en los alrededores del poblado de Urasqui. Litológicamente corresponde al Complejo Basal de la Costa, compuesto por facies de gneis, esquistos y migmatitas.

La superficie de esta subunidad geomorfológica presenta laderas con pendientes muy fuertes y disectados (fotografía 4.3). Sus elevaciones varían de 1 000 m hasta los 3 000 m y altitud máxima de 4000 m s. n. m. La susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos en masa es de media a alta, respectivamente, así como por los procesos de erosión de ladera como cárcava y surco.

Fotografía 4.3 Ladera de montaña modelada en roca metamórfica. Se encuentra intensamente afectada por los procesos de erosión de ladera. Se ubica en la margen derecha del río Arma, flanco suroeste del cerro Anchachani.

Montañas con cobertura glaciar (RM-cgl)

Corresponde a las culminaciones de montañas que presentan cobertura de hielo o hielo/nieve permanente, a manera de picos o nevados. Sus elevaciones varían entre los 1 000 m y 1 050 m y altitud máxima de 6 350 m. Su asociación litológica está vinculada a los estratovolcanes Solimana, Coropuna y Sara Sara (fotografías 3.17, 3.18 y 3.19), de edad Pliocena y Pleistocena, respectivamente. Presentan laderas con pendientes muy fuertes. Asimismo, la susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos en masa es alta.

b) Unidad de colinas y lomadas

Corresponde a relieves complejos con diferentes grados de disección. Son de menor altura que una montaña (menor de 300 m desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 16 % (citado por Villota, 2005). Conforman alineamientos de carácter estructural y denudativo que en conjunto ocupan un área de 27.2 % dentro de la cuenca. Esta unidad geomorfológica generalmente se ubica próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de las estribaciones andinas.

Dentro de este grupo, se diferenciaron siete subunidades geomorfológicas:

Colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri)

Litológicamente corresponden a intrusiones de pequeñas dimensiones en forma de *stocks*. Los afloramientos de estas rocas son alargados, con cimas algo redondeadas en algunos casos, y laderas de pendiente suave a moderada. Están orientados de sureste a noroeste, o sea, paralelos al eje de los andes; además, se encuentran cortados por el valle del río Ocoña.

Por sus formas subredondeadas y pendientes moderadas, no es frecuente la ocurrencia de movimientos en masa y la susceptibilidad es baja. Sin embargo, en su superficie podría desarrollar procesos de erosión en ladera.

Colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv)

Subunidad geomorfológica modelada en afloramientos de rocas volcánicas compuestos por tobas, tufos y derrames lávicos. Litológicamente corresponden a la Formación Alpabamba, Volcánico Pallapalla, Grupo Barroso y Grupo Tacaza, entre otros. Presentan formas irregulares, cimas agudas y laderas con pendiente moderada a fuerte. Se encuentra dispersada en la cuenca alta y la susceptibilidad por los movimientos en masa es muy baja.

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

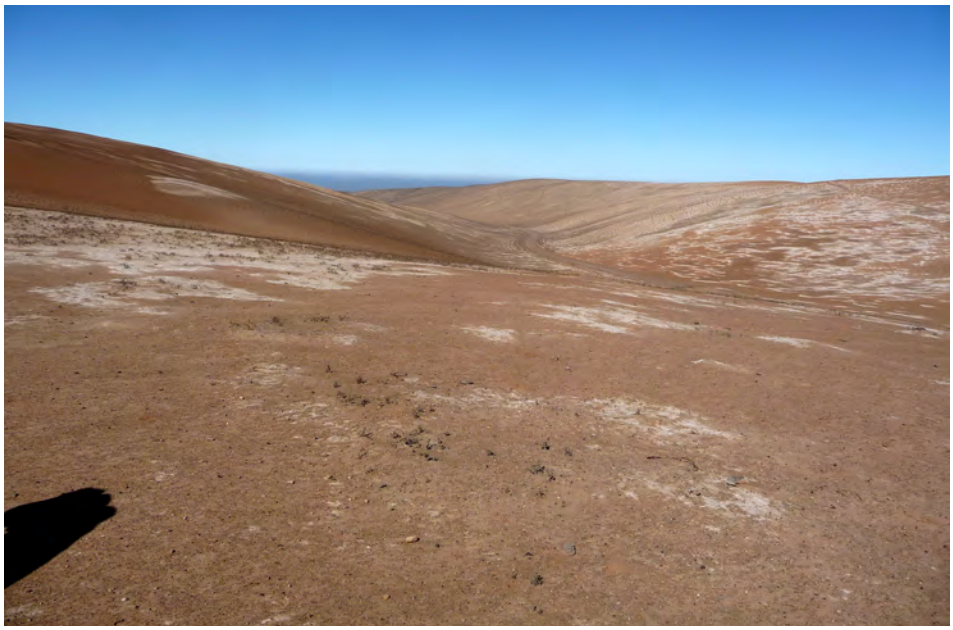
Relieve modelado en rocas volcánico-sedimentarias, perteneciente a las formaciones Aniso, Alpabamba y miembro Santa Rosa del Grupo Tacaza. Presentan crestas irregulares, con pendientes moderadas, de formas subredondeadas, cubiertas por delgadas capas de material residual. La ocurrencia de los movimientos en masa es baja.

Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)

Corresponden a relieve modelado en roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos. Se encuentran conformando elevaciones alargadas, con laderas de baja a moderada pendiente. La ocurrencia de los movimientos en masa es media.

Colina y lomada en rocas metamórfica (RCL-rm)

Corresponden a relictos de cadenas montañosas antiguas expuestas en la cuenca baja. Litológicamente corresponden al Complejo Basal de la Costa. Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas, cimas agudas y alargadas (fotografía 4.4). Se encuentran muy erosionadas, asociadas a procesos de erosión en cárcavas y pequeños flujos de detritos (huaicos). La ocurrencia de los movimientos en masa es baja.



Fotografía 4.4 Relieve de lomadas modeladas en rocas metamórficas ubicadas en el sector Lomas de Ocoña.

4.2.2 Geoformas de carácter volcánico degradacional y erosional

Dentro de la cuenca ocupa aproximadamente el 28.1 % del área. Se tiene las siguientes subunidades:

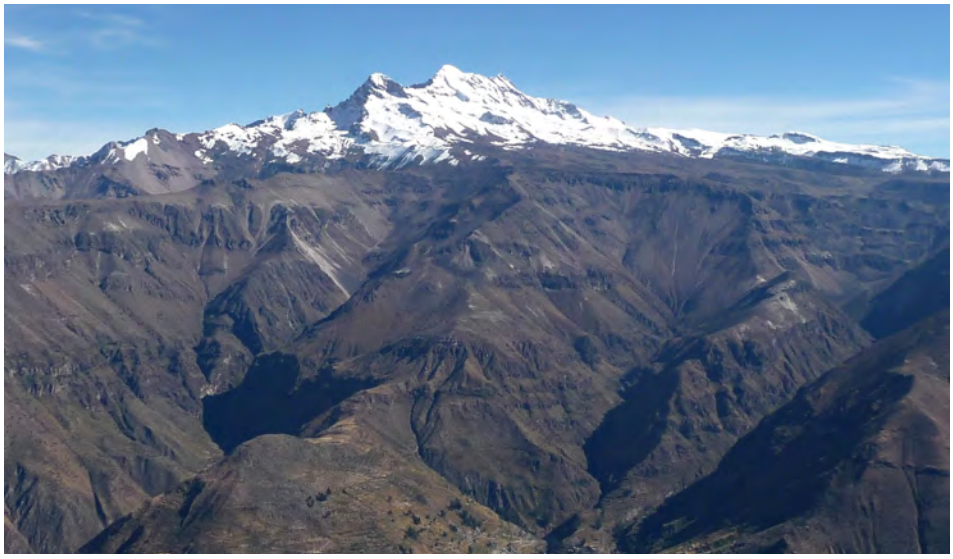
Estrato-volcán (Es-v)

Unidad constituida por relictos de aparatos volcánicos del Grupo Barroso. Generalmente, conforma las altas cumbres y divisoria de aguas de la cuenca, las cuales han sido modificadas por circos glaciares que bajan en forma radial hacia los valles tributarios y principal.

Presenta una topografía con pendientes moderadas (5° - 15°) a escarpadas (25° - 45°), y se encuentra en planicies o superficies levemente inclinadas producto de los derrames volcánicos, que descienden hacia zonas altiplánicas locales. La ocurrencia por los movimientos en masa es alta.

Agrupa a los complejos volcánicos o estrato-volcanes (fotografías 4.5, 4.6 y 4.7) de Coropuna, Solimana, Sara Sara y Firura. Dentro de esta subunidad, también se agrupa a los centros volcánicos principales como Palla Palla, Yanacore y Pillune, entre otros.

Fotografía 4.5 Complejo volcánico (estrato-volcán y domos) del Coropuna. Vista del flanco noreste.



Fotografía 4.6 Flanco sur del estrato-volcán Solimana.

Fotografía 4.7 Flanco noreste del volcán Sara Sara.

Ladera con flujo de lava (L-fl)

Constituyen las últimas manifestaciones de actividad volcánica andina Pliocena-Holocena. Corresponden a formas alargadas (figura 4.2) con lóbulos frontales empinados y superficie inclinada. Están asociadas al Sistema Domo Lava Sara Sara y a las morfoestructuras del domo de lava Apaiñuño. La escasa o nula cobertura vegetal y formación de suelo permiten estimar su edad relativa. La ocurrencia de los movimientos en masa es muy baja.

Domo volcánico (Do-v)

Corresponde a relieves individuales conspicuos que sobresalen en forma de cúpula y laderas pronunciadas. Forma superficies convexas o dómicas (figura 4.2). Se caracteriza por la presencia de lavas muy viscosas originadas durante el Pleistoceno y Holoceno. En la cartografía geológica se atribuye a: Domo de lava andesítica del Grupo Barroso, Domo de lava andesítica del estratovolcán Peste, Sistema Domo Lava Sara Sara, Sistema de Lava Auquihuato y Sistema de Domo Lava Apaiñuño. Generalmente, están asociados a la mineralización económica.

Los domos miden desde 0.5 km hasta 3.7 km de longitud, presentan drenaje centrífugo a radial y su distribución es dispersa. La ocurrencia de los movimientos en masa es baja.

Cono de escoria monogenético (CoE)

Comprende paisajes cónicos truncados con acumulación de material piroclástico suelto (escorias, cenizas y bombas), a partir de un conducto central o cráter, con actividad volcánica de tipo estromboliana. Presenta alturas entre 1 500 y 300 m, con laderas de pendiente moderada a fuerte. La ocurrencia de los movimientos en masa es media.

Colinas, lomadas y mesetas ignimbríticas (CLM-ig)

En general, son planicies altas con frentes escarpados, cumbres o cimas redondeadas a planas (meseta) compuestas por tobas o ignimbritas asociadas a depósitos piroclásticos. Fueron depositadas a mucha distancia de su centro de origen. Ocupa grandes extensiones, principalmente en las subcuencas Marán y Colcamayo.

La meseta más relevante en la cuenca del río Ocoña se ubica en la subcuenca Marán, rodeando el cerro Huancarama. Se caracteriza por ser una zona de relieve llano y de superficie horizontal a subhorizontal, ligeramente disectada por los ríos Puico, Tipicocha, Chinque Huilauro y quebradas afluentes.

Vertiente o piedemonte volcanoclástica (V-vcl)

Superficie inclinada con pendiente suave a moderada, compuesta por depósitos volcanoclásticos del Pleistoceno y Plioceno. Se ubica en flanco noroeste del Sistema Domo Lava Sara Sara y en la pampa Cunocuno (fotografía 4.8).

La ocurrencia de los movimientos en masa dentro de esta subunidad geomorfológica es media, se podría activar eventos tipo flujo de lodo y detritos.

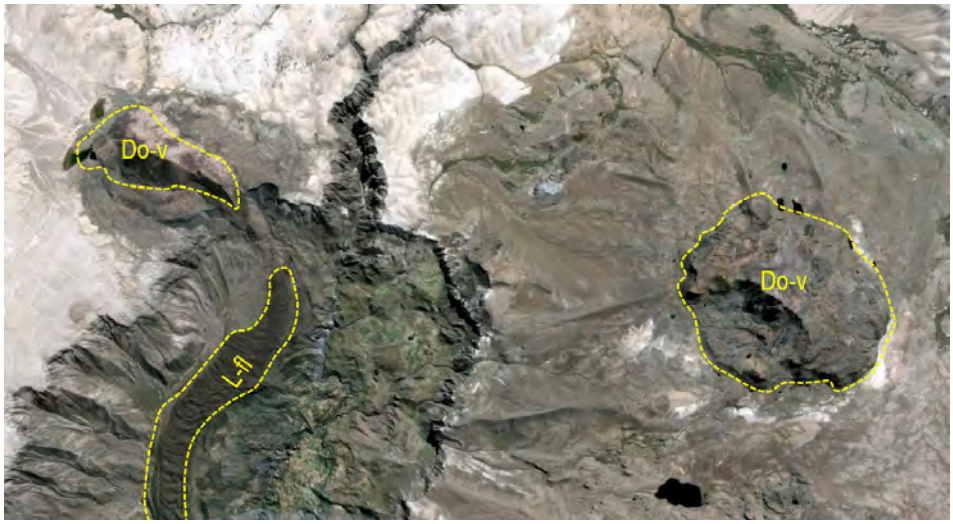


Figura 4.2 Se observa las subunidades de domos volcánicos (Do-v) ubicados en los cerros Auquihuato y Huanipaco y ladera con flujo de lava (L-fl) ubicada en el sector Lomada Huallachiglla, norte del poblado de Oyolo.

Fuente: Google Earth Pro.

Fotografía 4.8 Vertiente volcanoclástica ubicada en la Pampa Cuno Cuno, sureste del poblado Iquipi.

4.2.3 Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados tanto por fuerzas de desplazamiento como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía. Tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados. Dentro del área de estudio, ocupan el 20.00 % aproximadamente y corresponden a las siguientes subunidades:

Morrenas (Mo)

Acumulaciones glaciares alargadas y colinadas, dispuestas en las laderas superiores de las montañas, los márgenes de valles glaciares o bordeando algunas lagunas. Son comunes y están expuestas con regular extensión en la cuenca.

Algunas vertientes superiores recientemente afectadas por la deglaciación actual muestran acumulaciones detríticas como testigos del cambio climático. Extensas superficies pueden ser vistas en las laderas de los nevados Coropuna y Solimana, por encima de los 4 500 m s. n. m.

Vertiente glaciar o de gelifracción (V-gl)

La cuenca presenta abundantes acumulaciones de sedimentos de formas irregulares que bordean zonas montañosas de litología sedimentaria y volcánica, asociadas a una morfogénesis de origen glacial o periglacial. Su distribución está restringida a altitudes superiores a los 4 400 m s. n. m. Sin embargo, en algunas, como el caso de la subcuenca Colcamayo, se tiene depósitos desde los 3 250 m s. n. m.

La pendiente de estas acumulaciones es normalmente suave a moderada y genera superficies plano-onduladas a levemente inclinadas (< 5°), pudiendo alcanzar pendientes de hasta 15°.

Piedemonte o vertiente glaciofluvial (V-gfl)

Está conformado por sedimentos transportados de formas irregulares que bordean zonas montañosas de litología volcánica. Además, está asociado a una morfogénesis de origen glacial o periglacial. Su distribución está restringida a altitudes superiores a los 4 200 m s. n. m.

Piedemonte o vertiente coluvio-deluvial (V-cd)

Las características geológicas, climáticas y tectónicas de la cuenca han condicionado la ocurrencia de movimientos en masa. Los paisajes originados por estos procesos gravitacionales varían de pequeñas a grandes dimensiones, probablemente detonados por lluvias excepcionales o asociados a eventos sísmicos y sismovolcánicos importantes.

Esta subunidad corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa prehistóricos, antiguos y recientes (deslizamientos, derrumbes y/o movimientos complejos), así como también a acumulaciones sucesivas de material fino y detrítico, movilizado por escorrentía superficial, en las

laderas. Generalmente, se componen de depósitos inconsolidados a ligeramente consolidados. Muestran una composición litológica homogénea si se trata de depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes de áreas fluviales o periglaciares. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Piedemonte o vertiente de detritos (V-d)

Son depósitos inconsolidados acumulados al pie de las laderas de montañas, colinas y acantilados, en forma de taludes de detritos de origen coluvial (fotografías 4.9 y 4.10), de edad reciente, que descienden hacia los valles principales o quebradas tributarias.

Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica homogénea. Sin embargo, su granulometría es variable, con fragmentos angulosos, y su grado de compacidad es bajo (no consolidado).

Están asociados a pequeñas ocurrencias sucesivas de derrumbes (longitud de arranque menores a 5 metros), deslizamientos, flujos y caídas de roca. En algunos sectores, los depósitos de vertientes de detritos son de difícil representación en la escala de trabajo empleada.

Su distribución altitudinal es variable. Se presenta mayormente en las márgenes de los valles tributarios o principales (ríos Cotahuasi, Marán y Ocoña).

Fotografía 4.9 Vertiente de detritos ubicado en el flanco sureste del cerro Teneccacca, margen derecha del río Huarcaya.

Fotografía 4.10 Vertiente de detritos ubicado en el flanco este del cerro Escalera, cerca al caserío Chincayllapa.

Piedemonte o vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Planicie inclinada extendida al pie de los sistemas montañosos o estribaciones andinas, formada por el acarreo de material aluvial, arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional, en ocasiones a manera de flujos y avalanchas de detritos (fotografía 4.11). Se deposita en la desembocadura de las quebradas y está asociada usualmente a lluvias excepcionales.

La pendiente del terreno de esta subunidad geomorfológica varía de 3° a 15° (pendiente suave a moderadamente fuerte).

Dentro del área de estudio, se ha identificado esta subunidad en las desembocaduras de las quebradas Estabilla, Chalhuane, Chiuca, Laigua, Pica, entre otras. También se ha identificado un área importante en la confluencia de los ríos Huarcaya y Pampamarca, área donde se ubica la zona urbana de Cotahuasi.

Fotografía 4.11 Subunidad de vertiente aluvio-torrencial que represó el río Cotahuasi.

Abanico de piedemonte (Ab)

Subunidad compuesta por abanicos de pendiente baja hacia el valle (2º - 15º), formados por acumulaciones de material acarreado por flujos excepcionales (figura 4.3) en las desembocaduras de quebradas y ríos tributarios. Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas que se activan con la presencia de precipitaciones pluviales excepcionales.

Ejemplos de este tipo de subunidad se tiene en la confluencia de quebradas tributarias en cursos de los ríos Ocoña, Marán, Huarcaya y Ojoruro, entre otros.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Superficie nivelada y débilmente inclinada (3° a 5°), adyacente o diferenciable de la terraza fluvial, terraza aluvial y llanura de inundación principal. También suele formarse en la base de las elevaciones montañosas con clara expresión morfológica que se extiende hacia las planicies antiguas; formada principalmente por la fusión de conos de eyección, lo que le da una configuración plana, con curvas de nivel de ondulaciones suaves. Litológicamente está constituida por depósitos aluviales. Las dimensiones varían de unos cuantos metros a decenas de km^2.

Esta subunidad se ubica principalmente rodeando la Laguna de Parinaccochas (fotografía 4.12) y en las cabeceras de cuenca de los ríos Saigua y Bramayo, entre otros.

Altiplanicie aluvial (AP-al)

Se ubica adyacente a la Cordillera de la Costa (entre los sectores Lomas Altas y Pampa del Inti). Es parte de la franja conocida como “pampa costanera”. Presenta terrenos llanos a suavemente ondulados y disectados por las quebradas Pampablanca, Portillo y PampaChica (fotografía 4.13). Está levemente inclinada hacia el suroeste, con altitudes que van desde los 1 300 hasta los 2 200 m s. n. m.

Por las evidencias morfológicas, se presume que esta subunidad se encuentra levantada y controlada por fallamientos.

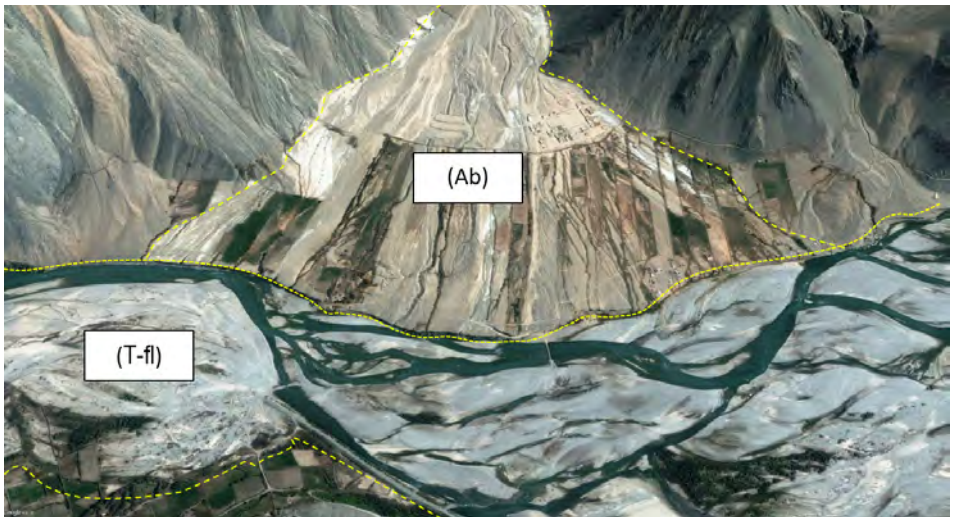
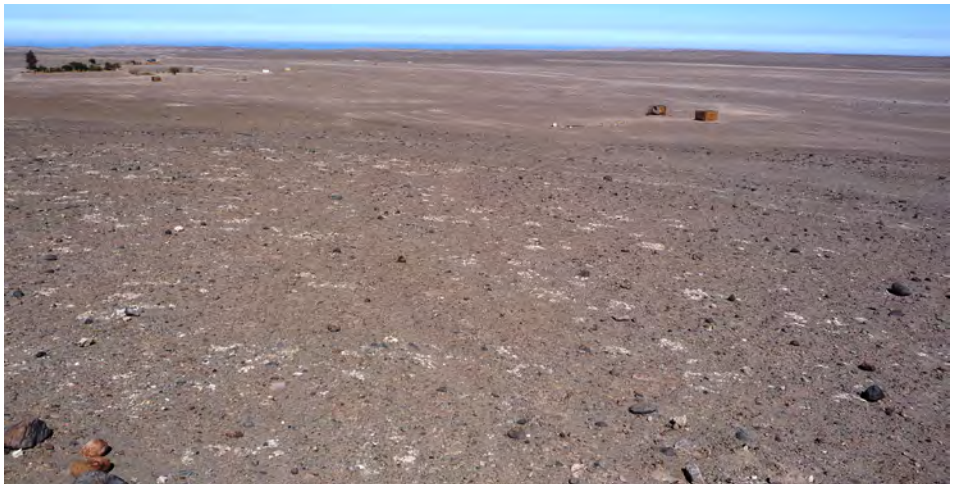


Figura 4.3 En la imagen satelital del 2014, se observa las subunidades de abanico aluvial (Ab) y terraza fluvial (T-fl) ubicadas en el centro poblado Secocha.

Fuente: Google Earth Pro.

Fotografía 4.12 Subunidad de piedemonte aluvial ubicado en las riveras de la Laguna Parinacochas.



Fotografía 4.13 Altiplanicie aluvial sedimentaria ubicada en sector Nuevo Ocoña.

Terraza aluvial (T-al)

Son porciones de terreno alargado ligeramente inclinado (pendiente menor a 2°) que se encuentran dispuestos a los costados del cauce principal del río Ocoña. Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bolos, cantos, gravas con matriz de arenas y limos) que corresponden principalmente a rocas polimígticas. Estos materiales fueron acarreados y depositados por el caudal del río Ocoña y sus afluentes.

Sobre esta subunidad geomorfológica se desarrollan extensas zonas de cultivos y redes viales. Está sujeta normalmente a erosión fluvial (fotografías 4.14 y 4.15).

Fotografía 4.14 Terraza aluvial cubierta por cultivos ubicada en el fondo de valle del río Ocoña.

Fotografía 4.15 Terraza aluvial ubicada en la margen izquierda y en la desembocadura del río Ocoña. También se observa la unidad de ladera modelada en roca sedimentaria y metamórfica.

Terraza fluvial (T-fl)

Corresponde a la llanura de inundación formada por la acción del río Ocoña (fotografía 4.16) al causar erosión y acumulación. El ancho de la llanura de inundación principal varía de 200 m a 900 m. La pendiente longitudinal del valle es inferior a 2°.

Terrazas indiferenciadas (Ti)

Subunidad geomorfológica, conocida también como terrazas poligénicas, agrupa numerosas terrazas de diferentes edades, pero pertenecientes a un mismo ciclo erosivo. Estas terrazas corresponden a fondos de valles tributarios de cauce angosto, que discurren cortando la Cordillera Occidental de los Andes, pero que no ha sido posible diferenciarlas.

Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bloques, bolos, cantos, gravas con escasa presencia de arenas y limos) y composición.

Esta subunidad se ubica principalmente en las márgenes de los ríos Arma, Cotahuasi, Marán, Acopampa, Uchubamba, Oyolo, Mirmaca, Pacapausa, Calpamayo y Pallancata, entre otros.

Bofedal (Bo)

Es un humedal de altura poco extensa con permanente humedad. Los bofedales se forman en zonas como las mesetas andinas ubicadas sobre los 4 000 m s. n. m., en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y, principalmente, afloramientos superficiales de aguas subterráneas.

Mantos de arena (M-a)

Subunidad geomorfológica conformada por la acumulación de arenas eólicas a manera de mantos, los cuales se encuentran cubriendo terrenos planos y laderas de montaña modelada en roca sedimentaria (figura 4.4).

Fotografía 4.16 Terraza fluvial ubicada en el fondo de valle del río Ocoña.

Figura 4.4 Imagen satelital donde se observa el relieve conformado por mantos de arena ubicado al noreste de la localidad de Ocoña.

Fuente: Google Earth Pro.

CAPÍTULO V
ASPECTO HIDROGEOLÓGICO

Para conocer las propiedades hidrogeológicas de rocas y suelos de la cuenca, se ha realizado una caracterización hidrogeológica que toma como base la litología detallada, los puntos de surgencia de aguas subterráneas, la precipitación pluvial, las condiciones de descarga y las propiedades físicoquímicas de las aguas subterráneas que provienen de los acuíferos. Estos parámetros han permitido establecer las unidades hidrogeológicas (mapa 4), es decir, zonificar las rocas y suelos con similares características de almacenamiento y circulación de aguas subterráneas.

El tipo de roca juega un papel importante en la clasificación hidrogeológica. Es el punto de partida para elaborar mapas de litopermeabilidades (elaborados en base al tipo de roca y su permeabilidad).

Los parámetros hidrogeológicos están relacionados a las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas, en particular, a la porosidad eficaz, la permeabilidad y la transmisibilidad, que determinan el volumen de agua subterránea contenida en los acuíferos y el caudal útil que se puede obtener de la roca almacén.

Estas propiedades hidráulicas son importantes para la clasificación hidrogeológica, pues nos permiten conocer las características de las formaciones geológicas con capacidad de almacenar y transmitir las aguas subterráneas, los denominados acuíferos.

El análisis de los datos hidroquímicos y la interpretación de las formaciones geológicas han permitido encontrar características hidrogeológicas de las formaciones geológicas desde el punto de vista regional. La clasificación hidrogeológica, según el tipo de roca, se especifica en cinco grupos regionales (cuadro 5.1)

En el mapa hidrogeológico, se diferencian entre sí las unidades por un color característico y según la trama asignada dentro del grupo al que pertenecen. Además, en esta cuenca se ha añadido una codificación hidrogeológica. Para la representación de colores y símbolos se ha tomado como guía el *Manual Internacional para Elaboración de Mapas Hidrogeológicos, de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos* (AIH) (Struckmeier & Margat, 1995).

La caracterización hidrogeológica de cada una de las formaciones se realizó tomando en cuenta a la geomorfología y la geología como medios de circulación de las aguas subterráneas. Se ha considerado también los parámetros hidrogeológicos de los materiales, como la conductividad hidráulica, la transitividad, la porosidad, la disposición estructural de las fracturas en los materiales y el caudal de descarga que tienen los acuíferos, manifestados en surgencias o manantiales.

El mapa hidrogeológico regional de la cuenca del río Ocoña se presenta a escala 1:200 000 y representa una cartografía hidrogeológica actualizada, realizada en base a un cartografiado geológico a la misma escala. En los cuadros que se mostrarán a continuación (ver cuadros 5.2, 5.3 y 5.4) se observa todos los parámetros hidrogeológicos que sirvieron para la clasificación hidrogeológica, en base a los cuales se elaboró el mapa hidrogeológico final.

Cuadro 5.1

Unidades hidrogeológicas, según el tipo de roca

Tipo de rocas	Unidad hidrogeológica
Materiales recientes, porosos y no consolidados	Acuíferos porosos no consolidados y/o Acuíferos detríticos
Rocas sedimentarias	Acuíferos fisurados y acuitardos
Rocas volcánicas	Acuíferos fisurados y acuitardos
Rocas volcánicas-sedimentarias	Acuíferos fisurados y acuitardos
Rocas intrusivas y metamórficas	Acuitardos y acuífugos

Cuadro 5.2

Descripción litológica, parámetros hidrogeológicos y clasificación hidrogeológica de las formaciones litoestratigráficas en la cuenca del río Ocoña

Unidad litoestratigráfica		Descripción litológica	Conductividad hidráulica (m/día)	Porosidad (%)	**Clasificación** hidrogeológica*
Q-bi	Depósitos de Bofedales	Intercalación de limos, arenas y niveles orgánicos	Limos: 10^{-3}-10 (2), Arenas: 10-10^{4} (2), 0.01-1000 (4)	Limos: 20-50 (2), 34-61 (5) Arenas: 30-40 (2), 31-46 (5)	ATS
Q-flgl	Depósitos Glacio-fluviales	Fragmentos angulosos a subangulosos, materiales de pie de monte	Gravas: 10^{2}-10^{6} (2), 10-10^{5} (4) Arenas: 10-10^{4} (2), 0.01-1000 (4)	Gravas: 25-40 (2), 24-36 (5) Arena: 30-40 (2), 31-46 (5)	APNC
Qh-al	Depósitos Aluvio-fluviales	Gravas, arenas, bloques, fragmentos subangulosos, mal seleccionados en matriz limoarenosa, materiales residuales no consolidados, lahares	Depósitos aluviales: 4.758 (1), 10^{2}-10^{6} (2), 10-10^{5} (4); Arenas: 10-10^{4} (2), 0.01-1000 (4); Conglomerados: 10^{-4}-1 (2); Limos: 10^{-3}-10 (2)	Gravas: 25-40 (2), 24-36 (5); Arenas: 30-40 (2), 31-46 (5); Conglomerados: 5-25 (2); Limos: 20-50 (2), 34-61 (5)	APNC
Qp-an	Grupo Andahua	Lavas andesíticas y basálticas porfiríticas color gris a negro	Flujos de lava: 0.2782-0.3153 (9)	Flujos de lava: 5-20 (9)	AFV
Qp-pau	Formación Pausa	Conglomerados, arenas y lahares	Conglomerados: 10^{-4}-1 (2) Areniscas: 10^{-5}-1 (4)	Conglomerados: 5-25 (2) Areniscas: 5-20 (2)	APVS
Np-an	Formación Andamarca	Tobas ignimbritas, tobas dacíticas, areniscas tobáceas	Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	Tobas: 40 (3)	ATVS
			Areniscas: 10^{-5}-1 (4)	Areniscas: 5-20 (2)	
Np-ar	Formación Arma	Toba gris clara ligeramente rosada, dacítica poco compacta	Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	Tobas: 40 (3)	ATV
Np-se	Formación Sencca	Toba gris clara ligeramente rosada, dacítica poco compacta	Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	Tobas: 40 (3)	ATV
Np-mi	Formación Millo	Conglomerados, areniscas y limolitas poco consolidadas con intercalaciones de tobas retrabajadas	Conglomerados: 10^{-4}-1 (2)	Conglomerados: 5-25 (2)	APS
Nm-n	Grupo Nasca	Conglomerado basal en matriz tobácea, tobas líticas, soldadas y andesíticas	Conglomerados: 10^{-4}-1 (2), Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	Conglomerados: 5-25 (2), Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	ATVS

Continuación...

Unidad litoestratigráfica			Descripción litológica	Conductividad hidráulica (m/día)	Porosidad (%)	**Clasificación** hidrogeológica*
Nm-pi	Formación Pisco		Intercalaciones de areniscas tobáceas poco consolidadas	Areniscas: 10^{-5}-1 (4),10^{-2}-10^{2} (2) Limolitas:8.64*10^{-5} a 12.096*10^{-4} (6) Conglomerados: 10^{-4}-1 (2)	Areniscas: 5-20 (2) Limolitas: 21-41 (5) Conglomerados: 5-25 (2)	ATVS
Nm-cam	Formación Camaná		Areniscas, limolitas, arcillas calcáreas, lentes de conglomerados y coquina	Areniscas: 10^{-5} a 1 (4),10^{-2} a 10^{2} (2) Limolitas: 8.64*10^{-5} a 12.096*10^{-4} (6) Arcillas: 10^{-6} a 10^{-4} (2), 10^{-7} a 10^{-3} (4)	Areniscas: 5 a 20 (2) Limolitas: 21 a 41 (5) Arcilla: 45 a 60 (2), 34 a 60 (5)	ATS
Nm-si	Grupo Sillapaca		Aglomerados volcánicos andesíticos	Andesitas: 0.4-8.64 (1)	Andesitas: 5-20 (11)	ATV
Nm-an	Formación Aniso		Areniscas, intercalaciones de tobas retrabajadas y estratos conglomerádicos	Areniscas: 2.064 (1), 10^{-5} a 1 (4),10^{-2} a 10^{2} (2), Conglomerados: 10^{-4}-1 (2), Tobas: 9.6*10^{-3}(3)	Areniscas: 5-20 (2), Conglomerados: 5-25 (2), Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	AFVS
Nm-al	Formación Alpabamba		Tobas dacíticas a riodacíticas, tobas lapilli, ignimbritas	Tobas: 0.093 a 0.538 (1), 9.6*10^{-3} (3)	Tobas: 40 (3)	ATV
Nm-huay	Formación Huaylillas		Tobas ignimbritas, gris rosadas y tobas retrabajadas, areniscas tobáceas	Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	Tobas: 40 (3)	ATVS
Nm-ich	Grupo Tacaza	Formación Ichicollo	Lavas andesíticas, tobas retrabajadas y brechas	Lavas andesíticas: 0.2782-0.3153 (9)	Lavas andesíticas: 5-20 (9)	AFV
				Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	Tobas: 40 (3)	
PN-t		Grupo Tacaza	Flujos andesíticos, areniscas y limolitas gris violáceas, conglomerados de composición volcánica	Andesitas: 0.2782-0.3153 (9)	Andesitas: 5-20 (9)	AFVS
				Areniscas: 10^{-5} a 1 (4),10^{-2} a 10^{2} (2)	Areniscas: 5-20 (2)	
				Limolitas: 8.64*10^{-5} a 12.096*10^{-4} (6)	Limolitas: 21 a 41 (5)	
PN-o/sr		Formación Orcopampa-Miembro Santa Rosa	Conglomerados, aglomerados y brechas	Conglomerados: 0.338 (1), 10^{-4}-1 (2)	Conglomerados: 5-25 (2)	ATVS
PN-m	Grupo Moquegua	Formación Moquegua	Conglomerados, areniscas tobáceas y limonitas grises	Conglomerados: 10^{-4}-1 (2), Tobas: 9.6*10^{-3}(3)	Conglomerados: 5-25 (2), Tobas: 9.6*10^{-3} (3)	ATS
P-so		Formación Sotillo	Limolitas, limoarcillitas, areniscas limosas gris rojizas a marrones rojizas	Limolitas:8.64*10^{-5}-12.096*10^{-4} (6) Areniscas: 10^{-5}-1 (4),10^{-2}-10^{2} (2)	Limolitas: 21-41 (5) Areniscas: 5-20 (2)	ATS
Kis-a	Formación Arcurquina		Calizas masivas de color gris	Calizas:10^{-2}-10 (2)	Calizas: 1-10 (2), 0-40 (5)	AFS
Ki-mu	Formación Murco		Areniscas, limolitas, lodolitas y limoarcillitas de coloraciones rojizas	Areniscas: 10^{-5}-1 (4),10^{-2}-10^{2} (2) Limolitas: 8.64*10^{-5}-12.096*10^{-4} (6) Lodolitas: 3.81*10^{-7} (8) Limoarcillitas: 6*10^{-3} (9)	Areniscas: 5-20 (2) Limolitas: 21-41 (5) Limoarcillitas: 34 (9)	AFS

Continuación...

Unidad litoestratigráfica			Descripción litológica	Conductividad hidráulica (m/día)	Porosidad (%)	Clasificación hidrogeológica*
Ki-hu	Formación Hualhuani		Areniscas cuarzosas de grano fino a medio, coloraciones blanquecinas	Areniscas: 10^{-5}-1 (4),10^{-2}-10^{2} (2)	Areniscas: 5-20 (2)	AFS
Js-l	Grupo Yura	Formación Labra	Areniscas cuarzosas gris blanquesinas, intercaladas con areniscas calcáreas	Areniscas: 0.799 (1), 10^{-5} a 1 (4),10^{-2}a 10^{2} (2), Lutitas: 3.89*10^{-9} (8)	Areniscas: 5-20 (2) Lutitas: 0-10 (5), 15 (7)	AFS
Jm-ca		Formación Cachios	Lutitas deleznables, arenisca calcáreas con nódulos calcáreos	Areniscas: 10^{-5}-1 (4),10^{-2} -10^{2} (2) Lutitas: 3.89*10^{-14} (8)	Areniscas: 5-20 (2) Lutitas: 0-10 (5), 15 (7)	ATS
Jm-so	Formación Socosani		Calizas grises, fosilíferas, lutitas negras carbonosas	Calizas:10^{-2}-10 (2) Lutitas: 3.89*10^{-14} (8)	Calizas: 1-10 (2), 0-40 (5) Lutitas: 0-10 (5), 15 (7)	ATS
Ji-cho	Formación Chocolate		Lavas andesíticas, areniscas, microconglomerados y brechas	Flujos de Lava: 0.2782-0.3153 (9)	Flujos de Lava: 5-20 (9)	ATVS
PET-m	Grupo Mitu		Conglomerados, areniscas, brechas, lavas y tobas de cenizas	Areniscas: 10^{-5} a 1 (4),10^{-2}a 10^{2} (2), Conglomerados: 10^{-4}-1 (2), Tobas: 9.6*10^{-3} (3), Flujos de Lava: 0.2782-0.3153 (9)	Areniscas: 5-20 (2) , Conglomerados: 5-25 (2), Tobas: 9.6*10^{-3} (3), Flujos de Lava: 5-20 (9)	ATVS
Cp-t	Grupo Tarma		Areniscas cuarzosas, limolitas y lutitas	Areniscas: 10^{-5}-1 (4),10^{-2} -10^{2} (2) Limolitas: 8.64*10^{-5}-12.096*10^{-4} (6) Lutitas: 3.89*10-14 (8)	Areniscas: 5-20 (2) Limolitas: 21-41 (5) Lutitas: 0-10 (5), 15 (7)	ATS
Cm-a	Grupo Ambo		Areniscas, limoarcillitas y calizas grises	Areniscas: 10^{-5}-1 (4), Calizas:10^{-2}-10 (2), Limoarcillitas: 6*10^{-3} (9)	Calizas: 1-10 (2), Areniscas: 5-20 (2), Limoarcillitas: 39 (7)	ATS
O-bac-di	Batolito Atico-Camaná		Diorita	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas: 10^{-5}-1 (4)	Rocas ígneas y metamórficas fracturadas: 1-10 (10)	ATI
P-cbc-gn,esq,gra	Complejo Basal de la Costa		Gneis, esquisto, granulita	Gneis: 10^{-5} a 1 (2)	Gneis: 0.1 (3), 10^{-9}a 10^{-6} (2)	AGM

*Clasificación hidrogeológica: ATS: Acuitardo Sedimentario; APNC: Acuífero Poroso No Consolidado; AFV: Acuífero Fisurado Volcánico; APVS: Acuífero Poroso Volcánico-Sedimentario; ATVS: Acuitardo Volcánico Sedimentario; ATV: Acuitardo Volcánico; APS: Acuífero Poroso Sedimentario; ATS: Acuitardo Sedimentario; AFS: Acuífero Fisurado Sedimentario; ATI: Acuitardo Intrusivo; AGM: Acuífugo Metamórfico.

Datos recopilados de: (1): ensayos de permeabilidad realizados en el campo; (2): Gregory & Walling, 1985; (3): Benítez, 1972; (4): Smith & Weathcraft, 1993; (5): Davis, 1969; Johnson, 1962; (6): Domenico & Schwartz, 1998; (7): Davis, 1969; (8): Davis, 1988; Kalyoncu and Snyder, 1977; (9): Peña *et al*., 2010; (10): Sanders, 1998.

Cuadro 5.3

Descripción litológica, parámetros hidrogeológicos y clasificación hidrogeológica de los cuerpos intrusivos y depósitos subvolcánicos en la cuenca del río Ocoña

Formación geológica			Descripción litológica	Conductividad hidraulica (m/día)	Porosidad (%)	**Clasificación** hidrogeológica
NQ-and	Andesita		Subvolcánico Andesita	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9)	Andesitas: 5-20 (9)	ATV
N-ri	Riolita		Subvolcánico Riolita	Riolita: 10^{-9} a 10^{-5} (6)	Riolita: 0.01 a 1 (10)	
N-and	Andesita		Subvolcánico Andesita	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9)	Andesitas: 5-20 (9)	
N-da	Dacita		Subvolcánico Dacita	Dacita: 10^{-9} a 10^{-5} (6)	Dacita: 0.01 a 1 (10)	
N-col-tn	Colcabamba		Tonalita	Tonalita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Tonalita:0.01 a 1 (10)	ATI
N-p-tn	Pacapausa-Tonalita		Tonalita	Tonalita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Tonalita:0.01 a 1 (10)	ATI
PN-pand	Pórfidos	Andesítico	Pórfido Andesítico	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9)	Andesitas: 5-20 (9)	ATI
PN-pda		Dacítico	Pórfido Dacítico	Dacita: 10^{-9} a 10^{-5} (6)	Dacita: 0.01 a 1 (10)	ATI
PN-mz	Monzonita		Monzonita	Monzonita: 10^{-9} a 10^{-5} (6)	Monzonita: 0.01 a 1 (10)	ATI
PN-cdi	Cuarzodiorita		Cuarzodiorita			ATI
PN-la	Latita		Latita			ATI
Pp-di	Diorita		Diorita	Diorita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Diorita:0.01 a 1 (10)	ATI
Pp-gb,di	Gabro, diorita		Gabro, diorita	Diorita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Diorita:0.01 a 1 (10), Gabro: 0.1-0.2	ATI
Ks-bc/i-tn	Batolito de la costa	S. U. Inca-huasi	Tonalita	Tonalita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Tonalita:0.01 a 1 (10)	ATI
Ks-bc/l-mz		S. U. Linga	Monzonita	Monzonita: 10^{-9} a 10^{-5} (6)	Monzonita: 0.01 a 1 (10)	ATI
Ks-bc/pt-di		S. U. Patap	Diorita	Diorita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Diorita: 0.01 a 1 (10)	ATI
Ks-bc/t-di		S. U. Tiabaya	Diorita	Diorita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Diorita: 0.01 a 1 (10)	ATI
Ks-bc/t-gd,tn			Granodiorita, tonalita	Granito:10^{-7} a 10^{-3}(2); 0.3 a 5 (4) Tonalita: 10^{-9} a 10^{-5} (4)	Granito:10^{-5} a 10 (2) Tonalita: 0.01 a 1 (10)	ATI
Ks-da	Dacita		Subvolcánico Dacita	Dacita: 10^{-9} a 10^{-5} (6)	Dacita: 0.01 a 1 (10)	ATV
Ks-and	Andesita		Subvolcánico Andesita	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9)	Andesitas: 5-20 (9)	
J-gd	Granodiorita		Granodiorita			ATI
				Granito:10^{-7} a 10^{-3} (2); 0.3 a 5 (4)	Granito:10^{-5} a 10 (2)	
PT-gr	Granito		Granito			ATI
				Granito:10^{-7} a 10^{-3} (2); 0.3 a 5 (4)	Granito:10^{-5} a 10 (2)	

Datos recopilados de: (2): Gregory & Walling, 1985; (4): Smith and Weathcraft, 1993; (6): Domenico & Schwartz, 1998; (10): Sanders, 1998.

Cuadro 5.4

Descripción litológica, parámetros hidrogeológicos y clasificación hidrogeológica de los cuerpos volcánicos en la cuenca del río Ocoña

Formación geológica		Descripción litológica	Conductividad hidráulica (m/día)	Porosidad (%)	**Clasificación** hidrogeológica
Q-br1	Grupo Barroso	Andesitas basálticas gris oscuras, tobas.	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9), Tobas: $9.6*10^{-3}$ (3)	Andesitas: 5-20 (9); Tobas: 40 (3)	ATV
Q-br2		Lavas andesíticas afíricas, afaníticas, tobas dacíticas a riodacíticas.	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9), Tobas: $9.6*10^{-3}$ (3)	Andesitas: 5-20 (9); Tobas: 40 (3)	AFV
N-br1		Andesitas basálticas, brechas piroclásticas, tobas, intercalación de lavas andesíticas y tobas dacíticas.	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9), Tobas: $9.6*10^{-3}$ (3)	Tobas: 40 (3), Andesitas: 5-20 (9)	ATV
N-br2		Lavas andesíticas afíricas, afaníticas, tobas dacíticas a riodacíticas, coladas volcánicas, lavas andesíticas, lavas dacíticas lavas porfídicas, lavas vesiculares; tobas ignimbríticas, tobas dacíticas, areniscas tobáceas.	Andesitas: 0.574 a 3.386 (1), 0.2782-0.3153 (9), Tobas: $9.6*10^{-3}$ (3)	Tobas: 40 (3), Andesitas: 5-20 (9)	AFV

Datos recopilados de: (1): ensayos de permeabilidad realizados en el campo; (3): Benítez, 1972; (9): Peña *et al*., 2010.

5.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

En el área de estudio, existe evidencia de procesos tectónicos que condicionaron la sedimentación y las características litológicas de las formaciones geológicas. Estas características litológicas y estructuras condicionan el límite de los sistemas de acuíferos, la geometría de las unidades hidrogeológicas, las áreas de recarga y descarga y las direcciones de flujo de las aguas subterráneas. En la cuenca del río Ocoña, se puede diferenciar tres clases de materiales hidrogeológicos (mapa 04): acuíferos, acuitardos y acuífugos.

5.1.1 Acuíferos

Según su litología, extensión y productividad; los acuíferos se han clasificado en dos grupos.

- Acuíferos fisurados o fracturados:
  - Fisurados volcánicos
  - Fisurados volcánico-sedimentarios
  - Fisurados sedimentarios
- Acuíferos porosos:
  - Porosos no consolidados
  - Porosos sedimentarios
  - Porosos volcánico-sedimentarios

a) Acuíferos fisurados o fracturados

Corresponden a sedimentos del cuaternario, rocas sedimentarias y rocas volcánicas, que se encuentran altamente fracturados, donde la permeabilidad varía de acuerdo con la densidad, tamaño y abertura de las fracturas. La conexión hidráulica entre las fracturas es un factor determinante para el cálculo de la conductividad hidráulica.

En zonas donde las estructuras son mayores, como anticlinales y sinclinales, la parte más deformada presenta mayor cantidad de fracturas; por lo tanto, la conductividad hidráulica aumenta. En otros sectores, donde existen afloramientos inclinados, con litologías cristalinas y suaves, las fracturas predominantes se encuentran a lo largo de los planos de estratificación.

Las velocidades del agua a través de fracturas individuales son extremadamente altas, aunque usualmente ocupan solo una pequeña parte del acuífero, por lo que el promedio del flujo volumétrico puede ser bajo. En las rocas sedimentarias y volcánicas, las fracturas constituyen el componente principal para la circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas, las cuales a su vez dependen de la edad de las rocas, densidad e intensidad, así como de su relación con estructuras similares como la deformación, que condicionan el almacenamiento y los límites del acuífero.

Para diferenciar mejor las propiedades de los acuíferos fisurados, se les ha separado en tres grupos: Acuíferos fisurados volcánicos, Acuíferos fisurados volcánicos sedimentarios y Acuíferos fisurados sedimentarios (figura 5.1):

Acuíferos fisurados volcánicos

Las rocas volcánicas formadas a partir de materiales fundidos a gran temperatura y a distintas profundidades desarrollan fracturas por enfriamiento y cristalización, que poseen grandes propiedades hidráulicas. La actividad tectónica producida en la Cordillera de los Andes contribuye a la formación de numerosas fracturas y fallas regionales y origina alta porosidad secundaria. Dentro de la cuenca del río Ocoña, afloran rocas volcánicas de edad Paleógeno y Neógeno, compuestas por andesitas, flujos de lava y piroclastos. La susceptibilidad por los movimientos en masa es baja.

Abarcan un área total de aproximadamente 3 669 km^2, cubriendo el 23 % de la superficie total de la cuenca (15 913.22 km^2).

Por la presencia de fracturas, presentan valores altos de conductividad hidráulica, del orden de 0,3 m/día (Peña *et al*., 2010). Existen varios grupos de origen volcánico en la cuenca y presentan grandes condiciones de ser acuíferos fisurados. Estos son:

Acuíferos fisurados volcánicos "Barroso" (AFV-br2). Estos acuíferos agrupan todos los depósitos volcánicos del Barroso. Litológicamente están compuestos esencialmente por lavas andesíticas afíricas, y, en menor proporción, por lavas dacíticas y tobas dacíticas a riodacíticas.

Estos depósitos presentan buena permeabilidad por la presencia de numerosas fracturas en las lavas. Los ensayos de infiltración realizados en varios depósitos de lavas estimaron una conductividad hidráulica elevada, variando entre 0.574 y 3.386 m/día.

Se encuentra, además, numerosas surgencias de aguas subterráneas en forma de manantiales, con caudales que varían de la séptima a la tercera categoría.

Acuífero fisurado volcánico Ichicollo (AFV-ich). Este acuífero se encuentra en el borde noreste de la cuenca, en el sector de la laguna Huanso. Litológicamente está compuesto por lavas andesíticas, tobas retrabajadas y brechas. Presenta una extensión limitada. Se encuentra muy pocas surgencias de aguas subterráneas, de bajo caudal (sexta categoría).

Acuífero fisurado volcánico Andahua (AFV-an). Aflora en la parte noreste de la cuenca, en el sector del poblado de Pucya, bajo la forma de dos afloramientos de extensión reducida. Litológicamente está compuesto por lavas andesíticas y basálticas porfiríticas color gris a negro. Se estima que la conductividad hidráulica de las lavas andesíticas varía de 0.2782 a 0.3153 m/día, para una porosidad entre 5 % y 20 % (Peña *et al*., 2010). No se evidencia surgencias de agua subterránea.

Acuíferos fisurados volcánicos sedimentarios

En estos materiales, la permeabilidad de las rocas queda circunscrita a las fracturas de las rocas volcánicas y a la esquistosidad de las rocas sedimentarias, que actualmente dividen a la matriz de las rocas en patrones muy variables. Estos elementos y las fallas interconectadas son los únicos que pueden permitir interconexiones que generen vías preferenciales de percolación de agua subterránea (la interconexión de los espacios libres, por donde circula el agua, se puede ver facilitada en aquellos casos donde existen materiales solubles, como el $CaCO_3$). En la cuenca del río Ocoña, se identificaron dos formaciones geológicas que se pueden caracterizar como acuíferos fisurados volcánicos sedimentarios: la Formación Aniso y el Grupo Tacaza. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Estos acuíferos, con una superficie total de 1 408 km^2, cubren aproximadamente el 8.8 % del área de la cuenca y se clasifican en:

Acuífero fisurado volcánico sedimentario Aniso (AFVS-an). Litológicamente está compuesto por areniscas, intercalaciones de tobas retrabajadas y estratos conglomerádicos. Se observa un afloramiento mayor en la parte norte de la cuenca; altamente afectado por fallas, con la presencia de numerosas surgencias de agua subterránea en forma de manantiales; con caudales de 0,5 a 6 l/s. Otro grupo de afloramientos, de menor extensión, se encuentra al oeste de la laguna Parinacochas, donde se evidencia algunas fuentes de aguas subterráneas. Más aún, al noreste del río Pacapausa; el acuífero Aniso descansa sobre el acuitardo volcánico Alpabamba.

El acuífero Aniso abarca un área total de unos 893 km^2; es el más importante de los acuíferos fisurados volcánicos sedimentarios.

Según la bibliografía, se estima que la conductividad hidráulica de las areniscas está entre 10-2 y 102 m/día, y su porosidad entre 5 y 20 % (Gregory & Walling, 1985). Un ensayo de infiltración realizado en el campo confirma estos datos, estimando una conductividad hidráulica de 2 064 m/día.

Acuífero fisurado volcánico sedimentario Tacaza (AFVS-t). Aflora en la parte noroeste de la cuenca, donde hay varios afloramientos en el piso del valle del cañón de Pacapausa. Litológicamente está compuesto por flujos andesíticos, areniscas y limolitas gris violáceas, con conglomerados de composición volcánica. Abarca un área de unos 431 km^2.

En el área que ocupa el acuífero fisurado volcánico sedimentario Tacaza, se observa numerosas surgencias de aguas subterráneas en forma de manantiales, que salen por las laderas del cañón y cuyos caudales varían de 0.5 l/s a 60 l/s (Manantial captado Paracsa).

Acuíferos fisurados sedimentarios

Estos acuíferos son muy heterogéneos. La densidad de fracturas, fallas y diaclasas varía en distintos sectores de la zona de recarga. Por ello, en diferentes surgencias de agua, cercanas a la zona de recarga, estas tienen características fisicoquímicas diferentes. Para que un acuífero fisurado sedimentario realmente funcione como reservorio de aguas subterráneas, las fracturas deben estar abiertas e interconectadas unas con otras y con la superficie para poderse recargar. En la cuenca del río Ocoña, generalmente, estos acuíferos están constituidos por calizas, areniscas cuarzosas y cuarcitas intercaladas con lutitas y limolitas que afloran en la parte media y alta de la cuenca. Incluso, la mayoría de estas rocas se encuentran plegadas y muy fracturadas; es decir, con porosidad secundaria importante, lo que les permite almacenar y transmitir aguas subterráneas. Geológicamente, estos acuíferos fisurados sedimentarios están representados en la cuenca por las siguientes formaciones: Labra, Hualhuani, Murco y Arcurquina. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Abarcan un área total de unos 524 km^2 y cubren alrededor del 3.3 % de la cuenca del río Ocoña. Se dividen en:

Acuífero fisurado sedimentario Labra (AFS-l). Está compuesto por areniscas cuarzosas gris blanquesinas, intercaladas con areniscas calcáreas. Se observa afloramientos discontinuos en la parte baja de la cuenca, en el sector de Iquipi y San Juan de Chorunga. Otros afloramientos de poca extensión se encuentran también en la parte alta de la cuenca, en los sectores de la laguna Parinacochas, San Sebastián de Sacraca, y Velinga. Los ensayos de infiltración realizados en el campo estiman la conductividad hidráulica de las areniscas de la Formación Labra en 0.799 m/día, por una porosidad de 5 a 20 %, según los datos recopilados por Gregory & Walling (1985). En el presente acuífero no se observa surgencias de aguas subterráneas.

Acuífero fisurado sedimentario Hualhuani (AFS-hu). Litológicamente está compuesto por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, con coloraciones blanquecinas. Aflora en la parte alta de la cuenca, donde evidencia varios afloramientos dispersos. En los sectores de Pacapausa y de la laguna Matucocha, son de poca extensión. En los sectores de Cotahuasi, Velinga, Colta y San José de Ushua, los afloramientos presentan mayor extensión. Smith & Weathcraft (1983) estiman la permeabilidad de las areniscas entre 10^{-5} a 1 m/día. Gregory & Walling (1985) estiman la permeabilidad de las areniscas entre 10^{-2} a 10^{2} m/día, por una porosidad de 5 % a 20 %. No se evidencia surgencias de aguas subterráneas en este acuífero.

Acuífero fisurado sedimentario Murco (AFS-mu). Aflora de manera discontinua en la parte media-alta de la cuenca, donde se observa afloramientos en los sectores de la laguna Parinacochas, Colta, Velinga y Toro. Litológicamente está compuesto por areniscas, limolitas, lodolitas y limoarcillitas de coloraciones rojizas. Este acuífero es de bajo rendimiento, producto de la presencia de capas de limolitas que presentan una conductividad hidráulica de 8.64 x 10^{-5} a 12.096 x 10^{-4} m/día (Domenico and Schwartz, 1998) y una porosidad de 21 a 41 % (Davis, 1969). No se evidencia surgencias de aguas subterráneas en el acuífero descrito.

Acuífero fisurado sedimentario Arcurquina (AFS-a): Litológicamente está compuesto por estratos de calizas masivas de color gris. Se encuentran varios afloramientos en la parte media-alta de la cuenca, al sur de la laguna Parinacochas, donde se encuentra altamente plegado y fallado, entre los poblados de Colta y San José de Ushua, así mismo, Taurisma y la Quebrada Huaccaccmama. Otro afloramiento de tamaño reducido se encuentra a unos 15 km al este del poblado de Aniso. Se estima la conductividad de las calizas de la Formación Arcurquina entre 10^{-2} a 10 m/día (Gregory & Walling, 1985) y su porosidad entre 1 y 40 % (Davis, 1969; Gregory & Walling, 1985). Se evidencia pocas surgencias de agua subterránea, algunas con caudales altos (Manantial San Gabriel 4, Q=25 l/s, fotografía 5.1)

b) Acuíferos porosos

Dentro de esta clasificación, se consideró a los materiales que se encuentran rellenando los valles, los depositados en altiplanicies y los materiales de la planicie costanera, así como algunos depósitos volcánicos.

Son formaciones detríticas, no consolidadas, porosas y permeables, compuestas en su gran mayoría por depósitos recientes. En los depósitos fluviales, aluviales, fluvioglaciares y morrénicos, los fragmentos rocosos predominantes son las arenas y gravas (con clastos redondeados a angulosos), las cuales tienen propiedades permeables que facilitan la libre circulación y el almacenamiento de las aguas subterráneas en su interior, condicionados generalmente por un substrato base con características impermeables. En estos depósitos también se encuentra sedimentos finos, como horizontes limo arcillosos, y esporádicos bancos de arcilla. En los depósitos volcánicos predominan los conglomerados, arenas y lahares.

Fotografía 4.15 Acuífero Arcurquina, compuesto por estratos de calizas grises masivas en el sector de la laguna Matucocha. Nótese la surgencia de aguas subterráneas procedentes del acuífero, que forman el manantial San Gabriel 4, con un caudal alto de 25 l/s.

En la cuenca del río Ocoña estos acuíferos están representados por depósitos fluviales, aluviales, fluvioglaciares y volcánicos que, de acuerdo con su extensión y productividad, los dividimos en dos grupos:

Grupo I: Acuíferos porosos no consolidados (APNC), regionales de extensión continua y discontinua, de mediana productividad. Este grupo está representado por los depósitos aluviales y fluviales.

Grupo II: Acuíferos porosos sedimentarios (APS), discontinuos de extensión local y de baja a mediana productividad. Este grupo está representado por depósitos fluvioglaciares, volcánicos y sedimentarios.

Estos acuíferos son importantes porque sus características porosas permiten un buen almacenamiento y una circulación rápida de las aguas subterráneas. Abarcan una superficie total de unos 2 698 km^2, cubriendo alrededor del 17 % de la cuenca del río Ocoña, y se clasifican en:

Acuíferos porosos no consolidados

Acuíferos porosos no consolidados aluviales (APNC-al). Afloran principalmente en la línea de costa y el valle de Ocoña, aunque también se observa afloramientos discontinuos y esporádicos en la parte media y alta de la cuenca. Litológicamente los depósitos aluviales varían según la posición de los afloramientos. En las partes altas de los ríos está conformado por bloques y conglomerados redondeados a subangulosos heterogéneos, heterométricos e inconsolidados en una matriz arenosa gruesa. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Los ríos tributarios forman abanicos con material clasificado, así como flujos de lodo y de escombros, formando terrazas a lo largo de las quebradas principales. Algunos depósitos aluviales tienen espesores que alcanzan las decenas de metros, por lo que se convierten en importantes acuíferos. Hacia la parte alta se observa la surgencia de manantiales de bajo caudal, en contacto con acuitardos volcánicos. Ensayos de infiltración realizados en el sector de la laguna Parinacochas estimaron la conductividad hidráulica de los depósitos aluviales en 4 758 m/día.

Son los acuíferos porosos de mayor extensión y cubren un área de 1 210.5 km^2 (8 % del área total de la cuenca).

Acuíferos porosos no consolidados glaciofluviales (APNC-glfl). Se observa afloramientos locales y discontinuos entre la parte media y alta de la cuenca. Litológicamente cambian de ambiente de sedimentación a corta distancia, mezcla heterogénea y heterométrica de clastos angulosos a subangulosos considerando una naturaleza volcánica; también depósitos con brechas y cantos rodados arrastrados por glaciares.

Estos depósitos presentan una alta permeabilidad y porosidad. Gregory & Walling (1985) estiman la conductividad hidráulica de las gravas entre 10^2 a 10^6 m/día, por una porosidad de 25 a 40 %. Smith and Weathcraft (1993) indican una conductividad hidráulica de 10 a 10^5 m/día para las gravas.

Se evidencia numerosas surgencias de aguas subterráneas, bajo la forma de manantiales en esta subunidad.

Acuíferos porosos sedimentarios

Los componentes de este tipo de acuíferos son materiales detríticos, generalmente, conglomerados formados por clastos redondeados a subredondeados de roca volcánica, sedimentaria e intrusiva. El factor predominante en este tipo de acuíferos es su porosidad. En la cuenca Ocoña están representados por la Formación Moquegua y la Formación Millo. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuífero poroso sedimentario Moquegua (APS-m). Aflora en la parte baja de la cuenca. Litológicamente está compuesto en su mayoría por conglomerados y, en menor proporción, por areniscas tobáceas y limonitas grises. Es un acuífero de extensión local. La permeabilidad de los conglomerados se estima en 10^{-4} a 1 m/día, por una porosidad de 5 a 25 % (Gregory & Walling, 1985), por lo cual se define al acuífero Moquegua como un acuífero de productividad moderada, aunque no se observa surgencias de aguas subterráneas.

Acuífero poroso sedimentario Millo (APS-mi). Aflora de manera muy limitada en el sector del poblado de Urasqui, distrito Mariano Nicolás Valcárcel, en la parte baja de la cuenca. Está compuesto mayoritariamente por conglomerados y se observa en menor proporción areniscas y limolitas poco consolidadas con intercalaciones de tobas retrabajadas. Acuífero de extensión local, de acuerdo con su porosidad y permeabilidad, se consideró que es un acuífero poroso sedimentario; sin embargo, no se observa evidencias de aguas subterráneas.

Acuífero poroso volcánico-sedimentario

Acuífero poroso volcánico sedimentario Pausa (APVS-pau). Aflora en la parte media de la cuenca, con afloramientos discontinuos y de extensión limitada en los poblados de Pausa, San José de Ushua, Lampa, Marcabamba y Huataca, en la provincia Páucar del Sara Sara. Litológicamente consta de areniscas tobáceas de grano fino a medio color gris amarillento, arcillas tobáceas de color blanco amarillento en estratificación delgada, arenas lapilliticas, piroclastos redepositados, piroclastos de grano grueso, tobas, cineritas y bombas andesíticas semiredondeadas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Es un acuífero de extensión local y de productividad mediana, con algunas raras surgencias de aguas subterráneas, bajo la forma de manantiales, de bajo caudal (≈1 l/s), a proximidad del poblado de Mirmaca Nuevo, en el distrito Pausa.

5.1.2 Acuitardos

Son formaciones geológicas que tienen la capacidad de almacenar aguas subterráneas, pero las transmiten muy lentamente. En términos económicos, son materiales improductivos e impermeables. En la cuenca del río Ocoña conforman unidades hidrogeológicas con mayor superficie y se ubican principalmente en la parte central y cabecera de la cuenca. En general, comprenden rocas ígneas (acuitardos intrusivos y volcánicos) y rocas sedimentarias antiguas y compactadas, o gran contenido de materiales finos, aunque existen formaciones de baja permeabilidad o impermeables en terrenos volcánicos y volcánicos sedimentarios. Algunos materiales intrusivos se encuentran fracturados en la parte superficial, producto del intemperismo y el tectonismo de la zona. En estos materiales la única forma de circulación que tiene el agua subterránea es a través de fallas o fracturas regionales.

Los acuitardos ocupan gran parte de la cuenca; abarcan un área total de 7 035.8 km^2 (alrededor del 44 % del área de la cuenca del río Ocoña).

De acuerdo con su distribución en la cuenca, los acuitardos se clasifican en:

- Acuitardos sedimentarios (ATS)
- Acuitardos volcánicos sedimentarios (ATVS)
- Acuitardos volcánicos (ATV)
- Acuitardos intrusivos (ATI)

a) Acuitardos sedimentarios

Acuitardos sedimentarios biogénicos (ATS-bi). Bajo esta categoría se agrupan los depósitos de bofedales. Afloran de manera muy esporádica, en la parte alta de la cuenca. Litológicamente están compuestos por intercalación de limos, arenas y niveles orgánicos. Estos materiales presentan porosidades altas, del orden de 20 a 50 % para los limos y 30 a

40 % para las arenas (Gregory and Walling, 1985). Sin embargo, debido a la extensión muy limitada, la ausencia de surgencias de aguas subterráneas y el hecho que estos materiales se encuentran saturados en agua, sobre todo en los poros de las arcillas, se considera a estos depósitos como acuitardos. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Acuitardo sedimentario Camaná (ATS-ca). Aflora en la parte media de la cuenca, de manera discontinua. Se observa afloramientos de poca extensión en los sectores de los poblados de San Sebastián de Sacraca, Velinga, y al sur de la quebrada Tanisca, distrito Lampa. Litológicamente está compuesto por areniscas, limolitas, arcillas calcáreas, lentes de conglomerados y coquina. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Presenta permeabilidades bajas, producto de la presencia de las limolitas y de las arcillas, con conductividades hidráulicas respectivas de $8{,}64.10^{-5}$ a $12{,}1.10^{-4}$ m/día (Domenico & Schwartz, 1998) y 10^{-7} a 10^{-3} (Smith & Weathcraft, 1993). No se encuentra surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Acuitardo sedimentario Sotillo (ATS-so). Aflora en la parte baja de la cuenca, infrayaciendo al acuífero Moquegua. Litológicamente está compuesto por limolitas, limoarcillitas, areniscas limosas gris rojizas a marrones rojizas. De extensión local, este acuitardo presenta baja permeabilidad por la presencia de las limolitas, cuya conductividad hidráulica puede estimarse en $8{,}64.10^{-5}$ a $12{,}096.10^{-4}$ m/día (Domenico and Schwartz, 1998). No se evidencia surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Acuitardo sedimentario Cachios (ATS-ca). Aflora en la parte media de la cuenca, donde hay afloramientos de poca extensión en los sectores de Velinga y San Sebastián de Sacraca. Litológicamente está compuesto por lutitas deleznables y areniscas calcáreas con nódulos calcáreos. Es un acuitardo de muy baja permeabilidad por la presencia de las lutitas, donde no se observa surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Acuitardo sedimentario Socosani (ATS-so). Aflora en la parte media de la cuenca. Se evidencia un solo afloramiento de poca extensión, en el sector del poblado de Tauría, sobreyaciendo a la Formación Chocolate y limitado al noreste por una falla normal, lo que lo pone en contacto con el Grupo Tacaza y la Formación Hualhuani. Litológicamente está conformado por calizas grises, fosilíferas y lutitas negras carbonosas. Presenta permeabilidad muy baja, de $3{,}89.10^{-14}$ m/día (Davis, 1988). No se encuentra surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Acuitardo sedimentario Tarma (ATS-t). Se observa un único afloramiento, de extensión muy reducida, en el sector de la ciudad de Ocoña. Litológicamente está compuesto por areniscas cuarzosas, limolitas y lutitas. No se encuentra surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

Acuitardo sedimentario Ambo (ATS-a). Aflora en el extremo sur de la cuenca, en el sector de la ciudad de Ocoña. Se observa dos afloramientos ubicados a los costados del río Ocoña. Litológicamente está compuesto por areniscas, limoarcillitas y calizas grises. No se observa surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es alta.

b) Acuitardos volcánico-sedimentarios

Acuitardo volcánico-sedimentario Andamarca (ATVS-an). Aflora de manera discontinua en la extremidad noroeste de la cuenca. Litológicamente está compuesto por tobas ignimbríticas, tobas dacíticas y areniscas tobáceas. Se evidencia algunas surgencias de aguas subterráneas, de bajo caudal. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico-sedimentario Nasca (ATVS-n). Se evidencia un único afloramiento, de poca extensión, en la parte baja de la cuenca, al noroeste del poblado de Yanaquihua. Litológicamente está conformado por un nivel conglomerádico basal en matriz tobácea, tobas líticas soldadas y andesíticas. En esta unidad no se observa surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico-sedimentario Pisco (ATVS-pi). Se evidencia tres afloramientos de extensión limitada en la parte baja de la cuenca. Litológicamente está compuesto por intercalaciones de areniscas tobáceas poco consolidadas. No se evidencia surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico-sedimentario Huaylillas (ATVS-huay). Aflora en el sector de la laguna Parinacochas, donde se evidencia un primer grupo de afloramientos de mayor extensión al sur de la laguna, y un segundo grupo de afloramientos, de extensión muy reducida, al norte de la laguna. Litológicamente está conformado por tobas ignimbríticas gris rosadas, tobas retrabajadas y areniscas tobáceas, que le otorgan una permeabilidad baja, estimada en $9{,}6.10^{-3}$ m/día (Benítez, 1972). No se evidencia surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico-sedimentario Orcopampa (ATVS-o/sr). Se observa varios afloramientos diseminados en la parte noreste de la cuenca, de extensión variable. Litológicamente este acuitardo está compuesto por conglomerados, aglomerados y brechas.

El afloramiento de mayor extensión se encuentra en el distrito de Puyca, donde se evidencia varias surgencias de aguas subterránes, bajo la forma de manantiales y fuentes termales, con caudales variando de 1,2 l/s a 20 l/s. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Gregory and Walling (1985) estiman la conductividad hidráulica de los conglomerados entre 10-4 a 1 m/día. Un ensayo de infiltración realizado al noroeste de Puyca confirma estos números, y señala una permeabilidad de 0,338 m/día para los conglomerados de la Formación Orcopampa.

Acuitardo volcánico-sedimentario Chocolate (ATVS-cho). Litológicamente está compuesto por lavas andesíticas, areniscas, microconglomerados y brechas. Aflora en el sector de Tauría. Es un acuitardo de extensión limitada, donde no se encuentra surgencias de agua subterránea. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico-sedimentario Mitú (ATVS-mi). Está constituido por niveles de areniscas, conglomerados, brechas, lavas y tobas de cenizas. Consiste en un pequeño afloramiento ubicado en el sur de la cuenca, donde no se observa surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

c) Acuitardos volcánicos

Acuitardos subvolcánicos (ATV-and, ATV-ri, ATV-da). Se presenta bajo la forma de pequeños afloramientos de extensión muy limitada. Litológicamente están compuestos por depósitos subvolcánicos de andesita, dacita y riolita. Presentan valores muy bajos de conductividad hidráulica, a excepción de las andesitas, cuya permeabilidad se estima en 0.28 a 0.32 m/día (*Peña et al.*, 2010). Sin embargo, debido a la extensión muy limitada de estos afloramientos de andesita, se les considera acuitardos. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico Arma (ATV-ar). Aflora en la parte media este de la cuenca. Se evidencia dos grupos de afloramientos. Uno, de mayor extensión, al suroeste del poblado de Toro; y otro, al este del distrito de Alca. Litológicamente este acuitardo está compuesto por tobas dacíticas poco compactas, de color gris claro a ligeramente rosado. Se estima la conductividad hidráulica de las tobas en $9{,}6.10^{-3}$ m/día, por una porosidad del orden de 40 % (Benítez, 1972). En esta unidad no se encuentra surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico Sencca (ATV-se). Se observa afloramientos de extensión muy reducida en la parte sur y este de la cuenca. Otro grupo de afloramientos, de mayor extensión, se ubican en la parte media de la cuenca, entre el poblado de Tauría y el Río Chaupimayo. Litológicamente está conformado, al igual que el acuitardo Arma, por tobas dacíticas poco compactas, de color gris claro a ligeramente rosado. Se estima la conductividad hidráulica de las tobas en $9{,}6.10^{-3}$ m/día, por una porosidad del orden de 40 % (Benítez, 1972). En esta unidad no se encuentra surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico Sillapaca (ATV-si). Consiste en un único afloramiento, de poca extensión, ubicado en la parte media de la cuenca, pocos kilómetros al sureste del poblado de Toro. Litológicamente está conformado por aglomerados volcánicos andesíticos. A pesar de que las andesitas presentan una permeabilidad elevada (0.28 a 0.32 m/día), según datos de Peña *et al*., (2010), por ser aglomerados, se considera a estos depósitos como acuitardos. En esta unidad no se evidencia surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico Alpabamba (ATV-al). Es el acuitardo más extenso en la cuenca. Aflora mayormente en la parte alta de la cuenca, aunque se observa también varios afloramientos en la parte media-baja de la cuenca, entre los distritos de Andaray y Salamanca en la provincia de Condesuyos, así como en el borde suroeste de la cuenca. Litológicamente está compuesto por tobas dacíticas a riodacíticas, tobas de lapilli e ignimbritas. Ensayos de infiltración realizados en el sector de Puyca estimaron la permeabilidad de la Formación Alpabamba entre 0,09 y 0,53 m/día. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

Acuitardo volcánico Barroso 1 (ATV-br1). Agrupa todos los depósitos volcánicos del grupo Barroso. Litológicamente se encuentra depósitos de andesitas basálticas gris oscuras, tobas, brechas pioclásticas, intercalaciones de lavas andesíticas y tobas dacíticas. Las tobas están presentes en mayor proporción, por lo que los afloramientos son más acuitardos. La susceptibilidad por los movimientos en masa es media.

d) Acuitardos intrusivos

Los acuitardos intrusivos de extensión regional y local están representados por las Superunidades Tiabaya, Incahuasi, Patap, Linga y el Batolito Atico-Camaná, y los cuerpos intrusivos menores compuestos principalmente por dioritas, tonalitas, granitos, dacitas, andesitas, monzonitas, cuarzodioritas, latitas, gabro, granodioritas y pórfidos. Afloran principalmente en la parte media baja de la cuenca, aunque también se observa pequeños afloramientos en la parte media de la cuenca, en los sectores de la laguna Parinacochas, entre los distritos de Pacapausa, Marcabamba y San José de Ushua en la provincia de Páucar

del Sara Sara en Ayacucho. También afloran en el sector del cañón de Cotahuasi, entre los distritos de Velinga y Alca, en la provincia de la Unión, en Arequipa.

Los afloramientos que se observan en la parte media baja de la cuenca se encuentran afectados por la actividad tectónica (fallas), la cual condiciona el emplazamiento de las unidades intrusivas. Estos afloramientos superficialmente se encuentran fracturados en ocasiones intemperizadas. Esto genera el incremento de porosidad secundaria, la cual va disminuyendo debido a que, a mayor profundidad tiende a ser masiva y compacta. Los afloramientos presentan una porosidad de 0.01 a 1 % y una conductividad hidráulica de 10-9 a 10-3 m/día. Esto limita su capacidad de almacenar y transmitir aguas subterráneas, por lo cual es de escaso interés hidrogeológico. En las zonas de falla y/o contacto con otros acuíferos puede ocurrir surgencias de aguas subterráneas. La susceptibilidad por los movimientos en masa es baja.

5.1.3 Acuífugos

Los acuífugos son formaciones que no tienen condiciones para almacenar ni transmitir aguas subterráneas. Esto sucede porque los materiales son totalmente impermeables. En la cuenca del río Ocoña, están representados por el complejo basal de la costa, conformado por gneis, esquistos y granulitas. Afloran en la parte baja de la cuenca, dentro de los dominios Atico-Mollendo-Camaná y Pisco-Chala. Se observa un primer grupo de afloramientos entre Ocoña e Iquipi; un segundo grupo aflora al sur del poblado de Tauría.

La característica impermeable de esta unidad se debe principalmente a que está compuesta por rocas con escasa porosidad y permeabilidad nula (estimada en 10^{-5} a 1 m/día, según datos recopilados de Gregory and Walling, 1985), por lo que no presenta condiciones de almacenamiento ni circulación de aguas subterráneas. Por estas características y al no tener zona de recarga se considera acuífugo. La susceptibilidad por los movimientos en masa es muy baja.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES HIDROGEOLÓGICOS

A fin de describir la geometría de los diferentes acuíferos de la cuenca del Río Ocoña, se realizaron cinco perfiles hidrogeológicos, que se basan en los perfiles geológicos y se describen a continuación.

5.2.1 Perfil A – A'

Este perfil se ubica en la parte noroeste de la cuenca. Está orientado O-E, entre los cerros Jatun Punco y Jorisayra, distrito de Cotaruse, Apurímac (figura 5.1), y presenta una longitud de unos 32 km.

En esta parte de la cuenca aflora mayoritariamente en superficie el acuífero fisurado volcánico Barroso 2 (AFV-br2), en depósitos subplanares, con leve pendiente hacia el este, sobreyaciendo al acuífero fisurado volcánico-sedimentario Tacaza. El acuífero Barroso en esta zona es libre.

El acuífero Barroso 2 presenta en esta zona un espesor promedio de unos 580 m entre el cerro Hualtaine y la quebrada Champini. Al este del cerro Iyacho, el acuífero Barroso 2 se adelgaza hasta desaparecer, dejando aflorar solamente al acuífero fisurado volcánico-sedimentario Tacaza.

Entre la quebrada Champini y el acuífero Barroso 2 existen depósitos acuitardos volcánico-sedimentarios del grupo Andamarca, de poco espesor. En estas zonas el acuífero fisurado volcánico Barroso 2 se comporta como acuífero confinado.

El flujo del agua subterránea en el acuífero Barroso 2 se efectúa del oeste hacia el este, debido a la leve pendiente de los depósitos, que induce a una gradiente hidráulica. Los cerros, las quebradas y los ríos constituyen zonas de recarga preferenciales.

El acuífero Tacaza tiene un espesor promedio de 808 m y va adelgazándose hacia el este, entre el cerro Iyacho y el río Horan Homa, zona donde se observa un leve plegamiento y levantamiento de la base del acuífero.

Al este del río Horan Homa, el acuífero volcánico-sedimentario Tacaza está intruido por un cuerpo intrusivo dacítico (ATV-da), que crea una condición de borde impermeable para el acuífero Tacaza.

Pocos kilómetros al este del río Horan Homa se observa una surgencia de aguas subterráneas bajo la forma de un manantial de bajo caudal (manantial Wilaccollpa, Q=3 l/s).

Otra fuente, termal, surge en los depósitos acuitardos volcánico-sedimentarios de la Formación Andamarca, al oeste del cerro Lyacho, distrito de Cotaruse, Apurímac.

5.2.2 Perfil B – B'

Este perfil, ubicado en la parte noroeste de la cuenca, se extiende entre la quebrada Cariapana al SO y el cerro Cusama al NE, con una longitud de aproximadamente 51 km (figura 5.2). En esta zona afloran principalmente los depósitos de la Formación Alpabamba, en capas tabulares, conformando un acuitardo volcánico (ATV-al) por su litología compuesta por tobas.

Al noreste del cerro Tunso aflora el acuífero fisurado volcánico-sedimentario Aniso (AFVS-an), en estratos tabulares, sobreyaciendo al acuitardo Alpabamba entre dicho cerro y la quebrada Chupa. Aflora también en el sector del cerro Malmagtana, y entre el cerro Tayasirca y el cerro Cusama en la provincia de Parinacochas, Ayacucho, sobreyaciendo al acuitardo Alpabamba. El acuífero Aniso es un acuífero libre.

El acuitardo Alpabamba tiene un espesor promedio de 558 m y se va adelgazando al noreste del cerro Tayasirca, con un espesor de 308 m, donde una falla normal desplaza la secuencia de depósitos.

Infrayaciendo al acuitardo Alpabamba se encuentra el acuífero fisurado volcánico-sedimentario Tacaza, en capas tabulares, que se comporta como un acuífero confinado, excepto en el sector del río Pacapausa, donde aflora en superficie y se vuelve un acuífero libre.

El acuífero Tacaza tiene un espesor promedio de 596 m, y se adelgaza al noreste del cerro Tayasirca, en la provincia de Parinacochas, Ayacucho, con un espesor de 365 m, donde una falla normal desplaza la secuencia de depósitos. En la margen izquierda del río Pacapausa, el afloramiento tiene un espesor de 788 m.

En los sectores de los cerros Cruzpata y Pucapampa (provincia de Parinacochas, Ayacucho), el acuífero Tacaza y el acuitardo Alpabamba están intruidos por depósitos subvolcánicos (domos de lava).

5.2.3 Perfil C – C'

En este perfil (figura 5.3), ubicado en la parte noreste de la cuenca y orientado SO-NE, aflora principalmente el acuitardo volcánico Alpabamba (ATV-al).

La cumbre del cerro Taipicahua está conformada por depósitos del Barroso 2, formando un acuífero muy limitado, sin evidenciarse fuentes de agua subterránea. En los sectores de la quebrada Acapana y del río Condorillo, el acuitardo Alpabamba está cubierto por depósitos acuíferos aluviales (APNC-al), los cuales son propensos a alberguar aguas subterráneas, como lo atestan los numerosos manantiales ubicados al sureste del cerro Taipicahua, en la provincia de la Unión, en Arequipa.

5.2.4 Perfil D – D'

Este perfil (figura 5.4) está ubicado en la parte noroeste de la cuenca, al norte de la laguna Parinacochas. Se extiende entre el cerro Yuracorjo al SO y el cerro Callpejasa al NE, con una longitud de unos 33 km.

Al suroeste del río Cueva, entre el cerro Anchacata y el cerro Yuracorjo, en la provincia de Páucar del Sara Sara, Ayacucho, aflora el acuífero fisurado volcánico Barroso 2 (AFV-br2), como acuífero libre. Al noreste de este río aflora el acuitardo Alpabamba (ATV-al), que infrayace al acuífero fisurado volcánico-sedimentario Aniso, entre el cerro Anchacata y el río Cueva, e infrayace al acuífero Barroso 2, entre el cerro Anchacata y el cerro Yuracorjo. En los alrededores del pueblo de Chilhuani, el acuitardo Alpabamba se adelgaza y desaparece, dejando aparecer al acuífero fisurado volcánico-sedimentario Tacaza (AFVS-t).

En el sector del pueblo de Alambiyocc, aflora de manera limitada el acuitardo volcánico-sedimentario Huaylillas (ATVS-huay), que sobreyace al acuífero Tacaza, y se encuentra parcialmente cubierto por el acuífero fisurado volcánico Barroso 2.

Infrayaciendo al acuífero Tacaza se encuentran los acuíferos fisurados sedimentarios cretácicos Murco (AFS-mu) y Hualhuani (AFS-hu), los cuales se encuentran plegados.

5.2.5 Perfil E – E'

El perfil orientado SSW-NNE (figura 5.5) se ubica en la parte baja de la cuenca, con una longitud de aproximadamente 25 km.

En esta zona de la cuenca aflora principalmente rocas intrusivas del batolito de la costa, que conforman unidades acuitardas. Entre las quebradas Chalhuane y Esbilla, los acuitardos intrusivos que corresponden a las Superunidades Patap (ATI-bc/pt-di), Linga (ATI-bc/l-mz) e Incahuasi (ATI-bc/i-tn) están intruyendo al acuífero fisurado sedimentario Labra (AFS-l), creando un entorno impermeable.

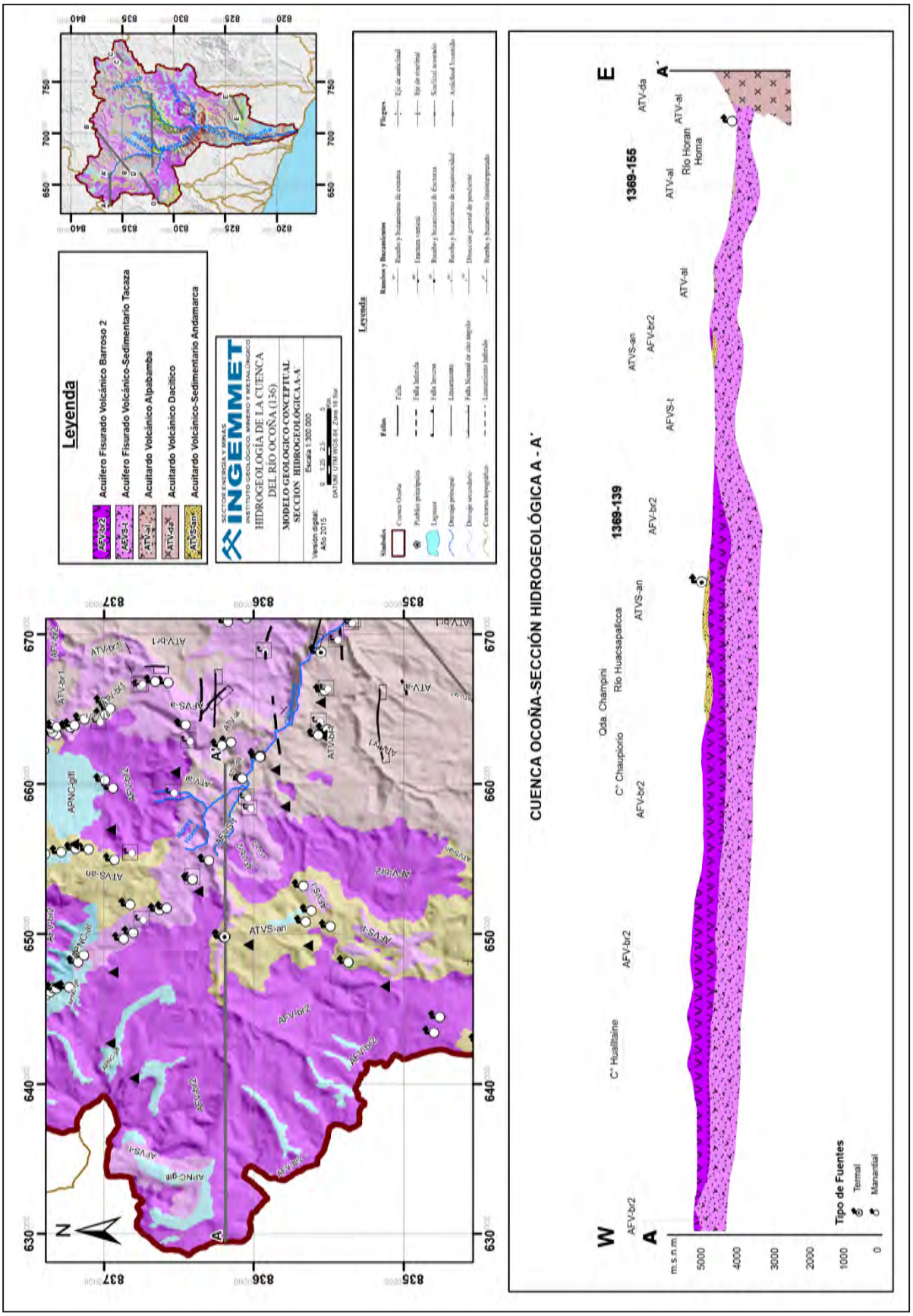


Figura 5.1 Sección hidrogeológica A – A'.

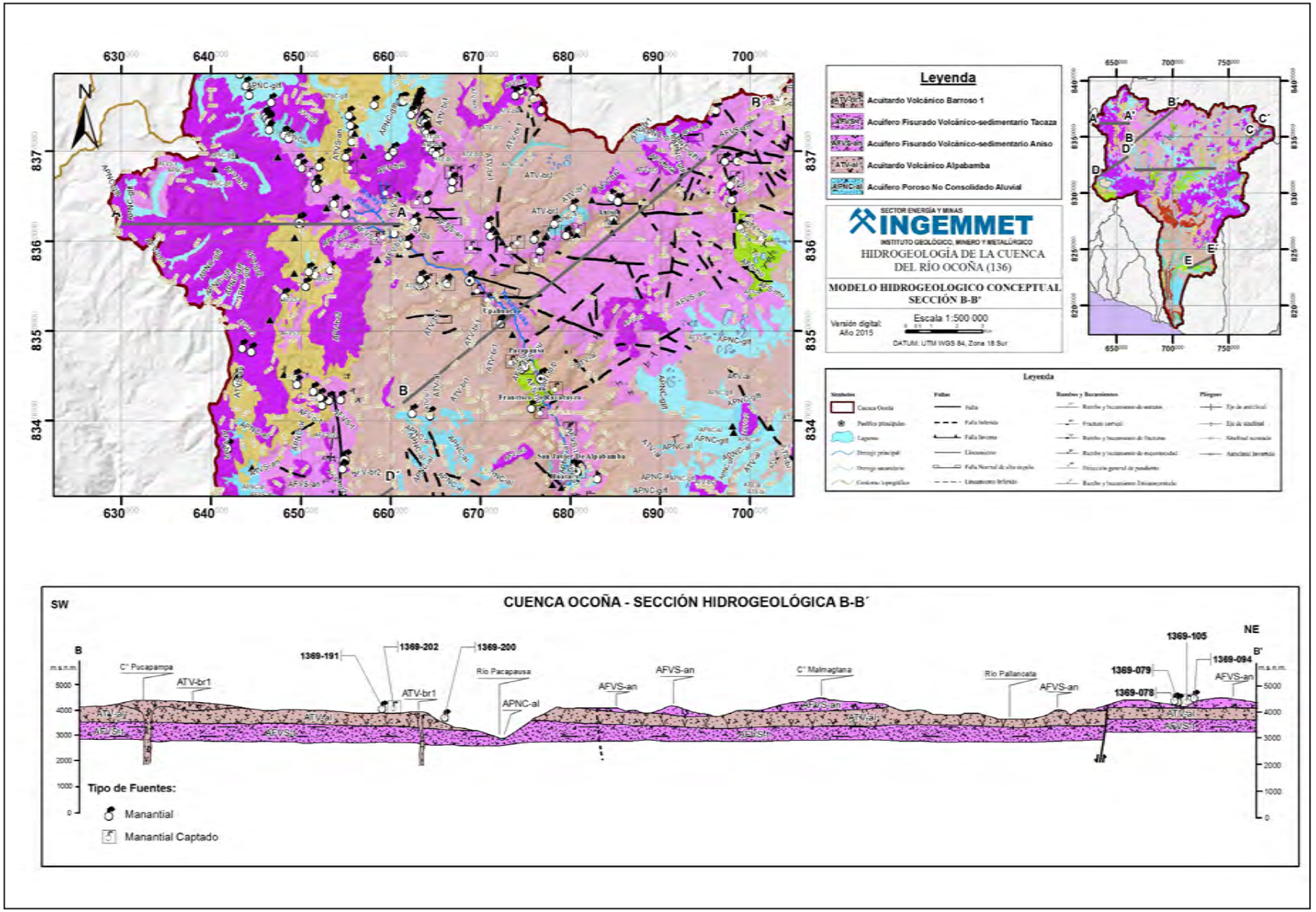


Figura 5.2 Sección hidrogeológica B – B'.

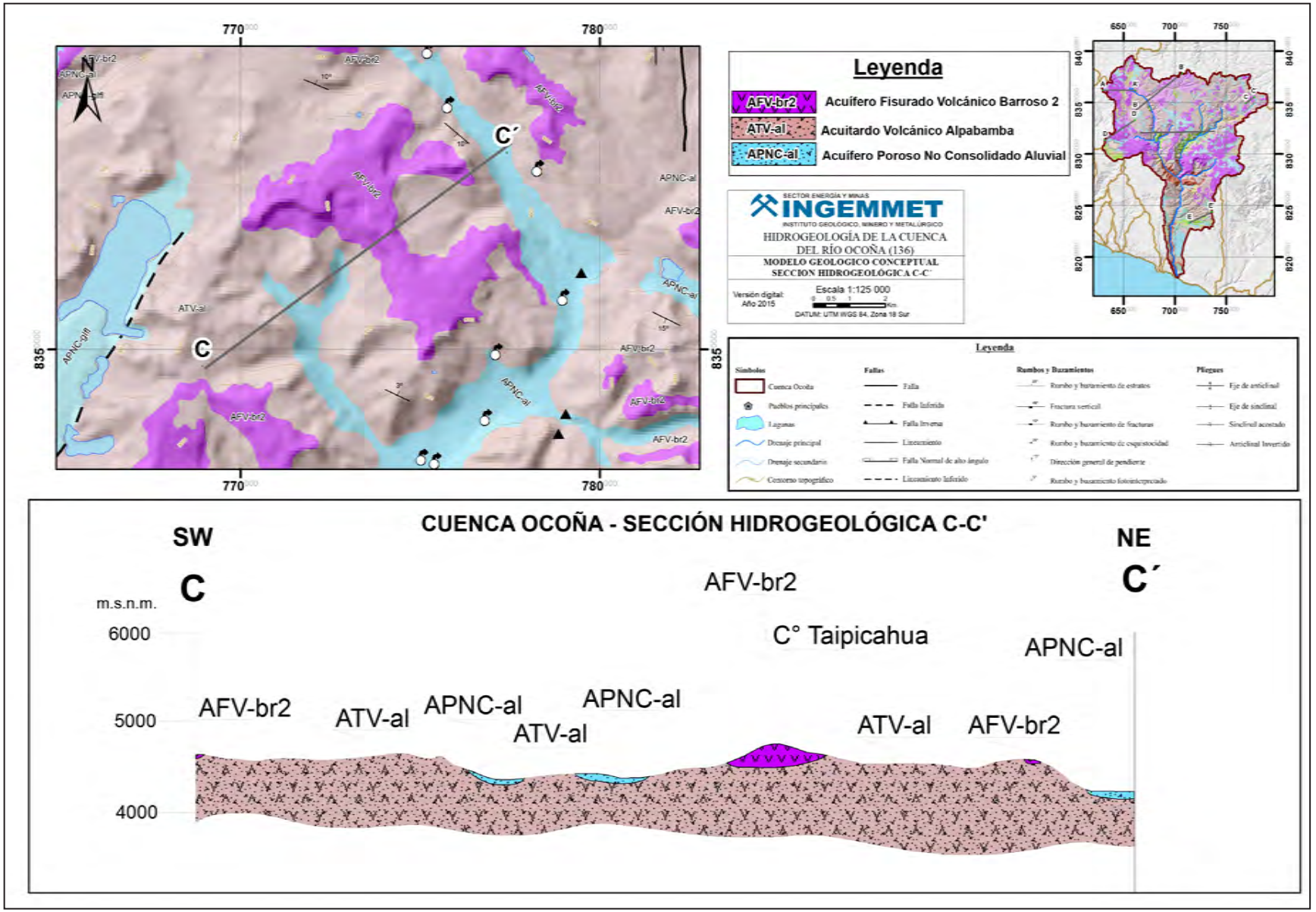


Figura 5.3 Sección hidrogeológica C – C'.

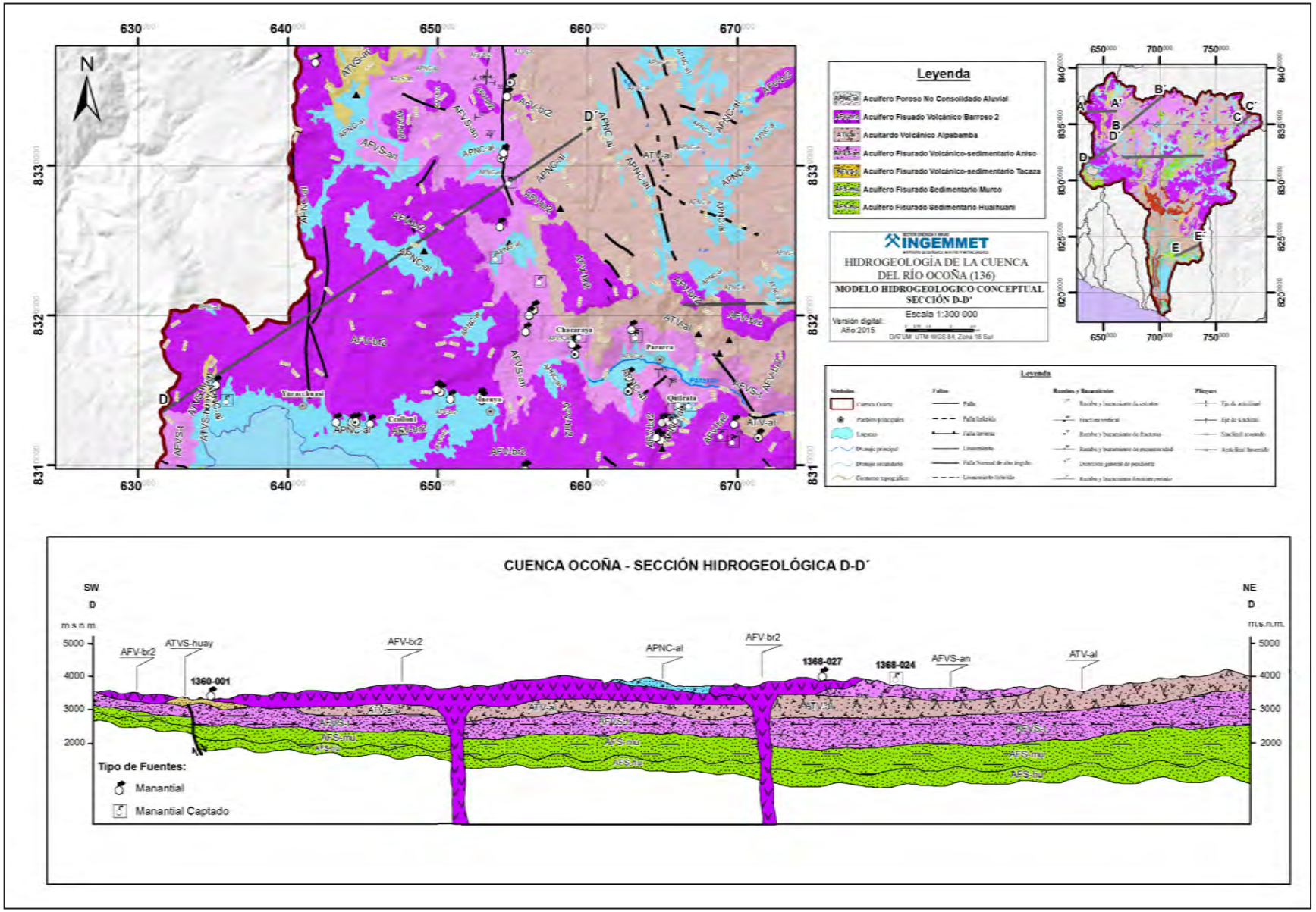


Figura 5.4 Sección hidrogeológica D – D'.

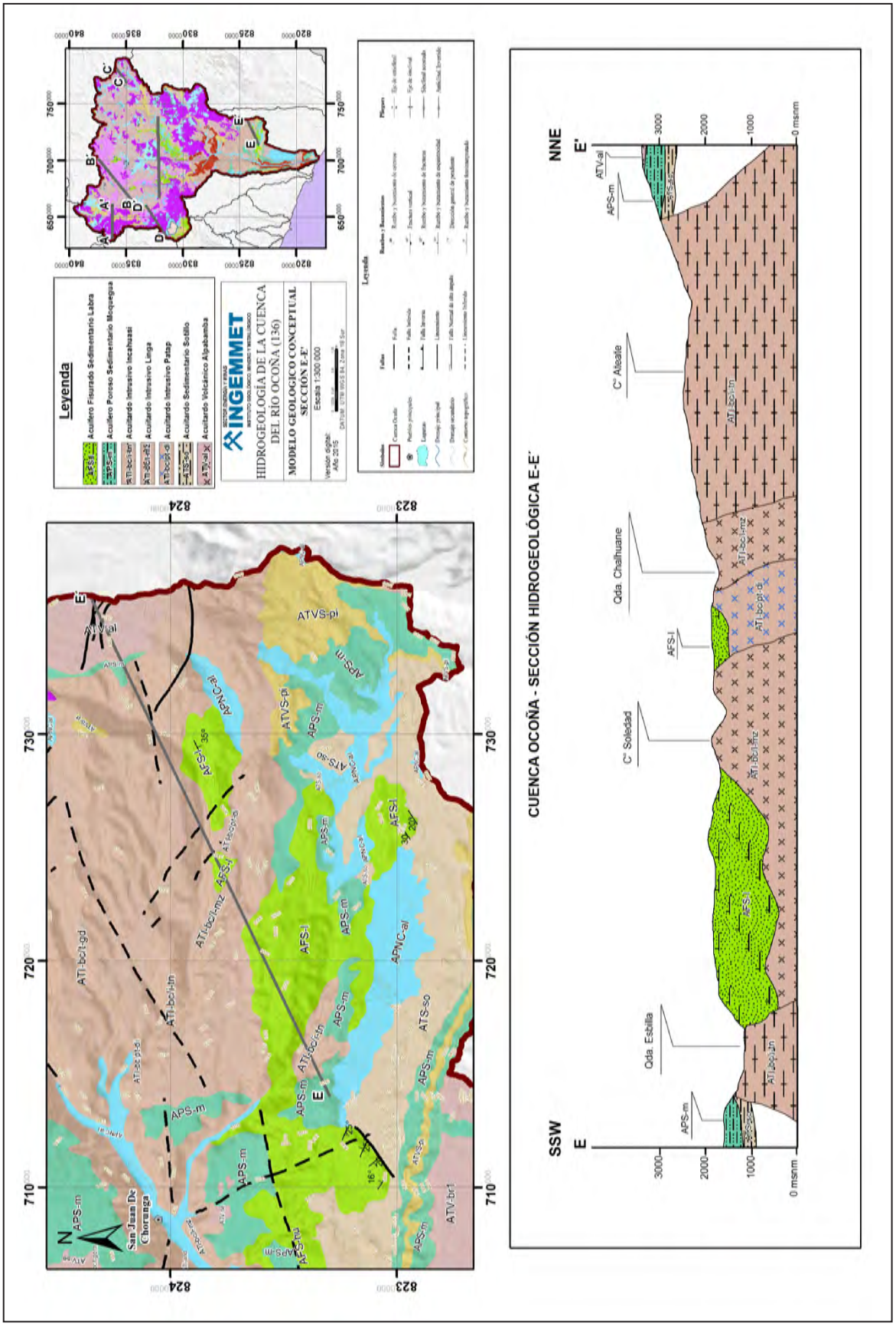


Figura 5.5 Sección hidrogeológica E – E'.

CAPÍTULO VI
PELIGROS NATURALES

6.1 CONCEPTOS DE PELIGRO/AMENAZA

Por peligro/amenaza se entiende "un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales" (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Los peligros incluyen condiciones latentes que pueden materializarse en el futuro. Pueden tener diferentes orígenes: natural (geológico, hidrometeorológico y biológico) o antrópico (degradación ambiental y amenazas tecnológicas)". Citado por Vílchez *et al*., 2010.

Peligro/amenaza natural es "un proceso natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Este término se utiliza para describir eventos relacionados con amenazas existentes al igual que condiciones latentes que podrían ocasionar el surgimiento de acontecimientos futuros. Los peligros naturales se pueden caracterizar por su magnitud o intensidad, su velocidad en un principio, la duración y el área que abarcan. Citado por Vílchez *et al*., 2010.

Peligro/amenaza geológica es "un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009). Los peligros geológicos incluyen procesos terrestres internos (terremotos y actividad volcánica) y procesos terrestres externos afines como el de movimientos en masas. Los factores hidrometeorológicos son elementos que contribuyen considerablemente en alguno de estos procesos. Citado por Vílchez *et al*., 2010.

Según su origen, los peligros en la cuenca del río Ocoña pueden ser geológicos, por procesos en movimientos en masa, geohidrológicos, y de otro tipo. En la figura 6.1 se muestra el porcentaje de eventos, donde se puede notar que los peligros geológicos por procesos de movimientos en masa (caídas, deslizamientos, flujos, movimientos complejos y reptación de suelos) representan el mayor número de ocurrencias de la cuenca, con 70.39 %; seguidos por otros peligros (erosión de ladera o cárcava, hundimientos y arenamientos), con 26.89 %; y peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial), con 2.72 %.

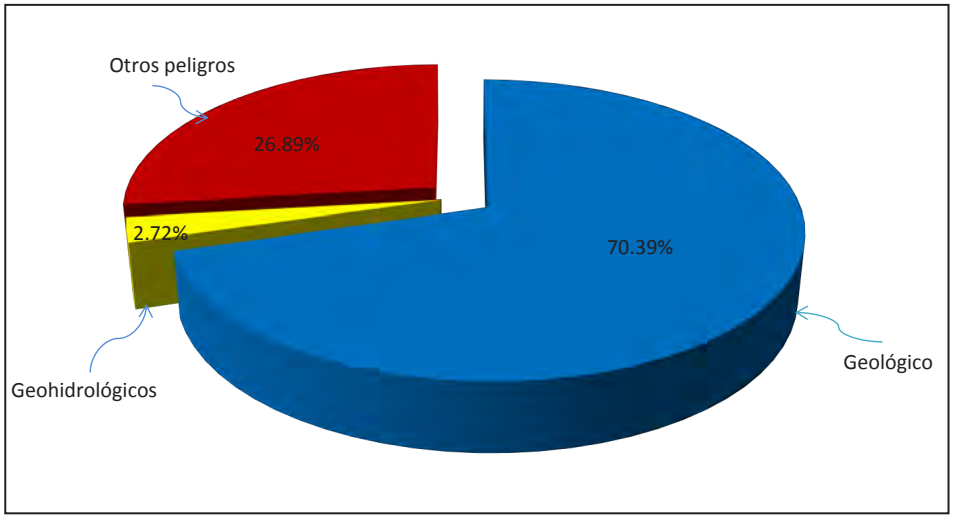


Figura 6.1 Distribución de los peligros naturales en la cuenca del río Ocoña.

6.2 OCURRENCIAS HISTÓRICAS DE PELIGROS NATURALES EN LA CUENCA

Todo análisis de peligros en cualquier lugar parte del conocimiento previo de los eventos peligrosos o desastres ocurridos en el pasado. La cronología de procesos geológicos e hidrometeorológicos de gran magnitud son los más importantes; sin embargo, también resulta importante conocer los eventos pequeños, sobre todo aquellos de recurrencia periódica. En el cuadro 6.1 se presenta un resumen de la descripción de peligros y eventos naturales que afectaron la población de la cuenca.

Cuadro 6.1

Peligros naturales ocurridos en el ámbito de la cuenca

Fecha	Descripción del peligro
1996	Huaico en Antabamba, distrito de Alca, provincia La Unión. En febrero de 1996, se registró huaico como consecuencia de la caída de lluvias intensas. El fenómeno ocasionó daños a terrenos de cultivos, así como a viviendas, cultivos y carreteras del pueblo de Antabamba. Fuente: Indeci, 1997.
1997	Huaicos en distrito de Río Grande, provincia Condesuyos. En marzo de 1997, la caída de lluvias intensas generó huaicos que causaron diversos daños a la población. Fuente: Indeci, 1997.
1997	Inundaciones en el distrito de Yanaquihua, provincia Condesuyos. En marzo y abril de 1997, la caída de lluvias intensas causó inundaciones. Fuente: Indeci, 1997.
1997	Inundaciones en distritos de Ocoña y Mariano Nicolás Valcárcel, provincia Camaná. En abril de 1997, la caída de lluvias intensas causó inundaciones que ocasionaron diversos daños. Fuente: Indeci, 1997.
1997	Inundaciones en los distritos de Toro, Tauría, Sayla, Quechualla, provincia La Unión. En abril de 1997, la caída de lluvias intensas causó inundaciones que ocasionaron diversos daños. Fuente: Indeci, 1997.
1998	Huaico en distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos. Con fecha 27 de enero de 1998, como consecuencia de las lluvias se produce huaico que afectó a la población del Valle Chorunga. Dejó 175 personas damnificadas, 08 personas fallecidas y 35 viviendas afectadas. Fuente: Indeci, 1998.
1998	Huaico en el distrito de Río Grande, provincia de Condesuyos. El 23 de enero de 1998, como consecuencia de las lluvias se produce huaico, que afectó a la población de la localidad de Iquipi. Dejó 20 personas damnificadas, 02 personas fallecidas y 04 viviendas afectadas. Fuente: Indeci, 1998.
1998	Huaico en el distrito de Río Grande, provincia de Condesuyos. Con fecha 15 de marzo de 1998, como consecuencia de las lluvias se produce huaico, que afectó a la población de San Juan de Chorunga, sector Cerro Colorado (campamento minero). Dejó 290 personas damnificadas, 04 personas heridas, 58 viviendas destruidas y 211 viviendas afectadas. Fuente: Indeci, 1998.
1998	Huaico en el distrito de Yanaquigua, provincia de Condesuyos. El 15 de marzo de 1998, como consecuencia de las lluvias se produce huaico, que afectó a las localidades de Yause, Quiscayoc, Chacca, Toranza, Chococa, Potrero, San Antonio y la Barrera. Dejó 80 personas damnificadas, 16 viviendas destruidas y 197 viviendas afectadas. Fuente: Indeci, 1998.
1998	Huaico en la quebrada Posco. Afectó el 80% de las instalaciones de la mina Miski o Posco y 2 000 viviendas de los pobladores, 84 personas quedaron aisladas, los almacenes de la mina fueron destruidos. Fuente: Ingemmet, 2002.
2014	Derrumbe. El 02 de agosto del 2014 ocurrió un derrumbe en la margen izquierda del río Cotahuasi (sector Chaymi o Chipito) y represó sus aguas por varios días hasta su desfogue en forma natural. Las dimensiones estimadas del derrumbe fueron: ancho 10 m, altura 30 m. Medina & Calderón (2015).
2017	Derrumbe. El 14 de marzo del 2017 ocurrió un derrumbe en el cerro Chipito que afectó la transitabilidad en la carretera Cotahuasi – Pampamarca. Mariño & Valdivia (2017).

6.3 EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD RECONOCIDAS

Las evidencias de inestabilidades en el terreno, que sugieren la presencia de un proceso de movimiento en masa activo o antiguo, han sido reconocidas en base a dos tipos de geoformas: 1) acumulaciones de material cuaternario asociados a movimientos de ladera que implican procesos gravitacionales (abanicos, conos, "hummocks" o colinas de material caótico, taludes de detritos o canchales, cierres de valles o represamientos naturales); y, 2) canales o surcos de erosión fluvial y pluvial, cárcavas, cicatrices de deslizamientos, ruptura de pendiente en afloramientos rocosos (caídas, derrumbes y vuelcos), escalonamiento de laderas o "terracillas" (reptación), y socavamiento en la base de terraplenes, acantilados o terrazas, entre otros (Vílchez *et al*., 2010).

Estas manifestaciones son reconocidas en el mapa geomorfológico elaborado para el ámbito geográfico de la cuenca (capítulo IV). Los movimientos en masa están agrupados en cinco tipos: flujos (flujos de lodo, flujos de detritos, avalancha de rocas y avalancha de detritos); deslizamientos (rotacional y traslacional); caídas (caída de rocas y derrumbes); movimientos complejos (combinaciones de dos procesos); y, reptaciones, vuelcos y sus respectivas variaciones en función del tipo de material involucrado. Se incluye en esta identificación de peligros la erosión de laderas, muy desarrolladas en la cuenca y que en la mayoría de los casos desencadenan procesos de derrumbes, flujos, reptación y deslizamientos (Vílchez *et al*., 2010).

Asimismo, se ha reconocido e inventariado movimientos en masa antiguos (deslizamientos, avalanchas de rocas y movimientos complejos), de dimensiones grandes (escarpe de arranque mayor a 1 000 m), reconocibles por su cicatriz o escarpa o por el depósito de remoción. Predominan las avalanchas de escombros, como es el caso del gran depósito encontrado en la localidad de Cotahuasi.

En el presente estudio, se ha identificado en total 662 ocurrencias principales (en trabajos de campo y gabinete), de las cuales 303 han sido comprobadas en trabajos de campo y 359 mediante la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Además, según la estadística porcentual (figura 6.2), el 41.7 % de ocurrencias les corresponde a flujos, 24.5 % a erosión de ladera, 16.9 % a caídas, 8.8 % a deslizamientos, 2.9 % a movimientos complejos, 1.8 % a arenamientos, 1.5 % a erosión fluvial, 1.2 % a inundación fluvial, 0.6 % a hundimientos y 0.2 % a reptación de suelos.

Según el análisis estadístico simple (figura 6.3), las ocurrencias de los peligros naturales a nivel provincial (jurisdicción de la cuenca del río Ocoña) son las siguientes: La Unión 36 %, Condesuyos 26 %, Páucar del Sara Sara 13 %, Parinacochas 12 %, Camaná 10 %, Aymaraes 2 % y Caravelí 1 %.

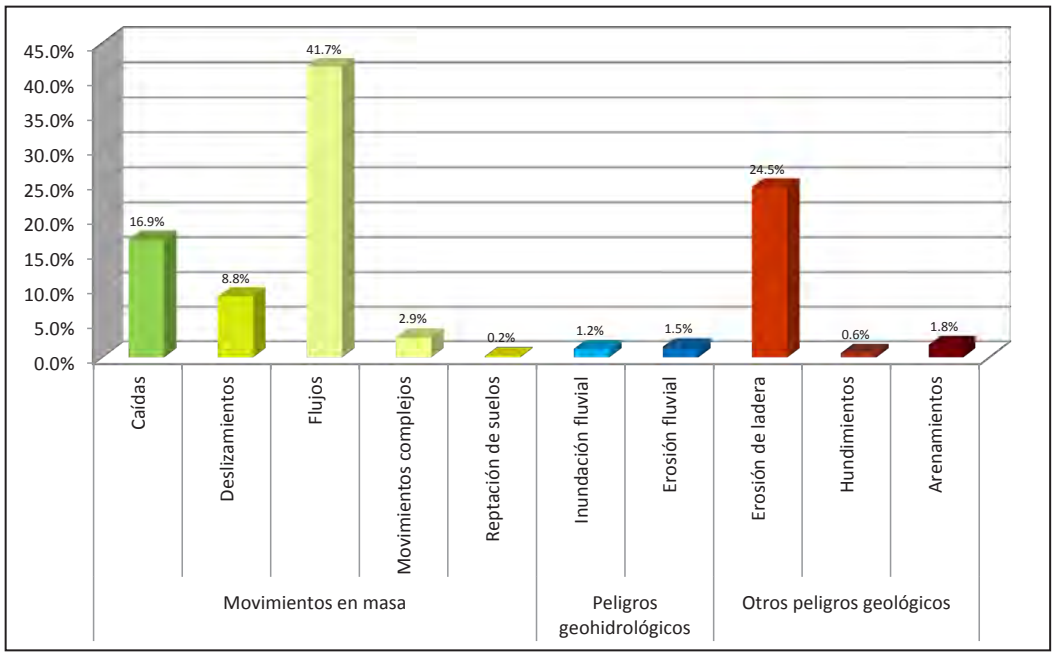


Figura 6.2 Estadística porcentual de los peligros naturales a nivel de la cuenca.

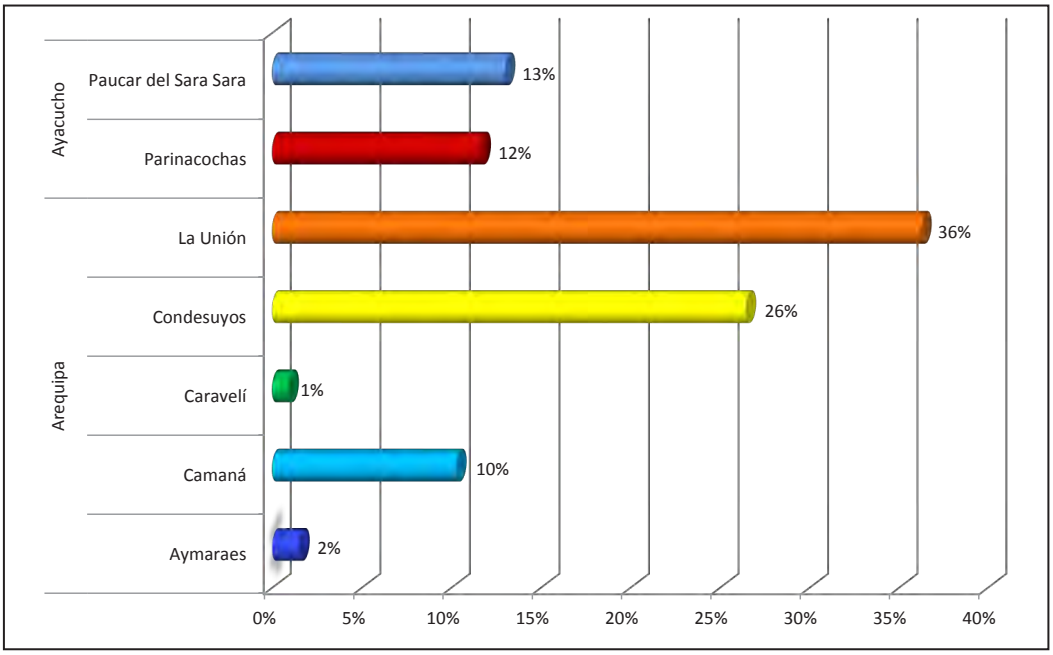


Figura 6.3 Estadística porcentual de los peligros naturales a nivel provincial, jurisdicción de la cuenca del río Ocoña.

6.4 MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa (figura 6.4) constituyen los procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos inconsolidados, o ambos por efecto de la gravedad (Vílchez *et al*., 2010). Su ocurrencia en la cuenca del río Ocoña está estrechamente ligada a intensas precipitaciones pluviales, sismos y modificaciones antrópicas (factores detonantes), así como a factores condicionantes o intrínsecos, como la litología, la pendiente, la morfología y la cobertura vegetal, entre otros.

Los movimientos en masa identificados han sido descritos utilizando la clasificación de deslizamientos y, en general, de movimientos en masa, adoptada por el Grupo de Estandarización de Movimientos en Masa (GEMMA) del Proyecto Multinacional Andino Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA). Se diferencia procesos activos y antiguos[2] (algunos reactivados).

Estos procesos fueron cartografiados utilizando los mapas topográficos del IGN, e inventariados utilizando una "ficha o formato de inventario de peligros geológicos en el Perú", donde se consignan datos morfométricos, geomorfológicos, geológicos, geotécnicos y de evaluación del peligro, de forma adecuada y fácil llenado.

Cada ocurrencia tiene un código de identificación que ha sido asignado de acuerdo con la numeración de hoja topográfica del IGN a escala 1:100 000. Los datos consignados en las fichas fueron ingresados en una base de datos (Base de Datos Geocientífica, desarrollada por el Ingemmet) y trabajados en un SIG, lo cual permitió su representación gráfica, debidamente ilustrada con ejemplos principales de los tipos principales de movimientos en masa (mapa 5). Además, permitió la actualización del banco de datos de peligros geológicos del Perú publicado en el GEOCATMIN, y efectuar análisis estadísticos sobre frecuencia y ocurrencia. Cada ocurrencia, adicionalmente, tiene una o más fotografías ilustradas.

[2] En la estimación de la edad de los movimientos en masa, se emplea las cuatro categorías para edad, sugerida por McCalpin (1984), la cual diferencia: 1) Activo (con record histórico: <140 años), 2) Inactivo (Joven: 140-5000 años), 3) Inactivo (maduro: 5000 a 10 000 años) y 4) Inactivo (viejo: antiguo >10 000 años). Esta clasificación puede aplicarse a otros peligros con inferencia y criterio subjetivo.

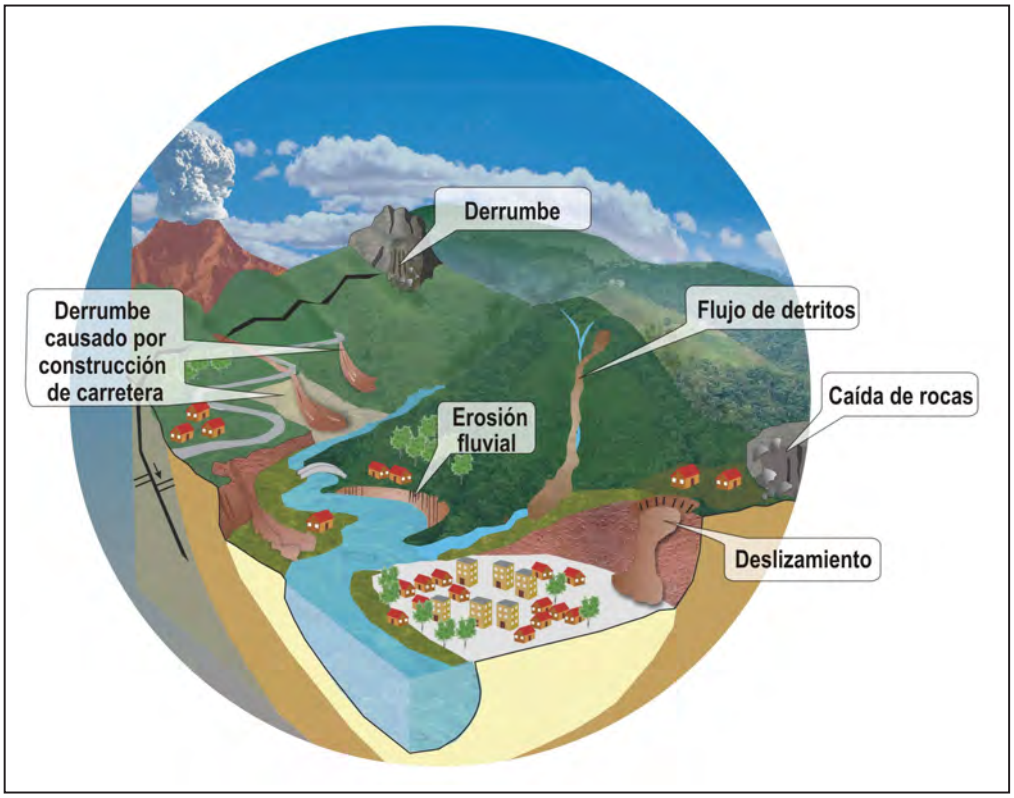


Figura 6.4 Principales tipos de ocurrencia de movimientos en masa: deslizamiento, flujo de detritos, caída de rocas, derrumbe, etc.

Fuente: Medina *et al*., 2012.

En el presente estudio, se ha identificado 466 ocurrencias de movimientos en masa tanto en los trabajos de campo como en gabinete. De estos, el 59.2 % corresponde a flujos ubicados en las desembocaduras de los cauces de ríos y quebradas tributarias a los ríos Ocoña, Arma, Cotahuasi, Huanca y Marán; el 24 % a caídas que ocurren principalmente en las laderas de las subcuencas Ocoña Bajo, Chichas, Cotahuasi, Marán y Colcamayo; el 12 % a deslizamientos ubicados principalmente en las subcuencas Cotahuasi, Colcamayo y Marán; y, el resto, 4.1 % y 0.2 %, respectivamente, le corresponde a movimientos complejos y reptación de suelos (ver figura 6.5).

6.4.1 Caída

La caída es un tipo de movimiento en masa en el que uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae, desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978) (figura 6.6; fotografías 6.1 y 6.2). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca o una caída de detritos. El movimiento va de muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996); es decir, con velocidades mayores a 5 x 101 mm/s.

En función del mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como al material involucrado, las caídas (cuadro 6.2) dentro de la cuenca del río Ocoña se subdividen en dos tipos principales: caída de rocas y derrumbes.

Caída o desprendimiento de rocas. Ocurre en laderas de montañas y colinas de moderada a fuerte pendiente, frentes rocosos escarpados, montañas estructurales asociadas a litologías de diferente naturaleza (sedimentarias, ígneas y metamórficas), sujetas a fuerte fracturamiento, así como en taludes, al efectuarse cortes en laderas para obras civiles, tales como carreteras y canales (Vílchez *et al*., 2010). Las principales ocurrencias se originaron en las laderas de las subcuencas Ocoña Bajo, Cotahuasi y Colcamayo.

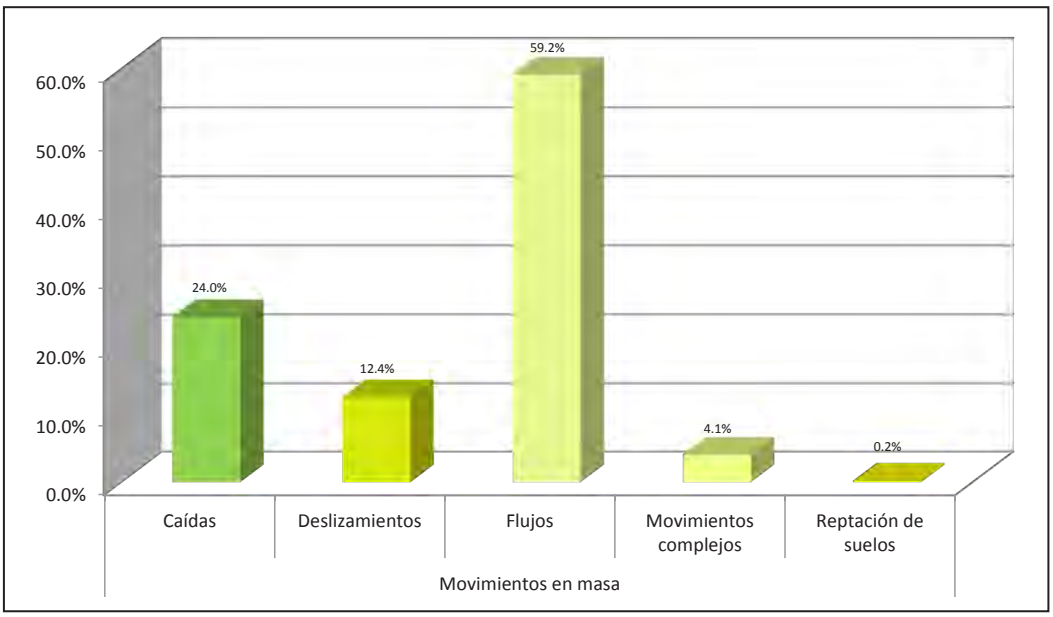


Figura 6.5 Distribución porcentual de movimientos en masa en la cuenca del río Ocoña.

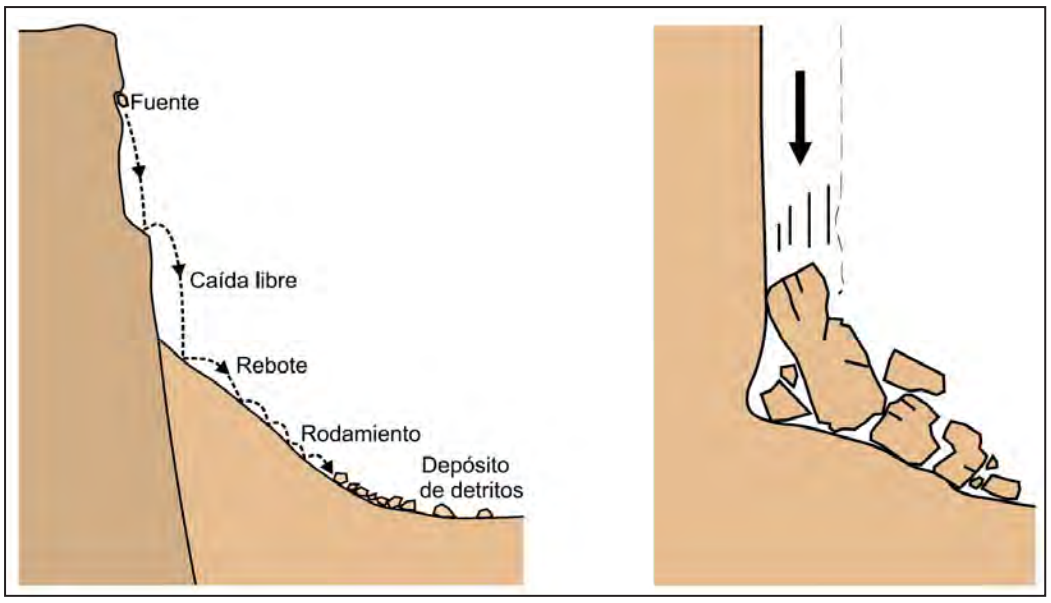


Figura 6.6 Esquema de la caída de rocas.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007.

Fotografía 6.1 Caída de roca en talud superior del caserío de Huallgua, distrito de San Javier de Alpabamba.

Fotografía 6.2 Caída de rocas ubicada en talud superior y norte de la zona urbana del distrito de Pampamarca.

Derrumbes. Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Vílchez *et al*., 2010). Se presentan en cauces encañonados (fotografía 6.3) y a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente (figura 6.7), con afloramientos fracturados y alterados de rocas sedimentarias, volcánicas y depósitos poco consolidados. Además, en algunos lugares, junto a las ocurrencias de derrumbes, se encuentra ocurrencias de caída de rocas. Las principales ocurrencias se ubican en las subcuencas de Cotahuasi, Colcamayo y Chichas.

Las ocurrencias de caídas en la cuenca del río Ocoña al nivel provincial se distribuyen de la siguiente manera: 62 % para provincia de La Unión, 10 % para cada una de las provincias de Páucar del Sara Sara, Parinacochas y Condesuyos, 7 % para la provincia de Camaná y 1 % para Aymaraes (figura 6.8).

Figura 6.7 Imagen satelital de la carretera de acceso (km 8) al distrito de Cotahuasi, capital de la provincia de La Unión, afectada por derrumbe.

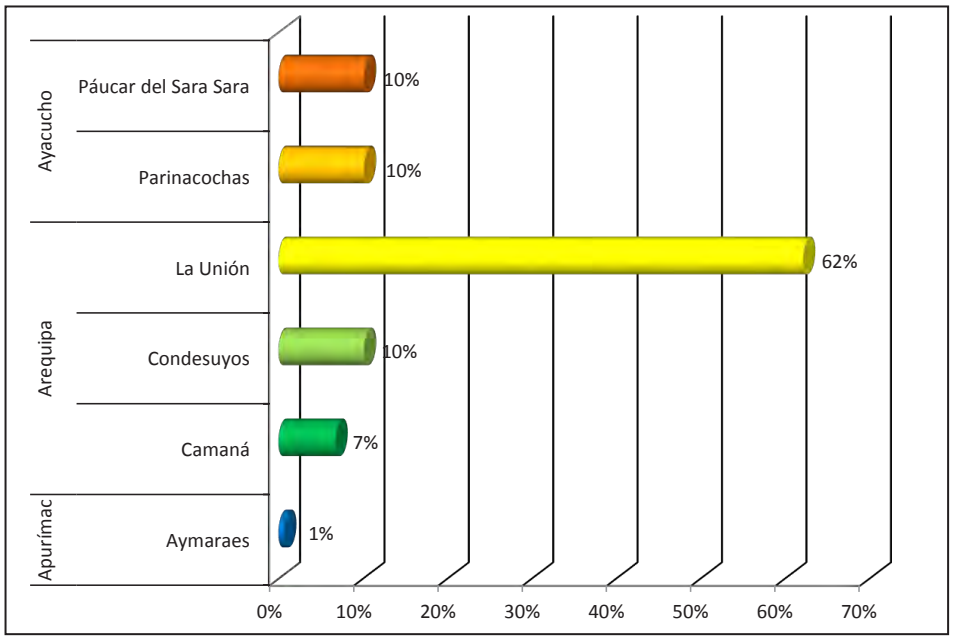


Figura 6.8 Porcentaje de ocurrencia de caídas por provincias en la cuenca del río Ocoña.

Fotografía 6.3 Depósito de ocurrencia de derrumbe ubicado en la margen izquierda del río Cotahuasi, distrito de Cotahuasi.

Cuadro 6.2

Principales lugares afectados por caídas

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
223821004	701011	8182137	Camaná / Ocoña / Frente a Pumacoto	Derrumbe	Alto
223821008	699300	8192000	Camaná / Ocoña / Quebrada del Apio	Caída de rocas	Alto
223821010	698542	8194004	Camaná / Ocoña / Santa Rita	Caída de rocas	Alto
223821013	699626	8196144	Camaná / Ocoña / Al noreste del centro poblado Vilque	Caída de rocas	Medio
223821014	699727	8198998	Camaná / Ocoña / A 2 km de centro poblado Huantay	Caída de rocas	Medio
223811029	697751	8208105	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Cerro El Alto parte baja	Caída de rocas	Alto
223811030	697250	8210600	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Cerro La Corvina	Caída de rocas	Medio
223811031	696800	8211500	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Al noroeste del centro poblado Surita	Caída de rocas	Medio
223811032	696650	8212600	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Corvina	Caída de rocas	Medio
223921018	697099	8231155	Condesuyos / Río Grande / Cerro Piuca	Caída de rocas	Alto
223921021	700092	8236891	Condesuyos / Río Grande / Iquipi	Caída de rocas	Muy alto
223921024	698729	8234324	Condesuyos / Río Grande / Cerro Mina De Huaca	Caída de rocas	Alto
233941002	731894	8283176	Condesuyos / Salamanca / Margen derecha de la quebrada Chapata	Caída de rocas	Medio
234121001	745234	8348471	La Unión / Huaynacotas / Chincayllapa	Caída de rocas	Medio
234121002	746600	8347450	La Unión / Puyca / Lauripampa	Caída de rocas	Medio
234121003	745519	8345791	La Unión / Puyca / Chulca	Caída de rocas	Medio

Continuación...

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
234121004	745431	8342385	La Unión / Puyca / Jatunhuasi	Derrumbe	Medio
234121005	745873	8341922	La Unión / Puyca / Huaccpata	Caída de rocas	Medio
234121006	744375	8344550	La Unión / Huaynacotas / Cerro Pallenjere	Caída de rocas	Bajo
233941006	717998	8278651	Condesuyos / Chichas / Vilcane	Derrumbe	Muy alto
233941009	723000	8280400	Condesuyos / Chichas / Flanco sur del Cerro Chachane	Derrumbe	Muy alto
233941013	720586	8278341	Condesuyos / Chichas / Cerro Buenavista	Caída de rocas	Alto
233941016	719522	8268290	Condesuyos / Yanaquihua / Carretera de acceso a niveles de la Mina Arirahua	Caída de rocas	Muy alto
233931021	719095	8250333	Condesuyos / Yanaquihua / Cerro Tiquimbro	Caída de rocas - Derrumbe	Muy alto
224011013	709569	8313751	La Unión / Quechualla / Carretera a Charcana	Derrumbe	Alto
224011016	713714	8311915	La Unión / Quechualla / Sancay	Derrumbe	Muy alto
234041001	726850	8329150	La Unión / Pampamarca / Siccincaya	Derrumbe	Alto
234041003	725550	8325475	La Unión / Pampamarca / Pampamarca	Derrumbe	Medio
234011004	745850	8334700	La Unión / Huaynacotas / Flanco este del Cerro Allcullacu	Derrumbe	Bajo
234011007	747404	8337212	La Unión / Puyca / Machuancca	Caída de rocas	Alto
234011008	748000	8336000	La Unión / Puyca / Cerro Callpane	Caída de rocas	Medio
234011010	745642	8332467	La Unión / Puyca / Carretera Puyca - Cotahuasi	Derrumbe	Muy alto
234011011	744701	8332384	La Unión / Puyca / Frente a Sonjo	Caída de rocas	Medio
234041016	733471	8321409	La Unión / Tomepampa / Carretera a Achambi	Derrumbe	Medio
234041017	735400	8324050	La Unión / Alca / Aguas termales frente a Visme	Derrumbe	Bajo
234041019	735298	8324357	La Unión / Huaynacotas / Carretera a Huaynacota	Derrumbe	Alto
234041028	724400	8326118	La Unión / Pampamarca / Pampamarca	Caída de rocas	Medio
234041029	727200	8317800	La Unión / Cotahuasi / Chacaylla	Derrumbe	Muy alto
234041040	716974	8314410	La Unión / Charcana / Margen izquierda de la quebrada Andamarca	Caída de rocas - Derrumbe	Muy alto
234031043	716472	8312151	La Unión / Quechualla / Quebrada Chaupo	Derrumbe	Muy alto
234041044	717000	8313750	La Unión / Charcana / Río Cotahuasi	Derrumbe	Muy alto
234041050	719450	8317175	La Unión / Pampamarca / Oeste de Lancarolla	Caída de rocas	Medio
234041052	719350	8315350	La Unión / Charcana / Pampa Echunga	Caída de rocas	Alto
234041053	721088	8314242	La Unión / Toro / Quebrada Toro	Caída de rocas	Muy alto
234041058	722350	8313650	La Unión / Toro / Cerro Cacahuacho	Caída de rocas - Derrumbe	Alto
234041059	720984	8315199	La Unión / Toro / Cerro Cacahuacho	Caída de rocas	Alto
234041060	719642	8313935	La Unión / Toro / Margen derecha del río Cotahuasi	Derrumbe	Muy alto
234041062	717954	8313229	La Unión / Quechualla / Frente a la Catarata Sipia	Caída de rocas	Muy alto
234031063	732450	8285400	Condesuyos / Salamanca / Cerro Callaymaque	Caída de rocas	Medio
224011060	713300	8315500	La Unión / Charcana / Andamarca	Derrumbe	Alto

Continuación...

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
234041064	729467	8315910	La Unión / Cotahuasi / Carretera de acceso a Cotahuasi Km 8+100	Derrumbe	Muy alto
234041065	729722	8314877	La Unión / Cotahuasi / C Carretera de acceso a Cotahuasi Km 9+400	Derrumbe	Alto
234041067	727939	8314201	La Unión / Cotahuasi / Carretera de acceso a Cotahuasi Km 18+600	Derrumbe	Alto
234041069	729297	8314038	La Unión / Cotahuasi / Carretera de acceso a Cotahuasi Km 20+800	Derrumbe	Alto
234041070	729237	8313495	La Unión / Cotahuasi / Carretera de acceso a Cotahuasi Km 25+500	Derrumbe	Medio
234041071	725800	8317900	La Unión / Huaynacotas / Antena Telefónica (3ra Etapa Aymaña)	Derrumbe	Muy alto
234041073	728939	8315266	La Unión / Cotahuasi / Carretera de acceso a Cotahuasi Km 6+300	Derrumbe	Alto
234041074	728151	8315646	La Unión / Cotahuasi / Carretera de acceso a Cotahuasi Km 4+300	Derrumbe	Alto
234041075	727353	8316139	La Unión / Cotahuasi / Carretera de acceso a Cotahuasi Km 2+480	Caída de rocas	Alto
234121007	743584	8367469	La Unión / Huaynacotas / Huarcaya	Caída de rocas	Bajo
244131002	776608	8355909	La Unión / Puyca / Cerro Pabellón	Caída de rocas	Bajo
224021063	707000	8304000	La Unión / Quechualla / Cerro Pucacocha	Caída de rocas	Bajo
224131036	662550	8359400	Aymaraes / Cotaruse / Papajehua	Caída de rocas	Bajo
224031025	669750	8312750	Páucar del Sara Sara / Sara Sara / Quebrada Acoquipa	Derrumbe	Alto
224031029	677000	8315800	Páucar del Sara Sara / Lampa / Caserío San Juan	Caída de rocas	Bajo
224041030	679300	8316900	Páucar del Sara Sara / Lampa / Cerro Atunorcco	Caída de rocas	Alto
224041031	677250	8322600	Páucar del Sara Sara / Lampa / Coltabamba – Naguapampa	Caída de rocas	Medio
224041038	679662	8338762	Páucar del Sara Sara / San Javier de Alpabamba / Huallhua	Caída de rocas	Alto
224041040	680000	8333700	Páucar del Sara Sara / Marcabamba / Margen derecha del río Huanca Huanca	Derrumbe	Alto
224041046	679600	8332150	Páucar del Sara Sara / San Javier de Alpabamba / Huacata	Caída de rocas	Medio
224131001	677105	8341910	Parinacochas / San Francisco de Ravacayco / Margen izquierda de la quebrada Chahuaya	Derrumbe	Alto
224131003	674600	8347250	Parinacochas / Pacapausa / Flanco este del cerro Pacchapata	Caída de rocas	Medio
224131004	675132	8348927	Parinacochas / Pacapausa / Quebrada Oncolcayapata	Derrumbe	Alto
224131006	675366	8346227	Parinacochas / Pacapausa / Quebrada Joripaccha	Derrumbe	Muy alto
224131010	671550	8350800	Parinacochas / Upahuacho / Flanco este del cerro Yanapata	Caída de rocas	Alto
224131012	672100	8352225	Parinacochas / Upahuacho / Flanco noreste del cerro Yanapata	Derrumbe	Alto
214131003	654979	8387165	Parinacochas / Coracora / Cerro Uscuvilca	Caída de rocas	Bajo
224131014	681176	8363683	Parinacochas / Coronel Castañeda / San Javier	Caída de rocas	Medio
224131018	681300	8360400	Parinacochas / Coronel Castañeda / Cerro Pativilca	Derrumbe	Medio

Continuación...

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
224121020	708182	8365861	Parinacochas / Coronel Castañeda / Quebrada Condorhuasi	Derrumbe	Alto
224131023	684537	8362393	Parinacochas / Coronel Castañeda / Aniso	Caída de rocas	Alto
224131031	663704	8357822	Parinacochas / Upahuacho / Margen derecha de río Colpamayo / Yanamachay	Derrumbe	Alto
224131037	664450	8357200	Parinacochas / Upahuacho / Yanmachay	Caída de rocas	Alto
224131040	676560	8343760	Parinacochas / Pacapausa / Carretera Pacapausa - San Francisco	Derrumbe	Medio

6.4.2 Deslizamiento

Es un movimiento de ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (Vílchez *et al*., 2010). Varnes (1978) clasifica los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares y/o en cuña.

Las ocurrencias de los deslizamientos (figura 6.9 y cuadro 6.3) en la cuenca del río Ocoña a nivel provincial se distribuyen de la siguiente manera: 36 % en la provincia de La Unión, 29 % en la provincia de Parinacochas, 19 % en la provincia Páucar del Sara Sara, 10 % en la provincia de Aymaraes, 3 % en la provincia de Condesuyos y 2 % en la provincia de Caravelí.

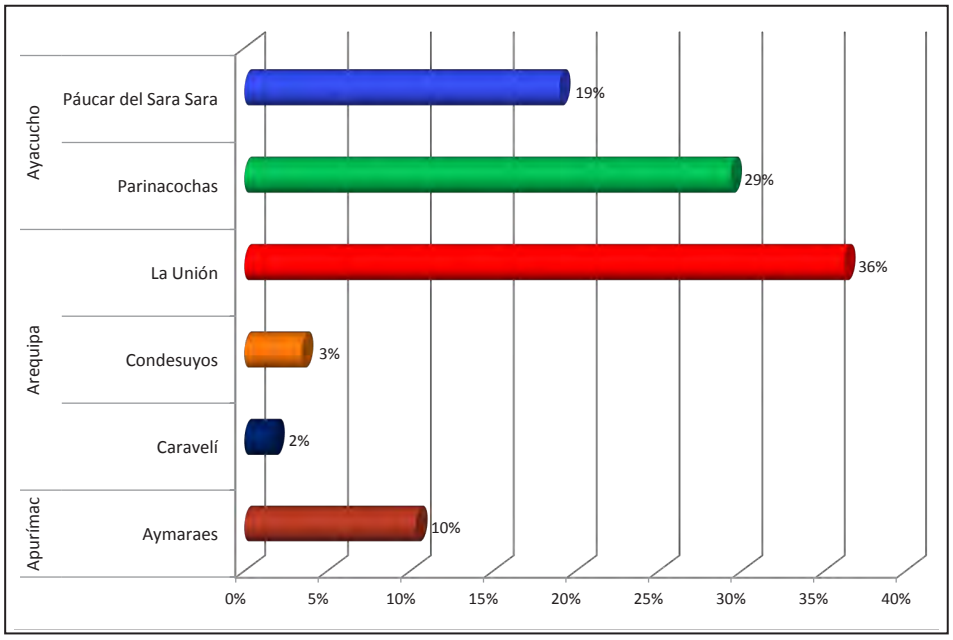


Figura 6.9 Porcentaje de ocurrencia de deslizamientos por provincias en la cuenca del río Ocoña.

Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña

La masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada (figura 6.10 y fotografía 6.4). En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales, y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia esta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek & Bray, 1981).

En los casos en que la traslación se realiza a través de un solo plano, se denomina deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981). El deslizamiento en cuña (figura 6.11) es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre sí e intersectan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza siguiendo ya sea la dirección de la línea de intersección de ambos planos o el buzamiento de uno de ellos (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

La velocidad de los deslizamientos traslacionales puede variar desde rápida a extremadamente rápida (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

En el área de estudio, los deslizamientos de tipo traslacional se ubican dispersos principalmente en las subcuencas Colcamayo y Cotahuasi. Estos se presentan inestabilizando laderas de montañas, donde se tiene planos de discontinuidad (fracturamiento o estratificación) a favor de la pendiente.

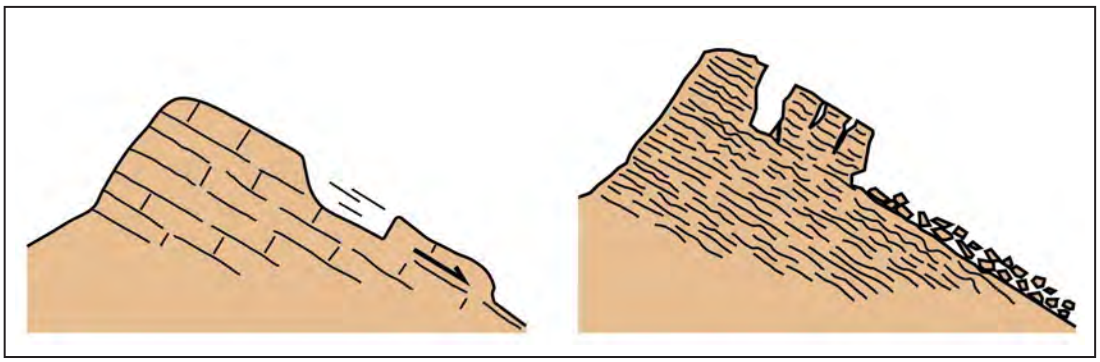


Figura 6.10 Esquemas de deslizamientos traslacionales.
Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007.

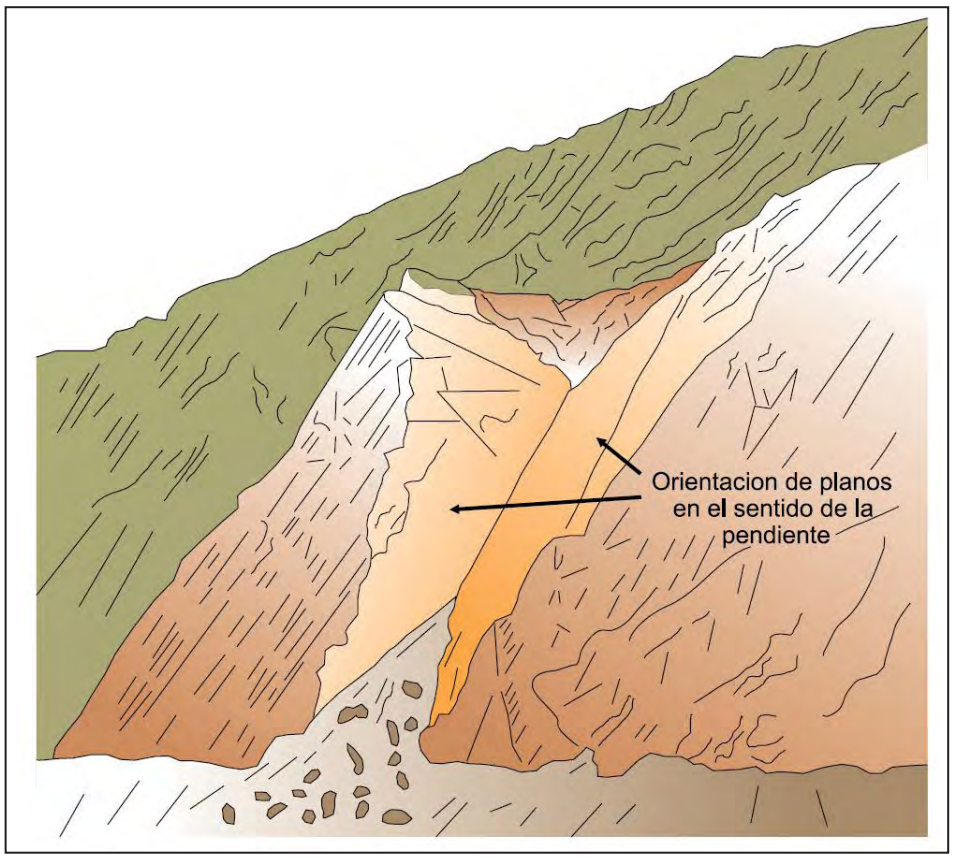


Figura 6.11 Esquema de un deslizamiento en cuña.
Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007.

Deslizamiento rotacional

En este tipo de deslizamiento la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava (figura 6.12). Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y unacontrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta o rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Los deslizamientos de tipo rotacional se encuentran distribuidos dentro de las subcuencas Cotahuasi, Colcamayo, Marán y Mirmaca. Afectan la estabilidad de las laderas de montañas y cortes de taludes realizados para la construcción de carreteras.

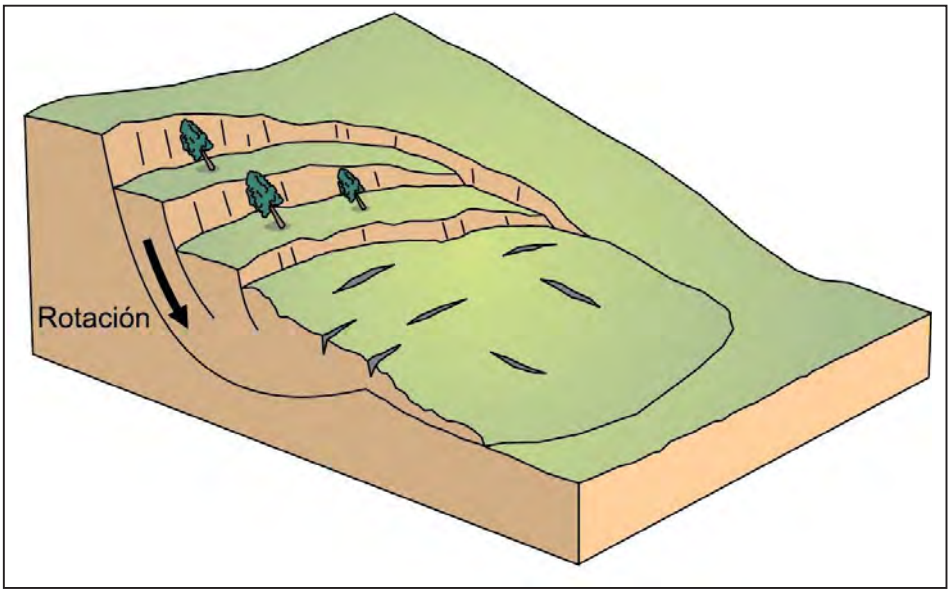


Figura 6.12 Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos.
Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007.

Fotografía 6.4 Se observa deslizamiento traslacional que represó parcialmente el río Pacapausa en el sector del distrito de Upahuacho.

Cuadro 6.3

Principales lugares afectados por deslizamientos

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	**Nombre específico**	Grado de peligro
	X	Y			
234011005	747031	8340138	La Unión / Puyca Occosuyso	Deslizamiento traslacional	Medio
234011006	747529	8338668	La Unión / Puyca / Cerro Inchuquilca	Deslizamiento traslacional	Medio
234011009	749050	8334550	La Unión / Puyca / Noreste de Puyca	Deslizamiento traslacional	Medio
234041023	740300	8326900	La Unión / Alca / Norte del centro poblado Oscorro	Deslizamiento traslacional	Medio
234041030	727198	8318544	La Unión / Huaynacotas / Pampa Chacaylla	Deslizamiento rotacional	Alto
234041039	715417	8316651	La Unión / Charcana / Margen izquierda de la quebrada Andamarca	Deslizamiento rotacional	Alto
234041042	723200	8319850	La Unión / Pampamarca / Cerro Churcana	Deslizamiento rotacional	Medio
234041049	719225	8318850	La Unión / Pampamarca / Al sur de Huarhua	Deslizamiento rotacional	Alto
224021056	706900	8312600	La Unión / Charcana / Cerro Ccaisampo	Deslizamiento traslacional	Alto
224011059	712900	8314500	La Unión / Charcana / Cerro Cherquena	Deslizamiento traslacional	Alto
224111078	766154	8337367	La Unión / Puyca / Cerro Laychane	Deslizamiento rotacional	Bajo
224021066	709800	8301500	La Unión / Toro / Pampa Conte	Deslizamiento rotacional	Bajo
214111002	655800	8370150	Aymaraes / Cotaruse / Cerro Pilpinto	Deslizamiento rotacional	Bajo
224131033	664800	8362800	Aymaraes / Cotaruse / Cerro Casari	Deslizamiento rotacional	Bajo
224131034	663000	8363500	Aymaraes / Cotaruse / Cerro Mayuro	Deslizamiento rotacional	Bajo
224031018	677150	8302050	Páucar del Sara Sara / Pausa / Quebrada Huancara	Deslizamiento rotacional	Alto
224031020	675500	8304100	Páucar del Sara Sara / Pausa / Deslizamiento traslacional	Deslizamiento traslacional	Bajo
224041035	676500	8310800	Páucar del Sara Sara / Pausa / Flanco Sureste del cerro Sombrero Orcco	Deslizamiento rotacional	Alto
224031036	682120	8312900	Páucar del Sara Sara / Colta / Cerro Luicho	Deslizamiento rotacional	Alto
224041037	677800	8340300	Parinacochas / San Francisco de Ravacayco / Timpuya	Deslizamiento traslacional	Bajo
224031050	678400	8299300	Páucar del Sara Sara / Pausa / Cerro Potrero - Rauripa	Deslizamiento rotacional	Muy alto
224131005	674550	8346000	Parinacochas / Pacapausa / Margen izquierda de la quebrada Joripaccha	Deslizamiento traslacional	Muy alto
224131008	675050	8348450	Parinacochas / Pacapausa / Flanco oeste del cerro Tucsa	Deslizamiento traslacional	Medio
224131009	674000	8352100	Parinacochas / Coronel Castañeda / Flanco oeste del cerro Padrepadre	Deslizamiento traslacional	Medio
214121004	657000	8361700	Parinacochas / Upahuacho / Cerro Chaupiloma	Deslizamiento rotacional	Bajo
214121005	658600	8361650	Parinacochas / Upahuacho / Chaupiloma	Deslizamiento traslacional	Alto
224131028	685500	8362550	Parinacochas / Coronel Castañeda / Frente a la quebrada Cruzpata	Deslizamiento traslacional	Medio
224131030	681044	8363892	Parinacochas / Coronel Castañeda / Cerro Pucara / Laguna Pajarín	Deslizamiento rotacional	Medio
224131035	661900	8358900	Parinacochas / Upahuacho / Colpabamba	Deslizamiento rotacional	Bajo
224131042	677400	8341100	Parinacochas / San Francisco de Ravacayco / Sur del poblado San Francisco	Deslizamiento traslacional	Medio

6.4.3 Flujo y avalancha de detritos

El flujo es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido. Puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos, se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Además, según el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) los flujos pueden ser canalizados y no canalizados (figura 6.13).

Según la figura 6.14, las ocurrencias de flujos en la cuenca del río Ocoña a nivel provincial se distribuyen de la siguiente manera: 41 % en el área que pertenece a la provincia de Condesuyos, 33 % en La Unión, 13 % en Camaná. 5 % en Páucar del Sara Sara, 5 % en Parinacochas y 1 % en Caravelí.

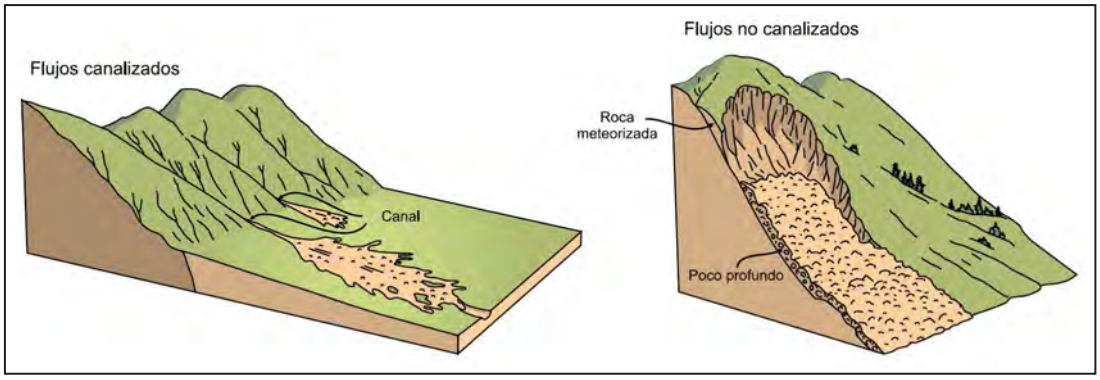


Figura 6.13 Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996).

Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007.

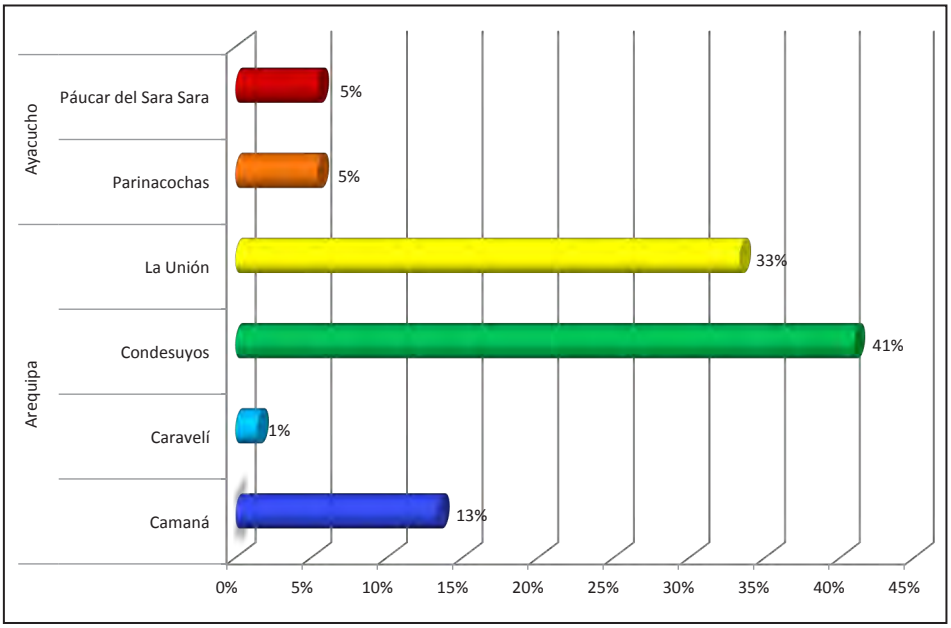


Figura 6.14 Porcentaje de ocurrencias de flujos por provincias en la cuenca del río Ocoña.

La avalancha de detritos es un flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos está que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hungr *et al*., 2001).

Las avalanchas, a diferencia de los deslizamientos, presentan un desarrollo más rápido de la rotura. Según el contenido de agua o por efecto de la pendiente, la totalidad de la masa puede licuarse, al menos en parte, fluir y depositarse mucho más allá del pie de la ladera (Varnes, 1978). Las avalanchas de detritos son morfológicamente similares a las avalanchas de rocas (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

En general, en la cuenca del río Ocoña, los flujos (flujos de detritos y avalanchas) han sido inventariados en un total de 276 ocurrencias, que representan el 59.2 % del total de movimientos en masa inventariados (cuadro 6.4). Estos flujos tienen origen en zonas de montañas y colinas; conformadas por rocas volcánicas, sedimentarias, volcano-sedimentarias, intrusivas y metamórficas. Se prolongan hasta los cursos de valles principales (ríos Ocoña, Arma, Cotahuasi, Cúshpa, Huanca y Marán). Estos flujos se producen cuando se presentan lluvias excepcionales en la zona sur del Perú.

La ocurrencia de avalancha más relevante en la cuenca del río Ocoña se ubica en la confluencia de los ríos Pampamarca y Huancaya, a los cuales represó. La zona de arranque se ubica entre los cerros Lucmani, Llapsaccacca y Ccaccapa, margen izquierda del río Huancaya o Cotahuasi. Sobre el depósito de la avalancha se asienta el pueblo de Cotahuasi, capital de provincia de La Unión (figura 6.15).

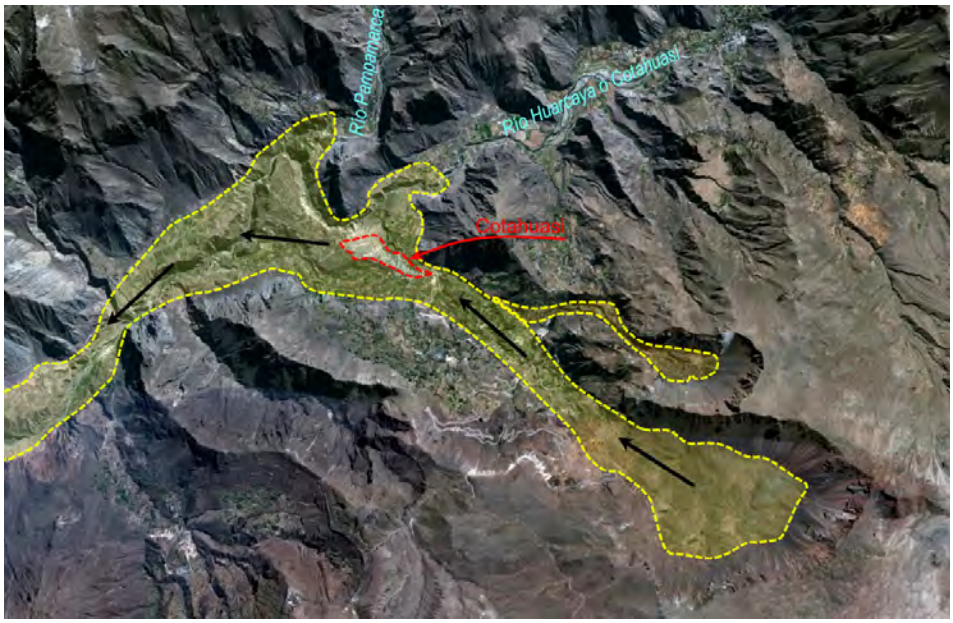


Figura 6.15 Delimitado con líneas amarillas discontinuas sobre la imagen satelital se observa el depósito de avalancha; las flechas de color negro indican la trayectoria del flujo. Se ubica en la confluencia de los ríos Pampamarca y Huancay, distrito de Cotahuasi.

Cuadro 6.4

Principales lugares afectados por flujos

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	**Nombre específico**	Grado de peligro
	X	Y			
223821005	700250	8183750	Camaná / Ocoña / Cerro Chiquia	Flujo de detritos	Alto
223821007	699087	8189986	Camaná / Ocoña / Cerro Tenoyo	Flujo de detritos	Alto
223821011	697400	8193925	Camaná / Ocoña / Cerro Huacán	Flujo de detritos	Alto
223821015	698550	8198700	Camaná / Ocoña / Cerro Mal Paso	Flujo de detritos	Alto
223811034	695358	8226745	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Urasqui	Flujo de detritos	Muy alto
223921017	695454	8232326	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Secocha	Flujo de detritos	Muy alto
223921019	698443	8232617	Condesuyos / Río Grande / La Huaca	Flujo de detritos	Alto

Continuación...

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	**Nombre específico**	Grado de peligro
	X	Y			
223921020	697250	8233750	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Quebrada Eugenia	Flujo de detritos	Muy alto
223921022	699050	8238550	Condesuyos / Río Grande / Cerro Ancha	Flujo de detritos	Alto
223921023	698550	8236750	Condesuyos / Río Grande / Mina Taquila	Flujo de detritos	Alto
233941004	721840	8273809	Condesuyos / Chichas / Margen derecha de la quebrada Visve	Flujo de detritos	Bajo
233941010	723850	8279650	Condesuyos / Chichas / Quebrada Añavilca	Flujo de detritos	Alto
233941011	721680	8278381	Condesuyos / Chichas / Río Cuchuccencca	Flujo de detritos	Alto
233941014	721264	8274667	Condesuyos / Chichas / Ambas márgenes de la quebrada Visve	Flujo de detritos	Alto
233941018	717600	8270050	Condesuyos / Yanaquihua / Margen derecha de la quebrada Huichucuy	Flujo de detritos	Muy alto
233941019	716750	8265450	Condesuyos / Yanaquihua / Quebrada San Cristóbal	Flujo de detritos	Bajo
224021006	712273	8310739	La Unión / Quechualla / Velinga	Flujo de detritos	Alto
224021008	713650	8312560	La Unión / Charcana / Chusacay	Flujo de detritos	Bajo
224021009	709710	8308350	La Unión / Quechualla / Cerro Colorado	Flujo de detritos	Bajo
224011010	707900	8316250	La Unión / Charcana / Ayapallpa	Flujo de detritos	Bajo
224021012	709103	8311307	La Unión / Quechualla / Cerro Pucacocha	Flujo de detritos	Bajo
234011012	742325	8331500	La Unión / Huaynacotas / Tarhuara	Flujo de detritos	Medio
234041013	741324	8330583	La Unión / Alca / Cerca a Huilla	Flujo de rocas	Bajo
234041015	732900	8320925	La Unión / Tomepampa / Tomepampa	Flujo de detritos	Alto
234041018	733623	8324200	La Unión / Huaynacotas / Visme	Flujo de detritos	Medio
234041020	735000	8323500	La Unión / Alca / Cerro Santa Rosa	Flujo de detritos	Medio
234041022	738275	8324150	La Unión / Alca / Lucha - Luicho	Flujo de detritos	Medio
234041024	740450	8328700	La Unión / Alca / Chugnay	Flujo de detritos	Medio
234041025	740200	8325125	La Unión / Alca / Alca	Flujo de detritos	Medio
234041027	733065	8321831	La Unión / Tomepampa / San Juan	Flujo de detritos	Medio
234041031	730350	8318650	La Unión / Cotahuasi / Talupara	Flujo de detritos	Medio
234041034	730625	8319950	La Unión / Tomepampa / Cerro Tacupara	Flujo de detritos	Medio
234041036	728250	8320400	La Unión / Huaynacotas / Cerro Cotorca	Flujo de detritos	Alto
234031038	716200	8312300	La Unión / Quechualla / Quebrada Chaupo	Flujo de detritos	Alto
234041047	722084	8316893	La Unión / Cotahuasi / Quebrada Alluay	Flujo de detritos	Alto
223921027	706350	8237350	Condesuyos / Río Grande / Quebrada Chilinguay	Flujo de detritos	Medio
223921028	709350	8239425	Condesuyos / Río Grande / Quebrada Estavilla	Flujo de detritos	Alto
223921029	708980	8240989	Condesuyos / Río Grande / San Juan de Chorunga	Flujo de detritos	Alto
223921030	713050	8242425	Condesuyos / Andaray / Churunga	Flujo de detritos	Medio
223921031	712450	8243400	Condesuyos / Río Grande / Pedregal - Vilcane (Cerro Cenicero)	Flujo de detritos	Medio
223921032	713383	8244591	Condesuyos / Río Grande / Salinas	Flujo de detritos	Medio
223921033	702548	8237543	Condesuyos / Río Grande / Complejo Arqueológico Tarana	Flujo de detritos	Alto
223921034	703200	8248000	Condesuyos / Río Grande / Quebrada Ayanca	Flujo de detritos	Medio

Continuación...

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	**Nombre específico**	Grado de peligro
	X	Y			
223921035	705850	8247950	Condesuyos / Yanaquihua / Quebrada Chihuaca	Flujo de detritos	Medio
223921036	706600	8236400	Condesuyos / Río Grande / Frente a Chillihuayo	Flujo de detritos	Alto
223921037	706000	8250400	Condesuyos / Yanaquihua / Flanco oeste del cerro Chihua	Flujo de detritos	Alto
223921038	704450	8252950	Condesuyos / Yanaquihua / Chaca zona minera	Flujo de detritos	Alto
223921039	707000	8253400	Condesuyos / Yanaquihua / Quiscayoc	Flujo de detritos	Muy alto
223921040	706548	8254145	Condesuyos / Yanaquihua / Quebrada Chaquiloma	Flujo de detritos	Muy alto
223911041	705825	8258325	Condesuyos / Yanaquihua / Tinoray (Quebrada Pico)	Flujo de detritos	Alto
223921042	704000	8256800	Condesuyos / Yanaquihua / Quebrada Laigua - Tereray	Flujo de detritos	Alto
223911043	704650	8260450	Condesuyos / Yanaquihua / Quebrada Layhua	Flujo de detritos	Alto
223911044	704150	8258650	Condesuyos / Yanaquihua / Cerro Laigua	Flujo de detritos	Alto
224011054	707350	8315600	La Unión / Charcana / Ayapallpa	Avalancha de rocas	Bajo
234131008	717700	8347400	La Unión / Pampamarca / Cerro Huajoto	Flujo de detritos	Bajo
234131009	717050	8350450	La Unión / Pampamarca / Cerro Chancaña	Flujo de detritos	Bajo
234121010	743050	8367935	La Unión / Huaynacotas / Cerro Chuntavara	Flujo de detritos	Bajo
234111011	742522	8368751	La Unión / Huaynacotas / Cerro Chuntayara	Flujo de detritos	Bajo
234141012	740594	8369059	La Unión / Huaynacotas / Cerro Chuchulla	Flujo de detritos	Bajo
234121013	739709	8368732	La Unión / Huaynacotas / Cerro Chillahua	Flujo de detritos	Bajo
234121014	744678	8363931	La Unión / Huaynacotas / Quebrada Pucacirca	Flujo de detritos	Medio
244131001	770700	8341750	La Unión / Puyca / Chojemeclla	Flujo de detritos	Bajo
244131004	771195	8344753	La Unión / Puyca / Quebrada Llimpi	Flujo de detritos	Bajo
244131005	772379	8345127	La Unión / Puyca / Cerro Huambo	Flujo de detritos	Bajo
244131006	773271	8345954	La Unión / Puyca / Palljacoral	Flujo de detritos	Bajo
244131007	774045	8347169	La Unión / Puyca / Huaycalle	Flujo de detritos	Bajo
244131008	775180	8348003	La Unión / Puyca / Cerro Huayculle	Flujo de detritos	Bajo
244131009	776167	8347088	La Unión / Puyca / Quillupuñuna	Flujo de detritos	Bajo
244131010	773740	8343925	La Unión / Puyca / Trapiche	Flujo de detritos	Bajo
244131011	772216	8342613	La Unión / Puyca / Quebrada Poisa	Flujo de detritos	Bajo
234041077	764550	8338300	La Unión / Puyca / Cerro Siajayocc	Flujo de detritos	Bajo
224111079	765466	8338684	La Unión / Puyca / Quebrada Puycatambo	Flujo de detritos	Bajo
224111081	754846	8333883	La Unión / Puyca / Quebrada Jescca	Flujo de detritos	Bajo
233911022	743680	8276719	Condesuyos / Andaray / Quebrada Ajocancha	Flujo de detritos	Bajo
224031021	677150	8306950	Páucar del Sara Sara / Pausa / Quebrada Uchpamarca	Flujo de detritos	Alto
224031034	677551	8310198	Páucar del Sara Sara / Pausa / Quebrada Huitco	Flujo de detritos	Medio
224041039	679500	8334850	Páucar del Sara Sara / Marcabamba / Quebrada Collullo	Flujo de detritos	Alto
224041041	680750	8334950	Páucar del Sara Sara / San Javier de Alpabamba / San Javier de Alpabamba	Flujo de detritos	Medio
224041043	680650	8332900	Páucar del Sara Sara / San Javier de Alpabamba / Caserío Alpabamba	Flujo de detritos	Alto
224041047	680000	8330250	Páucar del Sara Sara / San Javier de Alpabamba / Colpar	Flujo de detritos	Alto
224041048	679300	8330050	Páucar del Sara Sara / Marcabamba / Quebrada Chagmiri - Sequello	Flujo de detritos	Medio

Continuación...

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	**Nombre específico**	Grado de peligro
	X	Y			
224041051	683548	8323032	Páucar del Sara Sara / Colta / Colta	Flujo de rocas	Alto
224041052	677621	8320193	Páucar del Sara Sara / Lampa / Lampa	Flujo de detritos	Alto
224041061	679550	8326000	Páucar del Sara Sara / Colta / Villar	Flujo de detritos	Alto
214031001	634095	8307878	Parinacochas / Pullo / Tarco	Flujo de detritos	Medio
214021003	659833	8305223	Parinacochas / Puyusca / Quebrada Cule	Flujo de detritos	Medio
224131016	679800	8360150	Parinacochas / Coronel Castañeda / Margen derecha del río Pallancata	Flujo de detritos	Bajo
221131017	680826	8360493	Parinacochas / Coronel Castañeda / Pucara	Flujo de detritos	Medio
224131022	684550	8361800	Parinacochas / Coronel Castañeda / Sector Chacrapata - Aniso	Avalancha de rocas	Medio
224131024	683158	8362264	Parinacochas / Coronel Castañeda / Carretera Aniso - Pucará	Flujo de detritos	Medio
224131025	682508	8361888	Parinacochas / Coronel Castañeda / Margen derecha del río Aniso	Flujo de detritos	Medio
224131026	682150	8361100	Parinacochas / Coronel Castañeda / Margen izquierdo del río Aniso	Avalancha de rocas	Medio
224131038	670021	8354483	Parinacochas / Upahuacho / San Juan de Racchi	Avalancha de rocas	Bajo
224131039	670784	8353496	Parinacochas / Upahuacho / Avalancha de Rocas	Avalancha de rocas	Medio

6.4.4 Reptación

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla (figura 6.16). La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Dentro de este movimiento se incluye la *solifluxión* y la *gelifluxión* (figura 6.16); este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Por la escala de trabajo (1:50 000), en la cuenca del río Ocoña, se ha identificado solo una zona relevante afectada por procesos de reptación de suelos, los que representan el 0.2 % del total de movimientos en masa inventariados. Esta se ubica entre los caseríos de Naguapampa y Nagua Alta (fotografía 6.5).

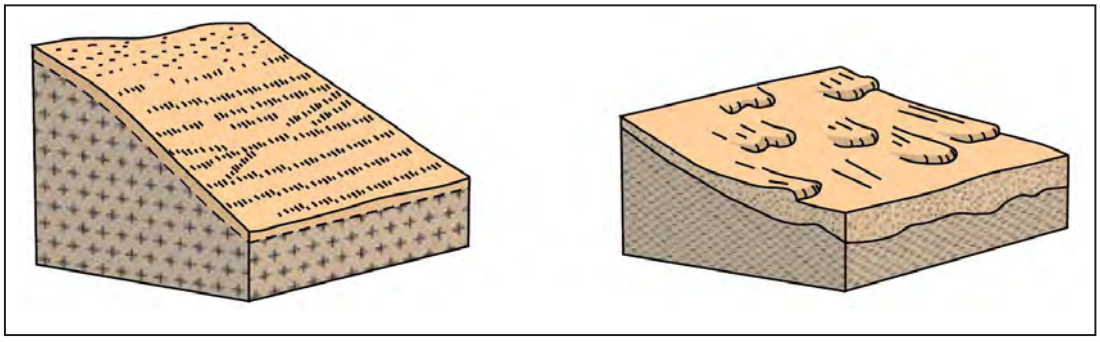


Figura 6.16 Esquemas de reptación y solifluxión, según Corominas Dulcet y García Yagué, 1997.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007.

Fotografía 6.5 Reptación de suelos ubicado entre los caseríos de Naguapampa y Nagua Alta, en el distrito de Lampa. Se observa árboles inclinados que indican la actividad del movimiento y su dirección.

6.4.5 Movimiento complejo

Agrupa las ocurrencias combinadas de eventos de deslizamientos-flujos, derrumbes-flujos, deslizamiento-flujo de tierras, caída de rocas-flujo de detritos u otro movimiento en masa de carácter complejo.

En la cuenca del río Ocoña, las ocurrencias de movimientos complejos (cuadro 6.5) representa el 4.1 % del total de ocurrencias de movimientos en masa inventariados; y al nivel jurisdiccional provincial, el 47 % de ocurrencias se ubica dentro de La Unión, 26 % en Páucar del Sara Sara, 21 % en Parinacochas y 5 % en la provincia de Condesuyos (figura 6.17).

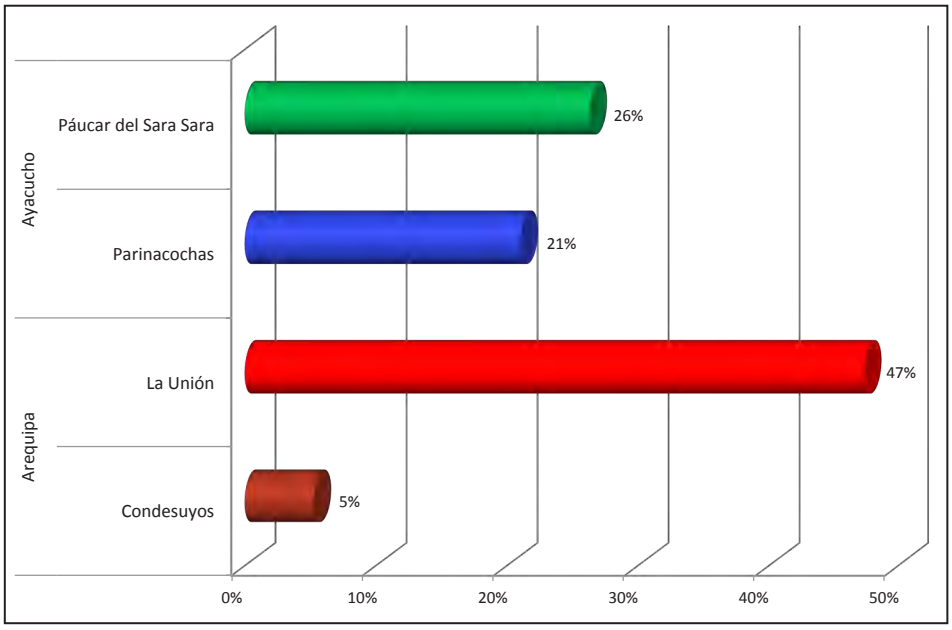


Figura 6.17 Porcentaje de ocurrencia de movimientos complejos por provincias en la cuenca del río Ocoña.

Cuadro 6.5

Principales lugares afectados por movimientos complejos

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	**Nombre específico**	Grado de peligro
	X	Y			
234041014	739450	8329350	La Unión / Huaynacotas / Antabamba	Derrumbe - flujo	Medio
234041026	739350	8328000	La Unión / Huaynacotas / Cerro Tarcanya	Derrumbe - flujo	Medio
234041054	720700	8313200	La Unión / Toro / Margen izquierdo de quebrada Toro	Derrumbe - flujo	Alto
234031057	722350	8312700	La Unión / Toro / Siringay	Derrumbe - flujo	Medio
224011058	709900	8313500	La Unión / Quechualla / Cerro Suramarca	Derrumbe - flujo	Alto
233941001	731850	8284350	Condesuyos / Salamanca / Salamanca	Deslizamiento - flujo	Medio
224011015	714400	8313750	La Unión / Charcana / Chusacay	Deslizamiento - flujo	Muy alto
234041037	715100	8317850	La Unión / Charcana / Quebrada Andamarca	Deslizamiento - flujo	Alto
224011055	709200	8315500	La Unión / Charcana / Cerro Jollca	Deslizamiento - flujo	Medio
224041045	679350	8332650	Páucar del Sara Sara / Marcabamba / Huataca	Derrumbe - flujo	Alto
224131002	674854	8349914	Parinacochas / Pacapausa / Ampi	Derrumbe - flujo	Muy alto
224131015	679498	8359937	Parinacochas / Coronel Castañeda / Margen izquierdo del río Pallancata - Cerro Pativilca	Derrumbe - flujo	Medio
224011001	697285	8320726	Páucar del Sara Sara / Oyolo / Huallunca	Deslizamiento - flujo	Bajo
224041042	680850	8333700	Páucar del Sara Sara / San Javier de Alpabamba / Quebrada Chacarumi	Deslizamiento - flujo	Alto
224131007	674550	8345525	Parinacochas / Pacapausa / Quebrada Joripaccha	Deslizamiento - flujo	Medio

6.5 PELIGROS GEOHIDROLÓGICOS

Los procesos geohidrológicos se originan en función de la pendiente y morfología del cauce fluvial, terrazas bajas y llanuras de inundación. Son generalmente inundaciones de tipo fluvial y erosión o socavamiento en las riberas o márgenes aluviales (terrazas), o procesos combinados[3].

La figura 6.18 muestra la distribución porcentual de peligros geohidrológicos (ocurrencias de erosión fluvial y áreas susceptibles a inundaciones) inventariados en la cuenca del río Ocoña al nivel provincial.

6.5.1 Erosión fluvial

Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas precipitaciones pluviales, en las vertientes o quebradas, aumenta el caudal de los ríos principales o secundarios que drenan la cuenca. El aumento de volúmenes de agua y sólidos en los ríos y en quebradas secas (provocada por flujos de detritos o huaicos) erosiona sus lechos y márgenes, y modifica lo que depositaron o acumularon en el período precedente. Como proceso geohidrológico, normalmente acompaña a las inundaciones, y muchas veces es la que antecede a esta. En su ocurrencia, intervienen los siguientes factores (Zavala *et al*., 2014):

- Factores geomorfológicos: morfología y dinámica del río, pendiente y ancho del cauce; tipo de drenaje meándrico, anastomosado, etc.; naturaleza del suelo o substrato en las márgenes.
- Factores hidrológicos: tipo de avenida o crecida del río con máximas estacionales o excepcionales, que incluye la cantidad o volúmenes de sólidos, muchas veces generados por huaicos.
- Antrópicos: ocupación de áreas susceptibles, falta de defensas ribereñas, mal diseño de puentes (longitud, luz y estribos), mala ubicación de estructuras.

En el área de estudio, se ha reconocido ocurrencias de erosión fluvial en los cambios de dirección de los ríos principales como Ocoña, Cotahuasi, Harcaya, Pampamarca, Marán y Chichas. Generamente, afectan terrenos de cultivo y trochas.

[3] Los desbordes y erosión en los lechos fluviales pueden ser generados también por dos situaciones. Una, como procesos secundarios de un movimiento en masa tipo huaico, cuando este se canaliza por su lecho, en donde se originan desbordamientos o albardones de material de lodo y agua. Dos, por el embalse de su cauce debido a un deslizamiento o derrumbe que lo obstruye de forma natural. En este último caso es afectado inicialmente aguas arriba (inundación) y, posteriormente, aguas abajo, cuando se rompe el dique (de forma natural o inducida). Se produce, entonces, gran erosión.

En la subcuenca del río Cotahuasi, las zonas con más lugares con erosión fluvial (cuadro 6.6) y donde podría afectar la infraestructura poblacional, se ubica desde la confluencia de los ríos Pampamarca y Cotahuasi hasta el poblado Alca. En el tramo antes mencionado, la erosión fluvial causa pequeños derrumbes y represamientos temporales (fotografías 6.6 y 6.7).

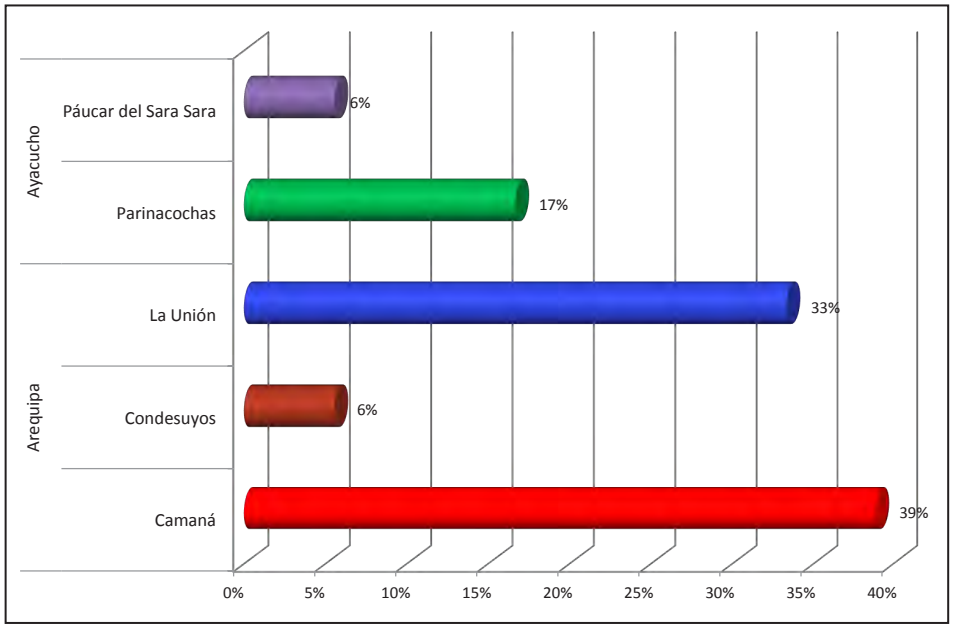


Figura 6.18 Porcentaje de ocurrencias de peligros geohidrológicos (erosión e inundación fluvial) en la cuenca del río Ocoña.

Fotografía 6.6 Erosión fluvial o socavamiento del pie de talud en la margen izquierda del río Cotahuasi, distrito de Cotahuasi.

Fotografía 6.7 Depósitos de derrumbes ocurridos a causa de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Cotahuasi, distrito de Cotahuasi.

Cuadro 6.6

Principales lugares afectados por erosión fluvial

Código de Inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
233931020	730725	8250925	Condesuyos / Andaray / Quebrada Castillo	Erosión fluvial	Bajo
234041033	732219	8321075	La Unión / Tomepampa / Cerro Yoqueyoque	Erosión fluvial	Alto
234041041	721036	8316401	La Unión / Pampamarca / Quebrada Cruzpata	Erosión fluvial	Muy alto
224021057	709500	8311800	La Unión / Quechualla / Allancay	Erosión fluvial	Muy alto
234041072	724900	8318350	La Unión / Pampamarca / Pampa Aymaña	Erosión fluvial	Muy alto
224041044	679922	8332821	Páucar del Sara Sara / San Javier de Alpabamba / Puente Huataca	Erosión fluvial	Alto
214031002	654064	8310669	Parinacochas / Puyusca / Río Pachjaya	Erosión fluvial	Bajo
224121021	698812	8361577	Parinacochas / Coronel Castañeda / San Gabriel	Erosión fluvial	Medio
224131027	684852	8362252	Parinacochas / Coronel Castañeda / Aniso	Erosión fluvial	Alto

6.5.2 Inundación fluvial

La inundación fluvial (cuadro 6.7) es un proceso natural recurrente en la historia dinámica de un río. Está asociada a precipitaciones pluviales extraordinarias que producen una excesiva descarga y aumento del caudal de los ríos, que originan avenidas que rebasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los lechos o cauces (citado por Zavala *et al*., 2014).

Por las características morfológicas del terreno (pendiente suave), las inundaciones fluviales podrían ocurrir excepcionalmente en las subcuencas Bajo Ocoña y Medio Bajo Ocoña, y afectarían tierras de cultivos ubicadas en ambas márgenes del río Ocoña (fotografía 6.8).

Fotografía 6.8 Terrenos de cultivos ubicados en la margen izquierda del río Ocoña (subcuenca Ocoña Bajo) susceptibles por inundaciones (vista aguas arriba), distrito Mariano Nicolás Valcárcel.

Cuadro 6.7

Principales lugares a ser afectados por inundación fluvial

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre específico	Grado de peligro
	X	Y			
254621006	701500	8183800	Camaná / Ocoña / Pumacoto	Inundación fluvial	Alto
223821016	699300	8198500	Camaná / Ocoña / Huantay	Inundación fluvial	Alto
223821018	698650	8200700	Camaná / Ocoña / Ceniceros	Inundación fluvial	Alto
223811019	697100	8202650	Camaná / Ocoña / Santa Rita - Ceniceros (aguas abajo)	Inundación fluvial	Alto
223811028	697450	8208800	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Al sureste del centro poblado Surita	Inundación fluvial	Alto
223811033	695650	8213900	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / La Corvina (aguas arriba)	Inundación fluvial	Alto
234041035	730450	8320950	La Unión / Huaynacotas / Taurisma	Inundación fluvial	Alto
223821036	702093	8182230	Camaná / Ocoña / Ocoña	Inundación fluvial	Bajo

6.6 OTROS PELIGROS NATURALES

Las características geomorfológicas, las condicionantes litológicas y los aspectos geodinámicos en la cuenca, la hacen susceptible a otros procesos geológicos, donde destacan la erosión de laderas, el hundimiento o karst, y los arenamientos.

Otros peligros naturales inventariados en la cuenca del río Ocoña al nivel provincial se distribuyen de la siguiente manera: 33 % en la jurisdicción de la provincia de La Unión, 24 % en la provincia de Consesuyos, 22 % en la provincia Páucar del Sara Sara, 11 % en la provincia de Parinacochas, 8 % en la provincia de Camaná, 2 % en la provincia de Aymaraes y 1 % en la provincia de Caravelí (figura 6.19).

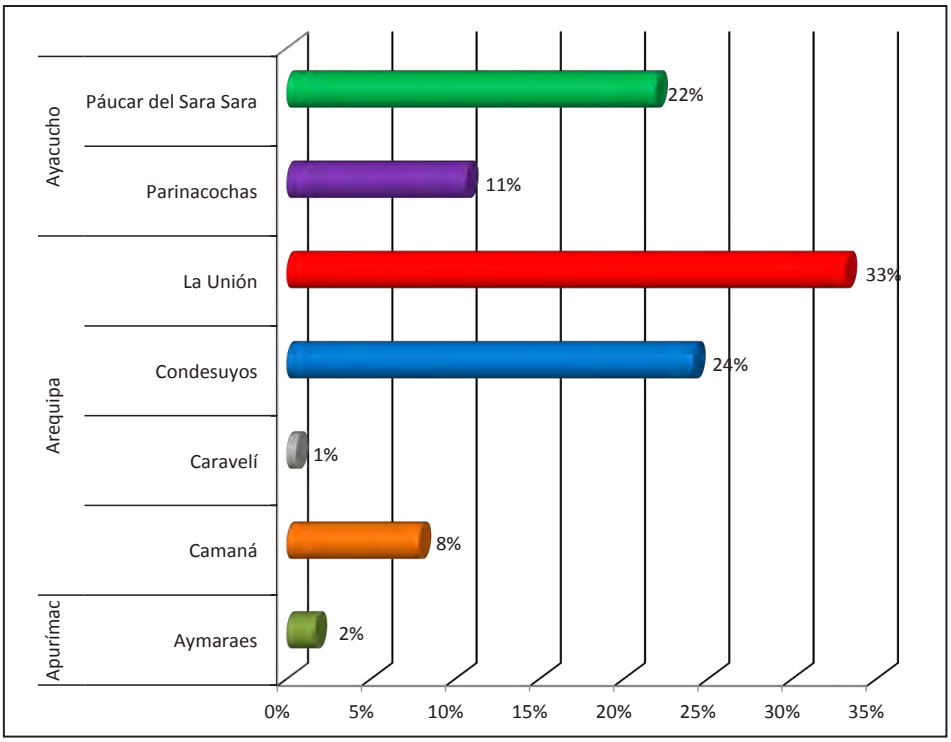


Figura 6.19 Porcentaje de ocurrencias de otros peligros naturales (arenamiento y erosión de ladera) en la cuenca del río Ocoña.

6.6.1 Arenamiento

Proceso activado por la acción eólica. En el área de estudio, este fenómeno se produce en zona que presenta morfología plano-ondulada y ladera de valles donde existe una dinámica eólica importante. Además, donde la dirección y velocidad del viento favorecen la migración y acumulación de arenas.

Dentro de la cuenca, se han inventariado 12 sectores principales afectados por arenamiento (cuadro 6.8), algunos activos y otros estabilizados, pero todos ubicados en la subcuenca Bajo Ocoña.

Uno de los eventos de arenamiento se ubica al noreste de la localidad de Ocoña (en el distrito del mismo nombre). Podría afectar las viviendas circundantes y la carretera Panamericana Sur. Además, las construcciones realizadas sobre estas arenas son vulnerables a sismos.

Cuadro 6.8

Principales lugares afectados por arenamiento

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
223821001	702599	8181015	Camaná / Ocoña / Pedregal	Arenamiento	Medio
223821002	702471	8181885	Camaná / Ocoña / Alto Panamericana	Arenamiento	Alto
223821003	702600	8183125	Camaná / Ocoña / Pumacoto	Arenamiento	Alto
223821009	698947	8193472	Camaná / Ocoña / Pararcana	Arenamiento	Medio
223821012	699687	8194881	Camaná / Ocoña / Al sureste del centro poblado Vilque	Arenamiento	Medio
223812017	699650	8200350	Camaná / Ocoña / Quebrada del Apio	Arenamiento	Medio
223811020	697273	8203263	Camaná / Ocoña / Santa Rita Ceniceros	Arenamiento	Medio
223811021	697753	8206534	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Cerro El Alto	Arenamiento	Medio
223811022	698850	8209250	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / El Curita / Cerro El Alto	Arenamiento	Medio
223811035	698200	8227150	Camaná / Mariano Nicolás Valcárcel / Cerro Cunocuno	Arenamiento	Alto

6.6.2 Erosión de laderas

La erosión de ladera es un proceso normal, inevitable y universal, que consiste en el desagaste y remodelado del paisaje terrestre original. Puede ser laminar, surco o en cárcava (Villota, 2005).

Erosión laminar. Se refiere a la remoción más o menos uniforme de láminas delgadas de suelo desde superficies inclinadas, sin que se formen claramente canales de desagüe. En la erosión laminar intervienen dos procesos fundamentales: a) el desprendimiento de partículas de suelo por la lluvia y b) el alejamiento de dichas partículas desde su emplazamiento primitivo por escurrimiento difuso (Citado por Villota, 2005).

Erosión en surcos. Se desarrolla a partir de la erosión laminar, con la cual no tiene un límite definido. La remoción de suelo ocurre en mayor cantidad a lo largo de pequeños canales formados por cursos intermitentes de escorrentía. Ocurre en suelos poco permeables y con pendientes medias a fuertes, o cuando la intensidad y la duración de las precipitaciones pluviales son intensas (Villota, 2005).

Erosión en cárcavas. Proceso intenso de erosión hídrica causado por escurrimiento superficial concentrado, capaz de remover material de suelo hasta profundidades considerables. La intensidad y la amplitud de la formación de cárcavas guardan una íntima relación con la cantidad de agua de escurrimiento y la velocidad de esta. Además, están reguladas por las características del suelo (permeabilidad y cohesión), del relieve, del clima y de la cobertura vegetal protectora. Las cárcavas pueden acrecentar sus dimensiones en profundidad, amplitud y longitud, gracias a diversos procesos que pueden ocurrir aislada o simultáneamente. El perfil transversal de las cárcavas puede ser en V o en U; todo depende del tipo de material existente (Villota, 2005).

Los procesos de erosión de laderas existentes dentro de la cuenca del río Ocoña, en muchos casos, condicionan la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y flujos de detritos o “chorreras”.

Estos procesos (cuadro 6.9) representan un porcentaje importante de los peligros naturales inventariados (162 de 662 ocurrencias principales) y abarcan algunas áreas con procesos desarrollados de erosión en surcos y cárcavas, con extensiones de centenas de metros. Afectan terrenos de cultivo y pastoreo, tramos de carreteras y, en algunos casos, viviendas rurales.

Algunos sectores con gran desarrollo de erosión en surcos y cárcavas (acompañado de reptación de suelos en áreas no mapeableas a la escala de trabajo) son las quebradas afluentes a los ríos Cotahuasi (fotografía 6.9), Huarcaya, Sumana, Pallancata, Colcamayo, Pacapausa, Huanca Huanca, Oyolo, Uchubamba, Marán, Chichas y Ocoña.

Fotografía 6.9 Se observa procesos de erosión en cárcava en talud de pendiente muy escarpado (>60°), ubicada en el talud de la margen izquierda del valle cañón del río Cotahuasi y a 50 m de la urbanización Pampa de Aymaña III Etapa, (Cotahuasi), distrito de Cotahuasi.

Cuadro 6.9

Principales lugares afectados por erosión de ladera

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
233941003	721550	8273550	Condesuyos / Chichas / Margen izquierda de la quebrada Visue	Erosión de ladera	Bajo
233941005	719274	8278745	Condesuyos / Chichas / Cerro Buenavista	Erosión de ladera	Alto
233941007	721937	8280590	Condesuyos / Chichas / Cerro Anchachani	Erosión de ladera	Bajo
233941008	726020	8283071	Condesuyos / Salamanca / Cerro Ichuso	Erosión de ladera	Bajo
233941012	720500	8279000	Condesuyos / Chichas / Atijta	Erosión de ladera	Muy alto
233941015	726409	8274390	Condesuyos / Chichas / Cuenca Alta del río Cuchuc-cencca	Erosión de ladera	Alto
233941017	720000	8269950	Condesuyos / Yanaquihua / Quebrada Huichucuy	Erosión de ladera	Bajo
224011002	695377	8321209	Páucar del Sara Sara / Oyolo / Oyolo	Erosión de ladera	Bajo
224011004	714050	8318100	La Unión / Charcana / Puente Ancaylla	Erosión de ladera	Alto
224011005	713800	8316000	La Unión / Charcana / Cerro Querquena	Erosión de ladera	Alto
224011007	705800	8313200	La Unión / Charcana / Quebrada Allamayo	Erosión de ladera	Alto
224021011	707600	8312150	La Unión / Charcana / Perccaray Concha	Erosión de ladera	Medio
234041002	727400	8325700	La Unión / Pampamarca / Santa Rosa - Anchacani	Erosión de ladera	Alto
234041021	736173	8325156	La Unión / Huaynacotas / Luicho Chico	Erosión de ladera	Alto
234041032	731825	8321550	La Unión / Huaynacotas / Taurisma	Erosión de ladera	Medio
234041045	723090	8320690	La Unión / Pampamarca / Cerro Churcana	Erosión de ladera	Medio
234041048	718425	8318600	La Unión / Pampamarca / Quebrada Hauncape	Erosión de ladera	Alto
234031055	724875	8312000	La Unión / Toro / Ancaro	Erosión de ladera	Medio
234031056	721950	8310850	La Unión / Toro / Cerro Loccoccoy	Erosión de ladera	Alto
234041061	718250	8314250	La Unión / Charcana / Catarata Sipia	Erosión de ladera	Muy alto
224031017	674586	8306621	Páucar del Sara Sara / Pausa / Tonsio - Quebrada Achalani	Erosión de ladera	Medio
224031019	674700	8303500	Páucar del Sara Sara / Pausa / Quebrada Jalane	Erosión de ladera	Medio
224031022	682000	8302400	Páucar del Sara Sara / Pausa / Margen izquierda del río Acopampa	Erosión de ladera	Alto
224031023	675600	8309250	Páucar del Sara Sara / Pausa / Quebrada Orococha	Erosión de ladera	Medio
224031024	673550	8311800	Páucar del Sara Sara / Pausa / Cerro Poccoicha	Erosión de ladera	Alto
224031026	665150	8317350	Páucar del Sara Sara / Pararca / Pararca	Erosión de ladera	Medio
224031027	667250	8316650	Páucar del Sara Sara / Pararca / Colcabamba	Erosión de ladera	Medio
224031028	675100	8312650	Páucar del Sara Sara / Pausa / Anexo Santa Rosa de Acola	Erosión de ladera	Medio
224031033	678650	8310700	Páucar del Sara Sara / Pausa / Caras Pampa	Erosión de ladera	Alto
224031049	677500	8294450	Caraveli / Cahuacho / Quebrada Nauquipa -Pirca	Erosión de ladera	Medio
224031053	678725	8308450	Páucar del Sara Sara / Pausa / Margen derecha de la quebrada Uchpamarca	Erosión de ladera	Muy alto
224131013	675016	8349711	Parinacochas / Pacapausa / Ampi	Erosión de ladera	Alto
224111080	759957	8334713	La Unión / Puyca / Margen derecha del río Sumana	Erosión de ladera	Bajo
224021062	705625	8306950	La Unión / Quechualla / Quebrada Huaylla	Erosión de ladera	Bajo

Continuación...

Código de inventario	Coordenadas		Provincia/Distrito/Paraje o sector	Nombre **específico**	Grado de peligro
	X	Y			
224021064	704050	8303725	La Unión / Tauría / Quebrada Ushua	Erosión de ladera	Bajo
224021065	703550	8300250	La Unión / Tauría / Quebrada Huaccaccmama	Erosión de ladera	Bajo
214121001	648900	8353000	Parinacochas / Coracora / Cerro Pucasayhua	Erosión de ladera	Bajo
224131019	682060	8360350	Parinacochas / Coronel Castañeda / Cerro Pativilca	Erosión de ladera	Bajo
224131029	687150	8362100	Parinacochas / Coronel Castañeda / Cerro Jaruayo	Erosión de ladera	Bajo
224131032	664771	8361192	Aymaraes / Cotaruse / Sicuya	Erosión de ladera	Medio
224131041	677386	8344077	Parinacochas / Pacapausa / Cerro Sexeniyoc	Erosión de ladera	Bajo
224131043	676050	8341600	Parinacochas / San Francisco de Ravacayco / Chiroca	Erosión de ladera	Bajo
224131044	676450	8342600	Parinacochas / San Francisco de Ravacayco / Quebrada Cagri	Erosión de ladera	Bajo

6.7 PELIGRO SÍSMICO

El Perú, por su ubicación geográfica en la zona central y occidental de Sudamérica y frente a la influencia del proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, da origen a un gran número de sismos de diferentes magnitudes. Los focos a diversos niveles de profundidad han producido en superficie distintos grados de destrucción. Estos sismos son parte de la principal fuente sismogénica, dado que en ella se han producido los sismos de mayor tamaño conocidos en el Perú. Una segunda fuente la constituye la zona continental, cuya deformación produce la formación de fallas de diversas longitudes con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores en tamaño a los que se producen en la primera fuente (Cahill y Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 2001).

En estas condiciones, en el Perú los sismos se constituyen como el mayor peligro al cual se encuentra sometido nuestro territorio. De ahí que los daños que ellos provocan en las ciudades dependerán de su tamaño y de la capacidad de respuesta de las estructuras a la aceleración a la cual son sometidas. La correcta equivalencia entre estos dos factores permitirá reducir los daños causados por este tipo de peligro. Para el monitoreo de la actividad sísmica que ocurre en el territorio peruano, el Instituto Geofísico del Perú opera una red sísmica nacional compuesta por 31 estaciones, de las cuales 20 son de periodo corto y 11 de banda ancha.

6.7.1 Sismicidad histórica

La historia que se conoce con relación a los acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, según datos históricos disponibles, indica una intensa actividad sísmica en la cuenca del río Ocoña, ocurrida entre los siglos XVI y XX.

En los últimos 400 años, la región sur del Perú ha sido afectada por más de 30 terremotos de severidad variable. Asimismo, la ciudad de Arequipa, en los últimos 35 años ha soportado efectos de terremotos en 1958, 1960, 1979, 1999 y 2001. Para mayor detalle se presenta los cuadros 6.10 al 6.13 (Silgado, 1978).

Cuadro 6.10

Descripción de macrosismos ocurridos en la zona de estudio entre 1555 y 1725

Fecha	Localidades	Intensidad	Observaciones
1555	Arequipa	VIII	Casas dañadas y provoca la muerte de varias personas, de acuerdo con el libro de Cabildos de dicha ciudad.
1582-01-22	Socabaya	X	Dejó en ruinas la ciudad; causó el derrumbe de 300 casas y el fallecimiento de más de 35 personas. Los templos de San Francisco y La Merced sufrieron severos daños.
1600-02-19	Omate, Arequipa	IX	Epicentro en Moquegua por la explosión fuerte del Volcán Huaynaputina (Omate), en cuyas inmediaciones quedaron sepultados seis o siete pueblos. El río Tambo quedó represado.
1604-11-24	Moquegua, Tacna y Arequipa	X	Epicentro en Tacna, arruinó las ciudades de Tacna, Arequipa, Moquegua y Arica. El mar se salió en el Puerto de Arica y causó la muerte de 23 personas.

Continuación...

Fecha	Localidades	Intensidad	Observaciones
1687-10-21	Arequipa	VIII	Fuerte sismo en Arequipa causó serios daños en sus templos y viviendas. También afectó los valles de Sihuas y Majes. Sismo llamado Santa Úrsula por celebrarse ese día su festividad.
1715-08-22	Arequipa	XII	Averió casas en Arequipa, y algunas quedaron inhabitables. Derrumbes de partes altas de los cerros sepultaron a los pequeños pueblos situados en las colinas y valles. Las réplicas se siguieron sintiendo en forma continua durante dos meses.
1716-02-06	Tarata, Moquegua	IX	Causó gran mortandad. Se salvó únicamente una persona. Destruyó totalmente el pueblo de Tarata.
1725-01-08	Arequipa	VII	Se estremeció la tierra con tal estruendo y violencia que las personas apenas se pudieron sostener de pie.
			Destruyó varios templos y la mayor parte de las casas.
			Hubo una gran polvareda que cubrió toda la ciudad.
1725-03-27	Moquegua	VII	Conmoción en toda la costa sur del Perú. Sufrió daños el pueblo de Camaná al salirse el mar.

Cuadro 6.11

Descripción de macrosismos ocurridos en la zona de estudio entre 1784 y 1917

Fecha	Localidades	Intensidad	Observaciones
1784-05-13	Arequipa	X	Perecieron 54 personas. La ciudad sufrió ruinas de edificios y viviendas, cayó el arco del puente y se deterioró el empedrado de sus calles. Hubo el derrumbe de dos templos antes de que ocurra el terremoto, como previo aviso.
			Tuvo una duración de 4 a 5 minutos de varias réplicas.
1821-07-10	Camaná-Ocoña	VII	Gran movimiento de tierra que causó grandes daños en los pueblos de Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y valle de Majes. Se contaron 70 muertos en Camaná y Ocoña, 60 en Chuquibamba y 32 en Caravelí.
1831-10-08	Tacna, Moquegua y Arica	VII	En Arica hubo varios muertos y heridos como consecuencia del desplome de varias casas. Se llegó a sentir hasta Bolivia.
1833-09-18	Tarata y Moquegua	VII	Redujo parte de la ciudad de Tacna a escombros. Dejó un saldo de 18 muertos y 25 heridos.
1868-08-13	Moquegua, Tacna, Arica y Arequipa	XI	Dejó en ruinas las ciudades de Moquegua, Tacna, Tarata y Arica. Murieron 180 personas en todo el sur. Según el Dr. J. Polo, “este sismo pudo ser como uno de los mayores que se haya verificado en el Perú”. Su epicentro fue en Arica, acompañado de un Tsunami que afectó Arica con 12 m. de altura. La Catedral de Arequipa quedó destruida, así como el Portal de Flores y la Iglesia de la Compañía. Tuvo una intensidad de IX en la escala de MM.
1877-05-09	Arequipa	VII	Destruyó las poblaciones de Mollendo, Ilo, Arica. Fue seguido de un Tsunami que inundó los puertos de Ilo y Arica. Más al sur fueron arrasados los puertos de Pica y Mejillones, con olas de 20 m de altura, Dejó un saldo de 33 muertos.
1878-01-23	Arequipa, Tacna, Arica y Arequipa	VII	Sentido en Arequipa y Tacna, cayeron varias casas en el antiguo Tarapacá. El oleaje marino producido por la conmoción inundó los pueblos costeros del sur.
5/16/1908	Tacna y Arica	VII	Sacudida de dos minutos de duración que ocasionó desplomes de casas y cuarteado de paredes en Tacna y Arica.

Continuación...

Fecha	Localidades	Intensidad	Observaciones
7/28/1913	Chala y Mollendo	VIII	Violento sismo en la costa sur del Perú, entre los Puertos de Chala y Mollendo. Ocasionó la rotura de tres cables submarinos, debido al deslizamiento del talud submarino, según Cía. Americana de Telégrafos.
8/6/1913	Caravelí	VIII	El movimiento de pocos segundos de duración produjo desplome de edificios y derrumbes en las laderas del valle, y varios muertos. Sufrieron igualmente todos los pueblos del valle de Majes, especialmente Chuquibamba (2 921 m s. n. m.), donde además de desplomarse la iglesia mayor se deterioraron los edificios y viviendas. Otros daños se apreciaron en Cailloma (4 354 m s. n. m.); su iglesia matriz quedó agrietada. En la ciudad de Arequipa hubo averías en algunos edificios públicos, mientras que en la zona costera sufrieron las poblaciones de Ocoña y Atico.
9/11/1914	Caravelí	VII	Se repitió en Caravelí, reedificada después de la catástrofe de 1913, otro violento terremoto que lo volvió a dejar en escombros y ocasionó derrumbes en los cerros que rodeaban esa ciudad. En Nazca hubo víctimas y el desplome de la nueva iglesia.
3/21/1917	Cailloma	VII	Cailloma en Arequipa quedó en ruinas por un violento movimiento. Hubo 22 muertos y muchos heridos.

Cuadro 6.12

Descripción de macrosismos ocurridos en la zona de estudio entre 1920 y 1948

Fecha	Localidades	Intensidad	Observaciones
10/7/1920	Limítrofe entre Arequipa-Ayacucho	VII	Terremoto en las zonas limítrofes de los departamentos de Ayacucho y Arequipa. Santa Lucia, capital del distrito de lucanas, quedó tan destruida que sus pobladores tuvieron que refugiarse en carpas hechas en su plaza de armas. En los distritos de Acarí y Jaqui, del departamento de Arequipa, hubo numerosos daños materiales y algunas perdidas de vida. En Chala, se cayó pared y columnas de la iglesia, así como cercas de las haciendas. Otros daños se produjeron en Cachendo, estación del ferrocarril a Puno. Gran alarma causó en Caravelí y Huanta. Sentido intensamente en las ciudades de Arequipa, Mollendo, Ica y Chincha.
10/11/1922	Caravelí	VII	Sismo destructor del pueblo de Caravelí donde cayeron muchas casas. En Arequipa y en el puerto de Mollendo causó daños de consideración. Otros efectos se notaron en Acarí y Quicacha. Fuerte en Nazca, Puquio, Palpa, Chala y Cañete.
10/11/1939	Valle de Majes	VII	El Observatorio Sismológico de Lima registra 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 m s. n. m.), situado en el valle del río Majes, había sido afectado. Su iglesia, la cárcel y la municipalidad sufrieron graves daños y muchas casas se desplomaron. En la aldea de Chuquibambilla (3 343 m s. n. m.), en las inmediaciones del río Vilcabamba, tributario del río Apurímac, se destruyeron muchas viviendas, lo mismo que en Caravelí en la vertiente Pacífica. El sismo causó otros daños en los edificios de las ciudades de Arequipa y Moquegua. Con gran intensidad se sintió en las poblaciones de Puquio, Quicacha, Palpa y en los puertos de Chala y Mollendo.
8/24/1942	Región limítrofe entre Ica y Arequipa	IX	Terremoto en el sector limítrofe entre los departamentos de Ica y Arequipa en un área de 18 000 km^2, donde ocurrió gran destrucción. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas y hubo 25 heridos. Quedaron en escombros las poblaciones vecinas de Acarí y Jaqui, y los daños se extendieron hasta las poblaciones de Quincacha, Atiquita y Palpa. En Caravelí solo resistieron al sismo los edificios de reciente construcción. Fue sentido en Camaná, Chuquibamba, Aplao y Mollendo. El sismo tuvo un minuto de duración. Los pueblos cordilleranos de Coracora, Huancapi y otros experimentaron algunos daños. En el puerto de Chala la sacudida alcanzó tal violencia que varias personas fueron arrojadas al suelo al perder la estabilidad. Un testigo narraba que "las casas tenían movimiento semejante al de un barco azotado por una tempestad". El nuevo hotel de turistas sufrió el cuarteamiento de sus paredes.

Continuación...

Fecha	Localidades	Intensidad	Observaciones
5/11/1948	Arequipa, Arequipa, Moquegua y Tacna	VII	Dejó un saldo de 1 muerto y 66 heridos. Los efectos destructores fueron dentro de un área aproximada de 3 500 km^2.
7/21/1955	Caravelí	VII	Movimiento sísmico a lo largo de la costa entre los paralelos 11° a 18° Lat. S. En la ciudad de Caravelí, departamento de Arequipa, ocasionó algunos agrietamientos de paredes y el derrumbe de la Iglesia del Beaterio (Grado VI-MM). Alarma en las ciudades de Ica y Arequipa. Distancias de los Observatorios de Lima y la Paz 580 y 560 km respectivamente (para un foco de 60 Km de profundidad).

Cuadro 6.13

Descripción de macro sismos ocurridos en la zona de estudio entre 1955 y 2001

Fecha	Localidades	Intensidad	Observaciones
1/15/1958	Arequipa	VIII	Causó 28 muertos y 133 heridos. Todas las casas construidas a base de sillar sufrieron averías, pero los inmuebles construidos a partir de 1940 y los edificios modernos resistieron. Afectó los distritos de Tiabaya, Sabandía, Miraflores y Yarabamba. Hubo gran polvareda, daños al Ferrocarril y Carretera Panamericana. Agrietamientos con eyección de aguas negras en Camaná.
1/13/1960	Arequipa	IX	Perecieron 63 personas y quedaron centenares de heridos. La población de Chuquibamba quedó en escombros. Sufrieron destrucción las viviendas construidas a base de sillar. En Mollendo hubo caídas de cornisas. La carretera a Puno y a las diversas localidades del departamento quedaron inutilizadas. Hubo polvareda oscura y densa en la ciudad.
2/16/1979	Camaná y Corire	VII	Se sintió con mayor intensidad (VI) en Mollendo, La Planchada, La Joya, Punta de Bombón, Sihuas, Uchumayo y Camaná. Sus viviendas sufrieron daños.
7/23/1991	Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya y Hualca Hualca	VIII	Sismo superficial de 3.6 km y magnitud de 5.4 mb. Produjo en superficie importantes asentamientos y deslizamientos de tierra, además de numerosos desprendimientos de roca a lo largo de las pendientes del río Colca. Las localidades más afectadas fueron las de Lari y Maca, en donde un 20 % y 80 % de las viviendas fueron destruidas, además de 14 personas fallecidas y numerosos heridos.
2/1/1992	Sahuana-Sepina-Achoma	VII	Sismo sentido en un área de aproximadamente 144 km^2. Produjo deslizamientos de tierra y caída de rocas sobre las carreteras y canales de regadío. La mayor intensidad, con VII MM, se localizó en las localidades de Visconoja, Huitohuasi y Layuni, todas ubicadas al sur de la Pampa Sepina.
4/3/1999	Arequipa	VII	Conocido como el “terremoto de Arequipa”, llega a los 6 grados en la escala de Richter.
6/23/2001	Arequipa	VII	Terremoto de 7 grados en la escala de Richter afecta al 80 % de la población y ocasiona el derrumbe de algunos poblados, el 90 % de las viviendas. La ciudad quedó incomunicada y las líneas telefónicas y viviendas fueron seriamente dañadas. En ciudades aledañas, como Arequipa, Moquegua y Tacna, murieron más de 70 personas. Además, un fuerte Tsunami arrasó la localidad de Camaná.

Para la mayoría de los sismos, Silgado (1978) elaboró mapas de intensidades (Isosistas), de los cuales dos afectaron con alta intensidad a la región Arequipa y, por consiguiente, al valle del río Ocoña. Estos corresponden a los sismos del 24 de noviembre de 1604 (figura 6.20) y del 23 de junio del 2001 (figura 6.21).

6.7.2 Tsunamis

Los tsunamis son una serie de ondas marinas de gran tamaño que han sido generadas por una perturbación en el interior del océano, al ocurrir principalmente un movimiento sísmico superficial (h<60km) con foco en el fondo marino. Dependiendo del tamaño del sismo, las olas pueden alcanzar diversas alturas y muchas veces recorren distancias tan grandes como la existente entre la costa occidental de Sudamérica y la oriental de Japón, a velocidades que prácticamente no son perceptibles sobre la superficie del océano. Del mismo modo, las dimensiones de las áreas inundadas en el continente dependerán del tamaño del sismo y de su ubicación con relación a la línea de costa.

Historia de los tsunamis

Según la historia sísmica de Perú, su costa ha sido afectada por varios tsunamis que se produjeron después de haber ocurrido importantes sismos en los años 1968, 1966, 1960, 1996 y 2001. A continuación, se presenta una breve descripción de las características de estos tsunamis.

El Tsunami del 13 de agosto de 1968, que causó daños desde Trujillo (Perú) hasta Concepción (Chile). En Arica una nave de guerra fue varada 400 m tierra adentro. Se sintió en puertos lejanos como Hawai y Japón, epicentro frente a Arica, la altura de la ola registrada fue de 21 m en Concepción.

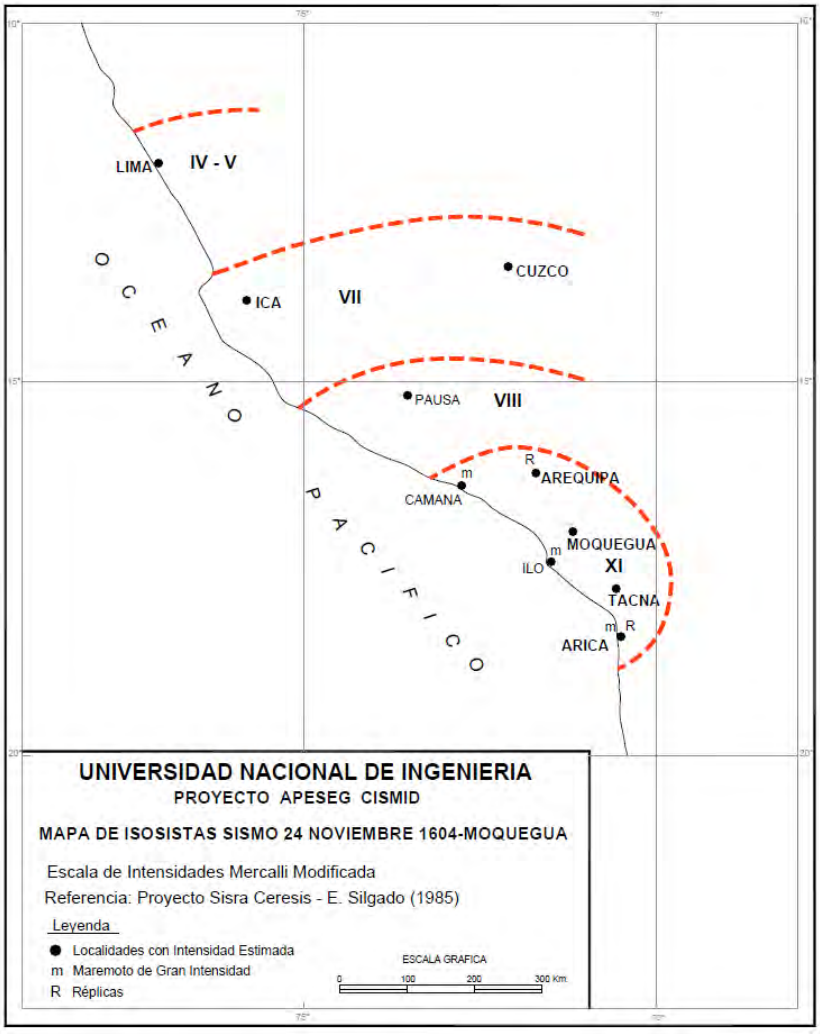


Figura 6.20 Mapa de Isosistas del sismo del 24 de noviembre de 1604 en Arequipa.

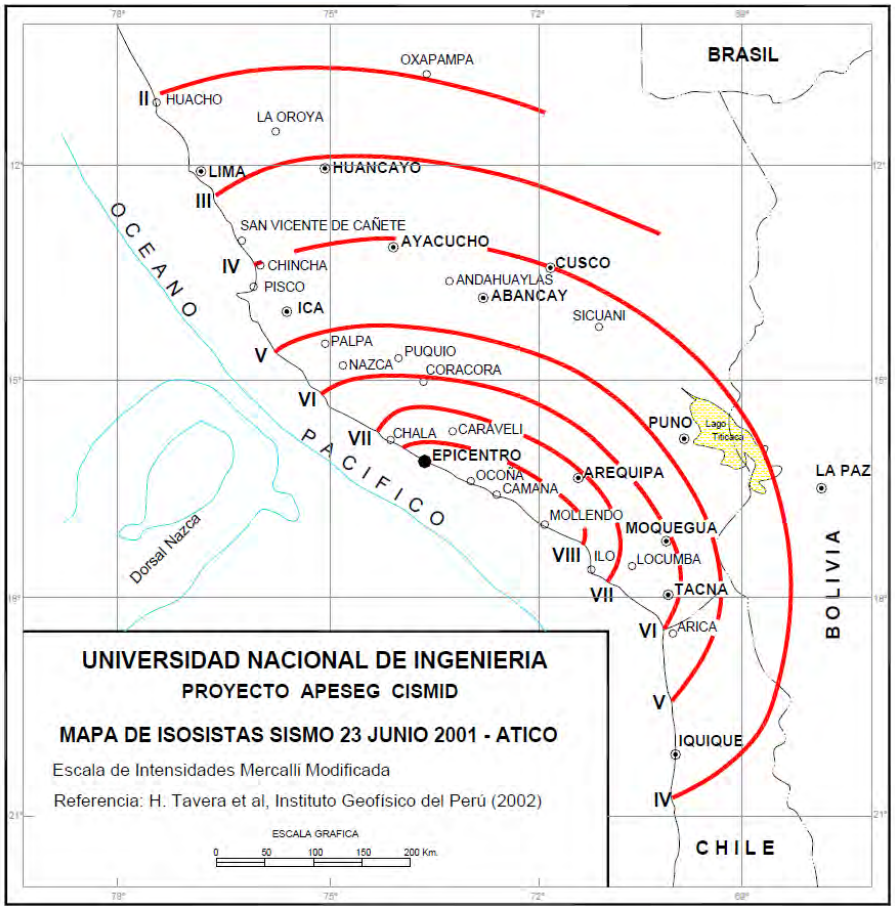


Figura 6.21 Mapa de Isosistas del sismo del 23 de junio de 2001 en Arequipa.

El Tsunami del 21 de febrero de 1966, originado por sismo a 210 km al SO de Chimbote, de magnitud 6.9 escala Ritcher. Hubo 15 muertos. La altura de la ola sobrepasó los 5 m tanto en el punto de Chimbote como en caleta Coishco. Los efectos del tsunami se sintieron a lo largo del litoral costero.

Además de la ocuerrencia del Tsumami del 23 de junio del 2001 en Camaná (lugar muy cercano a la zona de estudio), al nivel histórico se tiene que, en 1590 se produjo una salida del mar que afectó campos de cultivo. En 1600 se produjo otra salida del mar que afectó campos de cultivo. El 24 de noviembre de 1604 se produjo tsunami que afectó el litoral costero y campos de cultivo. El 13 de agosto de 1968 ocurrió uno de los tsunamis más importantes, donde el mar se salió más de 2 Km aproximadamente, llegó hasta la “Legua”, hoy monumento del Club de Leones. El 21 de junio de 2001 se produjo tsunami que afectó a Camaná, originado por un sismo con epicentro en el mar, al NO de Ocoña, magnitud 6.9 en la escala de Ritchter. Se generó olas de hasta 8.14 m, causó 23 muertos, 63 desaparecidos y cuantiosos daños materiales. Las olas más altas se produjeron en el sector de San Agustin-Camaná, y la mayor distancia de inundación se dio en el caserío de Pucchun, con 1 089.6 m.

Un catálogo detallado de los principales tsunamis que afectaron la costa de Perú puede ser encontrado y consultado en la publicación realizada por Carpio y Tavera (2002).

Analizando el cuadro 6.14, podemos concluir que el sur del Perú es potencialmente sísmico. Por lo tanto, es susceptible a la ocurrencia de sismos de gran magnitud acompañados de tsunamis que inundarían las ciudades y localidades distribuidas a lo largo de nuestro litoral costero, incluida la desembocadura de la cuenca del río Ocoña.

Cuadro 6.14

Zonas costeras afectadas por tsunamis que incluyen la costa de la cuenca del río Ocoña

Fecha	Lat.	Long.	Magnitud (ms, mb, mw)	Intensidad fuente (mm)	Localidades afectadas
19/02/1600	16.8	70.9	7.9 Ms	XI	Sur del Perú, Norte de Chile
28/02/1600	16.6	70.8	8.1 Ms	X	Sur del Perú, Norte de Chile
14/11/1604	7	80.3	6.5 Ms	VI	Sur del Perú, Norte de Chile
16/09/1615	18.3	71	8.8 Ms	IX	Sur del Perú, Norte de Chile
10/03/1681	18.5	70.3	7.5 Ms		Sur del Perú, Norte de Chile
26/11/1705	18.6	70.2	-		Sur del Perú, Norte de Chile
23/08/1715	18.5	70.3	7.5 Ms		Sur del Perú, Norte de Chile
13/08/1858	16.4	16.4	8.8 Ms	X	Sur del Perú, Norte de Chile
24/08/1871	17.5	72	8.4 Ms	VI	Sur del Perú, Norte de Chile
7/28/1913	16.6	73.3	7.0 Ms	IX	Sur del Perú, Norte de Chile
8/6/1913	15.8	73.5	7.8 Ms	X	Sur del Perú, Norte de Chile
1/6/1922	16.5	73	7.2 Ms		Sur del Perú, Norte de Chile
8/24/1942	15.6	74.7	8.2 Ms	X	Sur del Perú, Norte de Chile
1/13/1960	16.2	72.1	7.5 Ms	X	Arequipa
2/16/1979	16.6	72.8	6.9 Ms	VII	Camaná (Arequipa)
7/22/2001	19.5	69.3	6.4 Mw	VIII	Camaná, Matarani (Arequipa)

6.7.3 Movimientos en masa detonados por sismos

Luego de la revisión del mapa de *Áreas de deslizamientos por sismos en el Perú* (Alva & Chang, 1987) y buscando encontrar relaciones entre los deslizamientos y sismos, para el caso de la cuenca del río Ocoña se encontró relación entre el terremoto en Arequipa del 15 de enero de 1958 (Silgado, 1978) y los deslizamientos ocurridos en la Carretera Panamericana entre Chala y Arequipa, donde la zona más afectada fue entre Atico y Camaná.

6.7.4 Licuación de suelos y deformaciones superficiales

Licuación de suelos ocurre en materiales no consolidados saturados de agua que pierden su capacidad de soporte temporalmente mientras ocurre el sismo. Es una de las amenazas geológicas más destructivas. Por las caraceristicas litológicas, en la cuenca del río Ocoña este evento podría ocurrir en las márgenes del río del mismo nombre, entre las localidades de Ocoña y Urasqui.

6.7.5 Distribución de máximas intensidades sismicas

Según el Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas para el Perú (figura 6.22), que representa el nivel de daño independiente de la causa, que puede ser vibración de suelo, licuación, deslizamientos provocados por terremotos u otros, en el área de la cuenca del río Ocoña se observa que prevalecen las intensidades máximas del orden de VIII (MM).

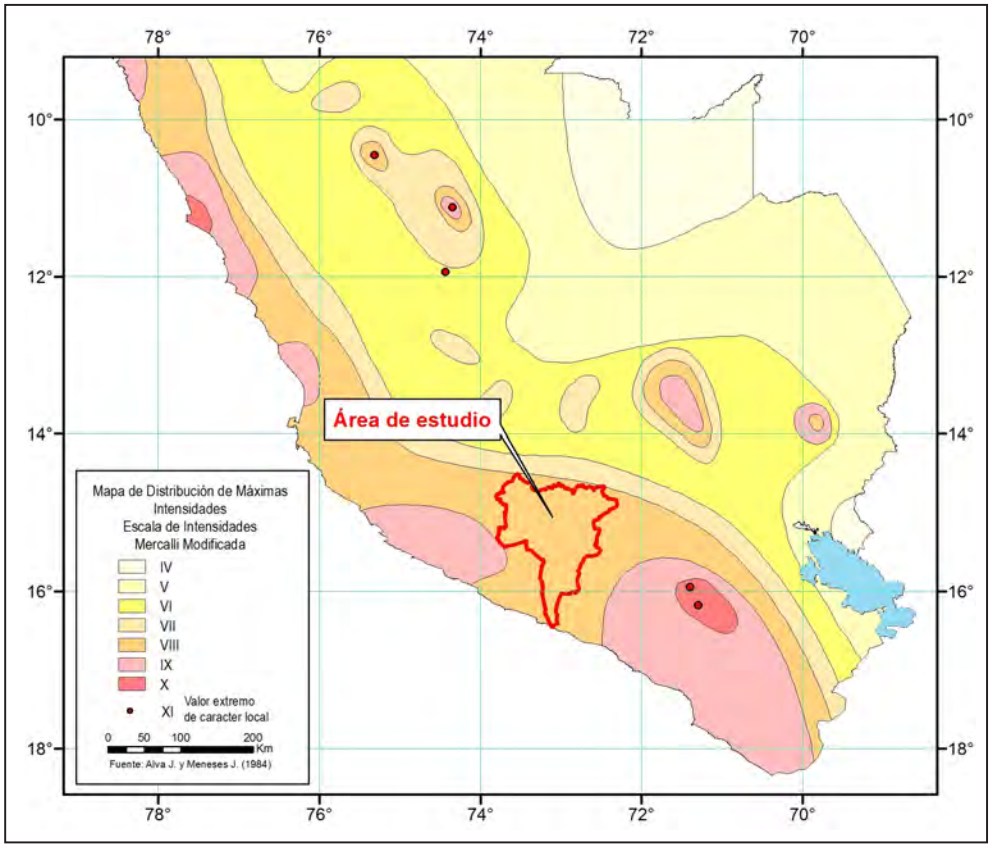


Figura 6.22 Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas.
Fuente: Alva *et al*., 1984).

6.7.6 Distribución espacial de los sismos

Para el análisis de la distribución espacial de los sismos ocurridos en el Perú se ha utilizado la base de datos históricos e instrumental del Instituto Geofísico del Perú, que considera los sismos ocurridos entre los años 1500 y 2015. Según el mapa de la figura 6.12, los sismos han sido clasificados en superficiales (h<60km), intermedios (61<h<350 km) y profundos (h>351 km). Su distribución espacial muestra que los sismos superficiales ocurren frente a la línea de costa y representan un 90 % del total de la actividad sísmica que ocurre en el Perú, aun considerando todos los niveles de profundidad.

Esta sismicidad puede ser asociada principalmente al proceso de subducción en sus primeros niveles de profundidad y agrupa a los sismos de mayor magnitud que ocasionaron diversos grados de destrucción y muerte en las ciudades distribuidas a lo largo de la línea de costa del Perú. Los sismos que ocurren en el interior del continente y que se distribuyen de norte a sur, paralelos a la cordillera de los Andes, podrían tener su origen en las importantes deformaciones superficiales puestas en evidencias con la presencia de un gran número de fallas.

En la sección A – A´ los sismos se distribuyen en profundidad, con características diferentes a las otras regiones (figura 6.23). La profundidad de los focos sísmicos aumenta linealmente de oeste a este de manera continua, con una pendiente de 30° hasta los 190 km de profundidad, aproximadamente. Esta sismicidad alcanza una distancia en superficie de 415 km desde el punto A, mientras que a distancias mayores solo se observa la presencia de sismos con foco superficial (h<= 60km).

6.7.7 Estudio sísmico probabilístico

Con el propósito de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo que en el futuro pudiera ocurrir en la cuenca del río Ocoña, se ha procedido a evaluar el peligro sísmico de dicha región utilizando la base de datos sísmicos del Catálogo Sísmico del IGP, la ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1980), y las fuentes sismogénicas definidas por Zamudio y Tavera (2004). Para el cálculo de las aceleraciones máximas se ha hecho uso del programa RISK III (McGuire, 1999).

Se muestra los mapas de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 20, 50 y 100 años con un 10 % de excedencia dentro de la región. Para 20 años oscilan entre 218 a 340 gals (figura 6.24), para el periodo de 50 años de vida útil varían de 272 a 400 gals (figura 6.25) y para 100 años varían de 315 a 450 gals (figura 6.26). Estos resultados muestran que las áreas más propensas a soportar aceleraciones importantes se encuentran en el sector suroeste de la cuenca del río Ocoña, lo que es coherente con el importante número de sismos que en dicha área ocurren.

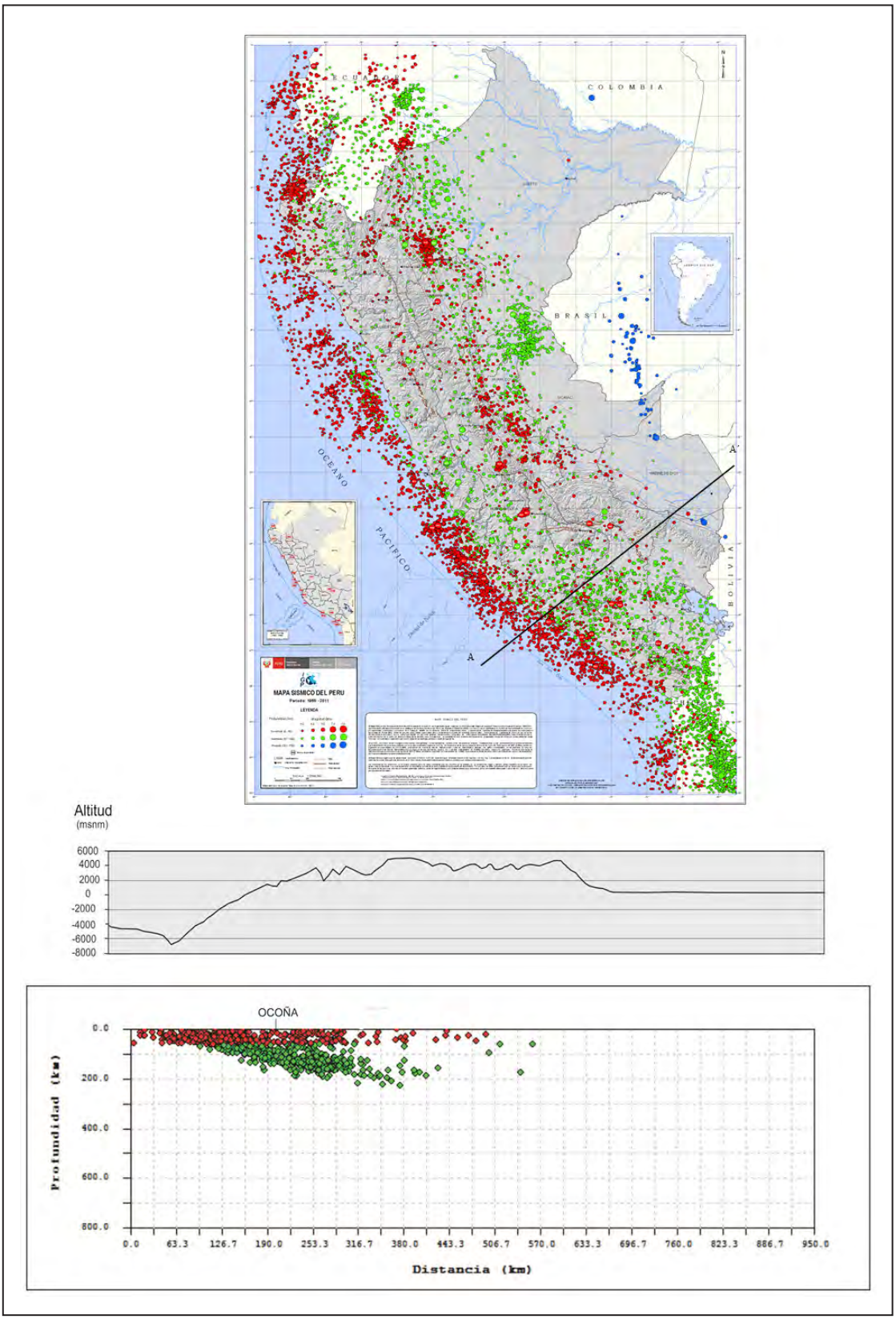


Figura 6.6 Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la cuenca del río Ocoña.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 2010.

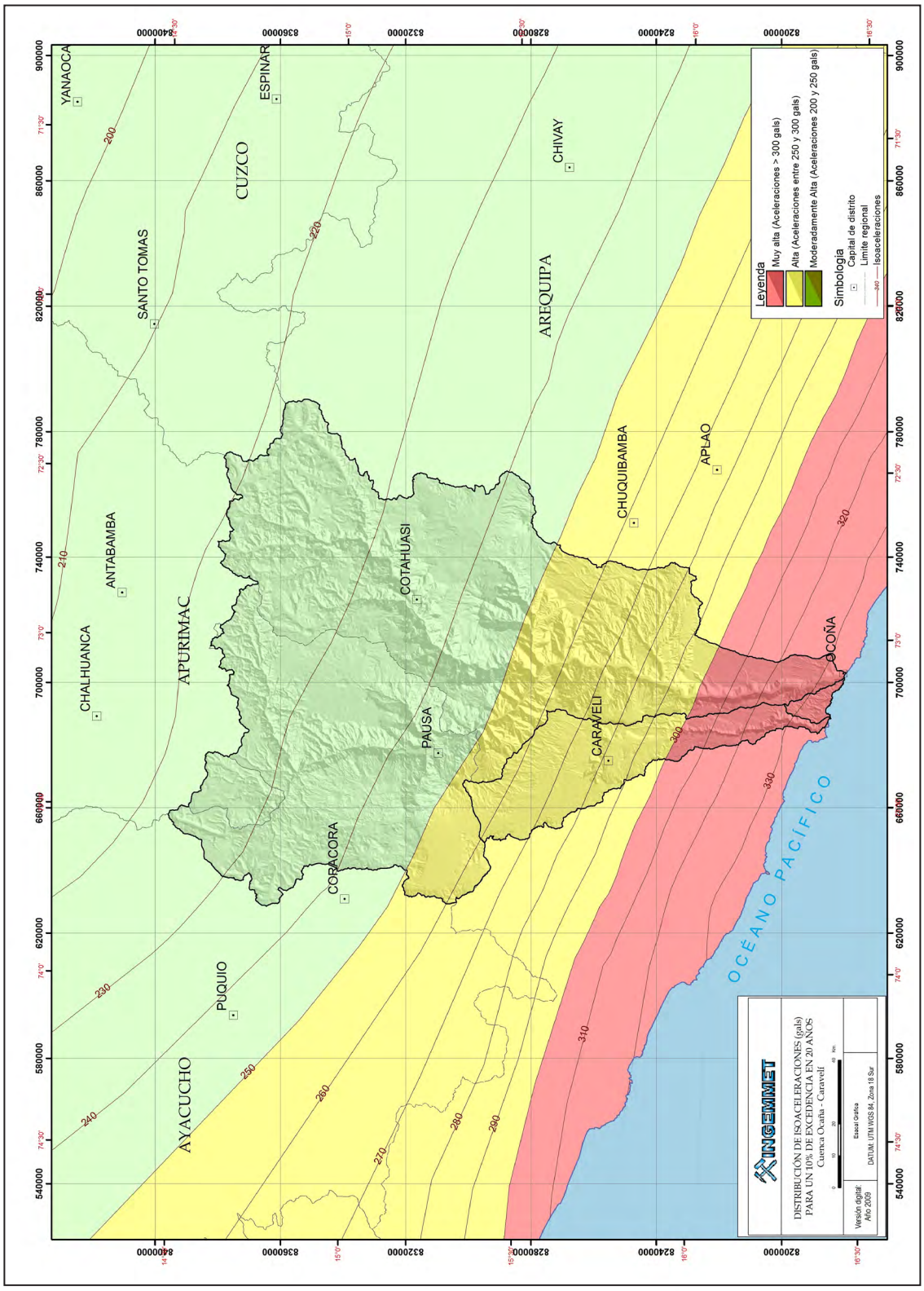


Figura 6.24 Distribución de isoaceleraciones para un 10 % de excedencia en 20 años.

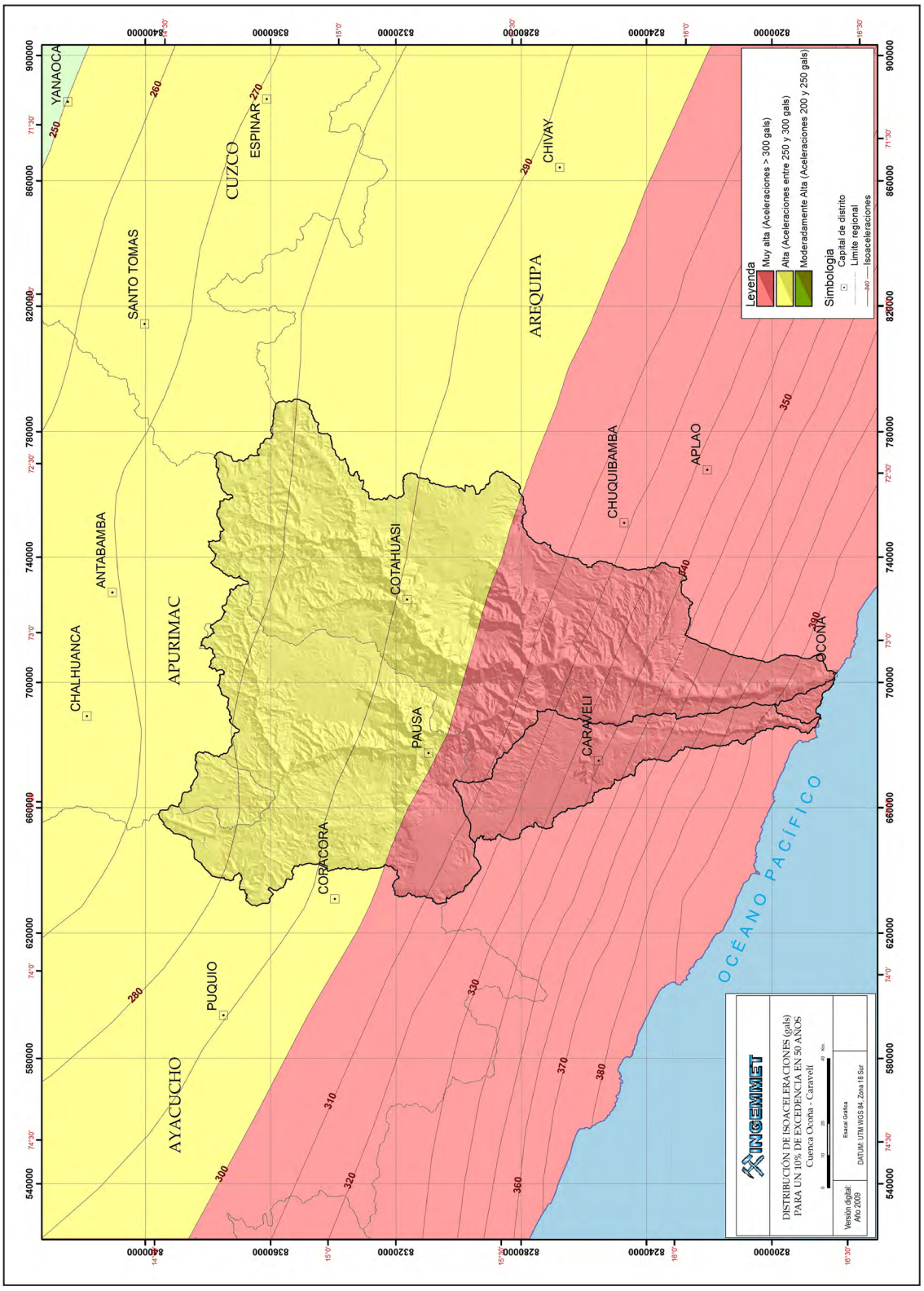


Figura 6.25 Distribución de isoaceleraciones para un 10 % de excedencia en 50 años.

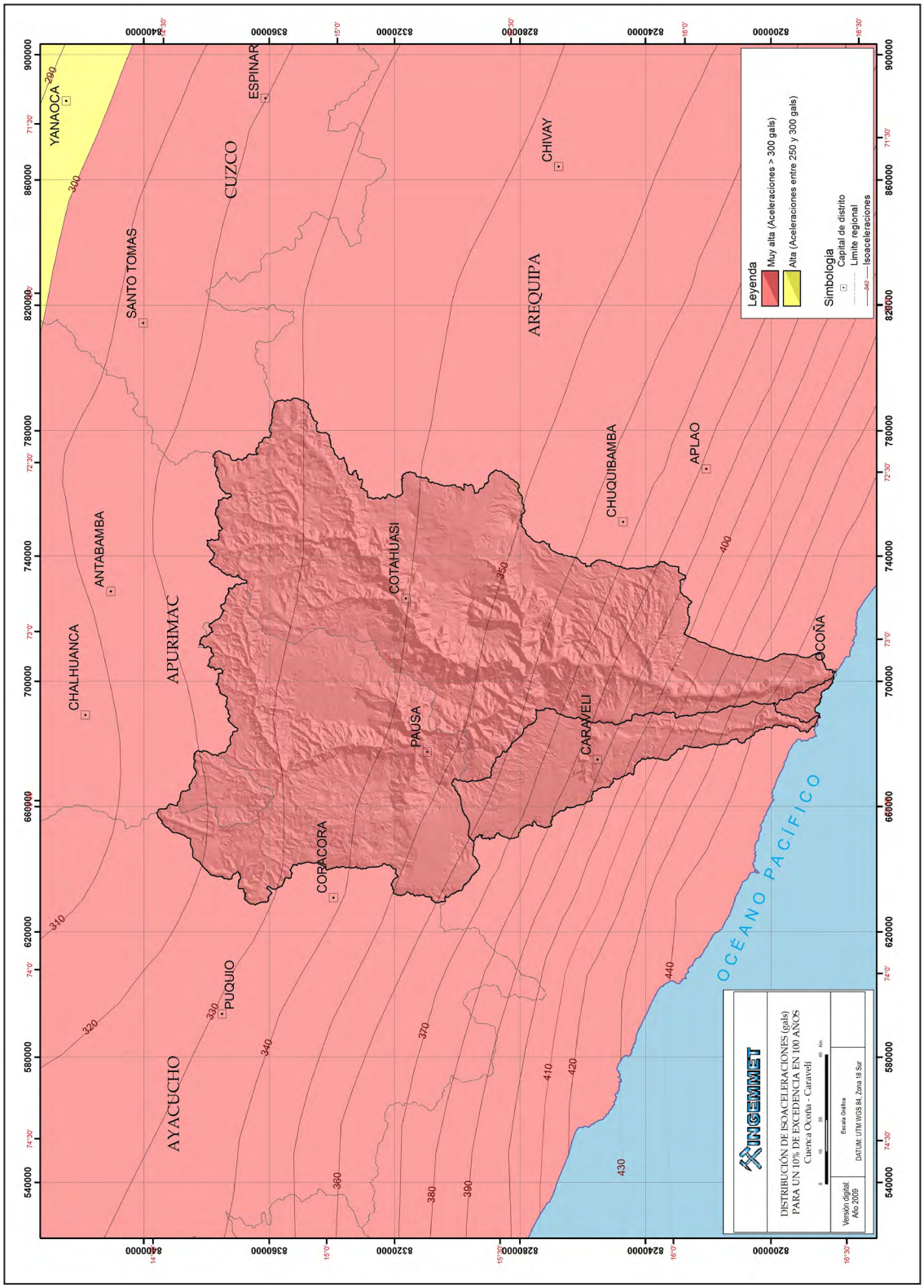


Figura 6.26 Distribución de isoaceleraciones para un 10 % de excedencia en 100 años.

6.7.8 Zonificacion y aceleraciones máximas

Los diversos estudios de sismicidad existentes en la bibliografía han sido base para que autores como Alva *et al.* (1984) elaborasen el Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú, que actualmente es utilizado en el *Nuevo Reglamento Peruano de la Construcción con la Norma Técnica de Edificación E-30 "Diseño Sismorresistente"* del *Reglamento Nacional de Edificaciones*, actualizado el 2016 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016). El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura 6.27. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor Z, según se indica en el cuadro 6.15. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

De acuerdo con la figura 6.27, la cuenca del río Ocoña se ubica en las zonas 3 y 4, correspondiente a una zona de sismicidad Alta a Muy alta. Según la *Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente"*, se indica valores de "Z" que varían entre 0,35 g y 0,45 g. El valor de "Z" representa una fracción de la aceleración de la gravedad.

Cuadro 6.15

Factores de zona Z

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

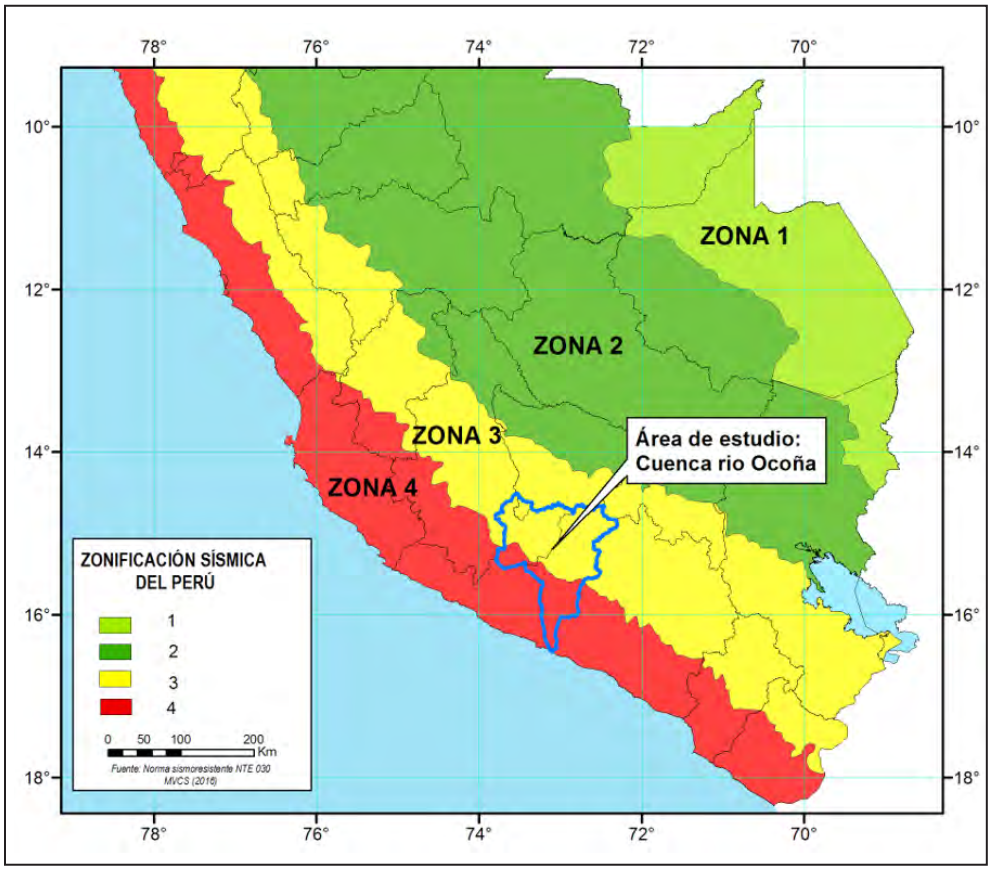


Figura 6.27 Zonificación Sísmica del Perú.

El mapa de zonificación sísmica es coherente con el de aceleraciones máximas. De su comparación es posible definir la existencia de dos zonas de alta a muy alta sismicidad bien marcada.

En el gráfico 6.28, se presenta la curva de Peligro Sísmico anual calculado para Ocoña, donde nos muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud. De la figura se deduce que, en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 593 gals con una probabilidad del 0.002 %, y el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración sería de 900 años. Aceleraciones del orden de los 334 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 %, con periodos de retorno de 60 años en promedio.

Asimismo, en el grafico 6.29, se presenta la curva de Peligro Sísmico Anual calculado para Cotahuasi, donde nos muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud en esa localidad. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 478 gals con una probabilidad del 0.002 %, y el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración sería de 900 años. Aceleraciones del orden de los 235 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de retorno de 60 años en promedio.

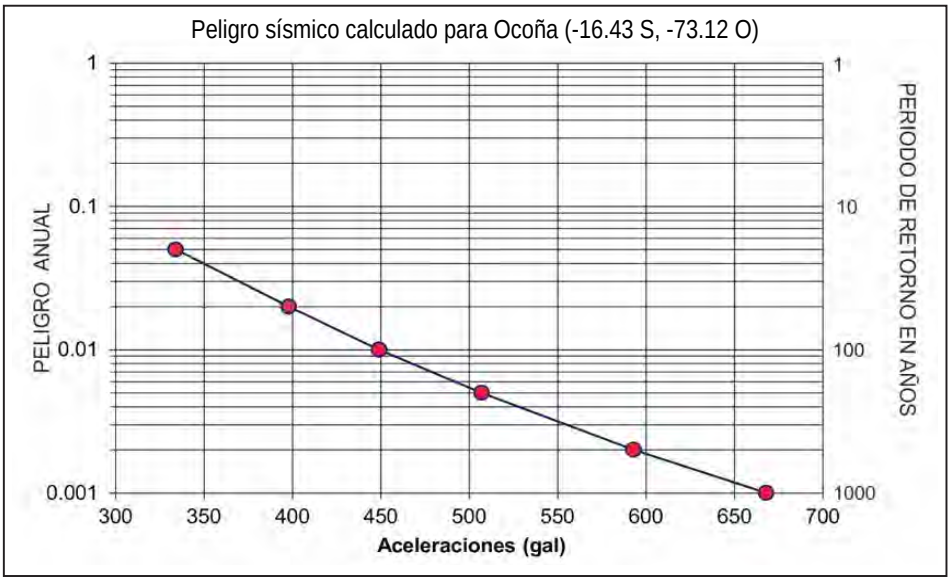


Figura 6.28 Curva de peligro anual para el poblado de Ocoña, Arequipa.

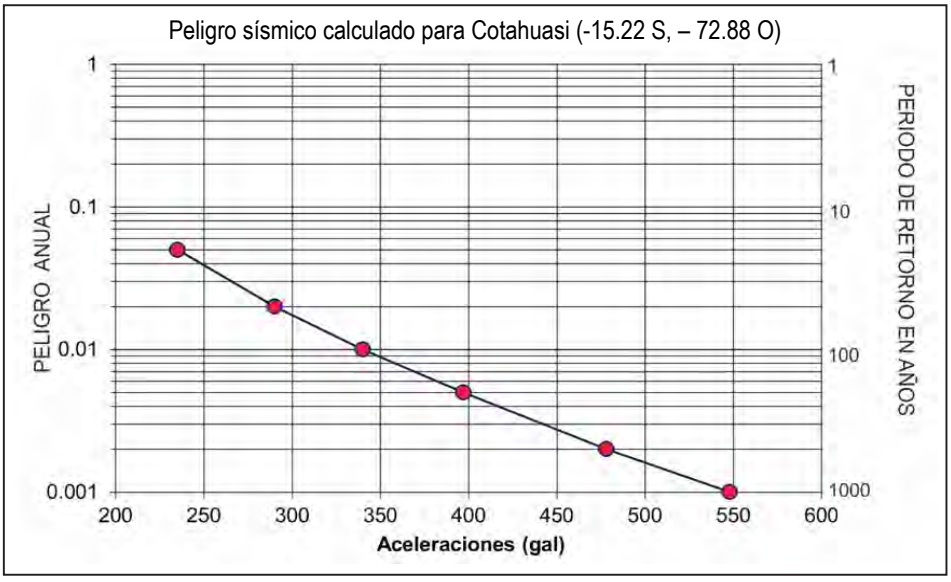


Figura 6.29 Curva de peligro anual para el poblado de Cotahuasi, Arequipa.

Además, en la figura 6.30, se presenta la curva de Peligro Sísmico Anual calculado para la localidad de Pausa, donde nos muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud en la localidad de Pausa. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 479 gals con una probabilidad del 0.002 %, y el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración sería de 900 años. Aceleraciones del orden de los 246 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de retorno de 60 años en promedio.

Según la guía metodológica de evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa (Ingeominas, 2001), con ventana de tiempo para 50 años de vida útil, correspondientes a 475 años de periodos de retorno respectivamente, para un 10 % de excedencia, se ha determinado, en forma general, las categorías de Muy alta y Alta (cuadro 6.15), de acuerdo con los valores de aceleraciones máximas esperadas para la cuenca del río Ocoña.

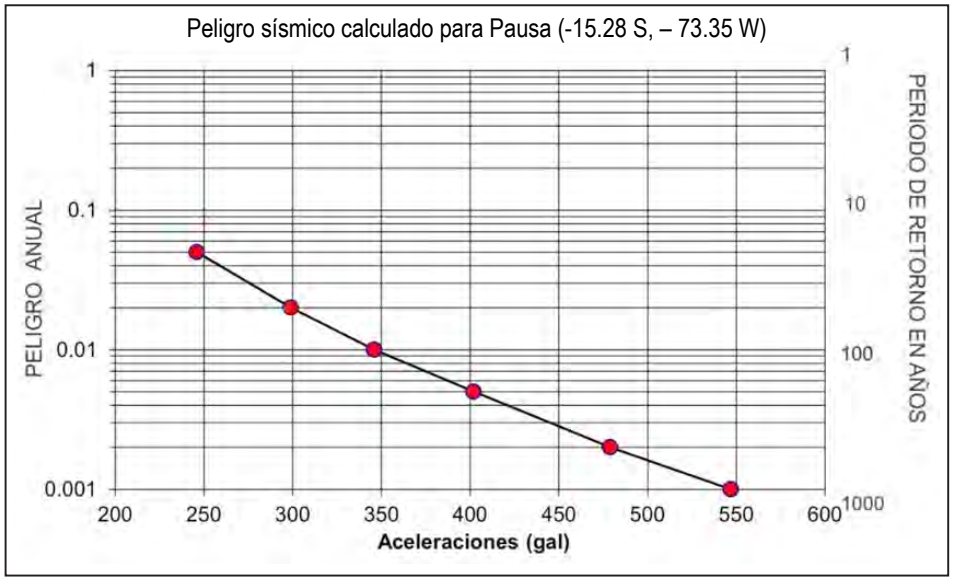


Figura 6.30 Curva de Peligro Anual para el poblado de Pausa, Arequipa.

Cuadro 6.16

Clasificación del factor detonante (sismicidad)

Categoría	Descripción	Valor asignado
Muy alta	Se espera un AMH mayores a 300 gals	4
Alta	Se espera un AMH entre 250 gals a 300 gals	3
Moderadamente alta	Se espera un AMH entre 210 gals a 250 gals	2

Fuente: Ingeominas, 2001.

6.8 ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA

La neotectónica es una ciencia que estudia las últimas deformaciones de la corteza terrestre con la finalidad de entender la evolución geodinámica reciente de cadenas montañosas y de determinar áreas con peligro sísmico a partir de la evaluación del potencial sismogénico de una falla (Benavente *et al.*, 2017).

En el contexto sismotectónico andino, se considera que las fallas con antecedentes sísmicos durante el Cuaternario (<2.5 millones de años) son las que concentran mayores posibilidades de generar movimientos sísmicos futuros (Benavente *et al.*, 2017).

El Ingemmet, con la finalidad de contribuir al conocimiento de la evolución geodinámica reciente de la cadena andina y así llegar a determinar áreas tectónicamente activas y su relación con el peligro sísmico (Benavente *et al.*, 2017), realizó estudios en la región Arequipa.

Según, Benavente *et al.*, (2017) en la cuenca del río Ocoña, sector que perteneciente a la región Arequipa, se evidenció 30 fallas geológicas activas que se describen a continuación.

Fallas Calaveritas

Se ubican al noroeste de la localidad de Ocoña. Se trata de falla inversa de dirección ONO-ESE y buzamiento de 70° hacia el norte (Huamán, 1985). Corresponde a un límite estructural entre dos bloques, el bloque Pescadores al sur y el bloque Calaveritas al norte; ambos bloques están constituidos por sustrato precámbrico y paleozoico, y se sitúan en el borde continental de un gran escarpe costero (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Iquipí

La falla presenta una traza rectilínea de aproximadamente 100 km. A lo largo de esta estructura se puede observar diversas evidencias de actividad tectónica, como la ubicada entre el cerro Iquipi y el cerro Mina de Huaca. En este sector la falla tiene una dirección aproximada a E-O y buzamiento de 78° hacia el sur. En la zona afloran rocas jurásicas, cretácicas y cenozoicas (rocas de la cuenca Moquegua). Suprayaciendo a estas se observa depósitos volcánicos (caída de cenizas) y depósitos no consolidados cuaternarios. Todas estas son rocas afectadas por la Falla Iquipí (Benavente *et al.*, 2017).

El Sistema de Falla Iquipí cruza la cuenca Ocoña, donde una de sus características morfológicas es la presencia de una zona o ventana de erosión en la parte intermedia, traducida en un cambio de topografía abrupta de forma semicircular, ubicada entre las provincias de Condesuyos y Caravelí. En este sector se observa diversos procesos de movimientos en masa que modelaron y modelan el relieve. Asimismo, es posible identificar la traza de la Falla Iquipí a lo largo de esta geoforma semicircular, donde su prolongación oriental se conecta a las fallas de la zona de Chuquibamba, lo cual genera un enjambre de fallas con evidencias de actividad reciente. Por tal motivo, la complejidad estructural de este sector más las evidencias de sismicidad y microsismicidad nos indican que hay un control tectónico para la formación de este cambio abrupto de la topografía (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Pampa de Vaca

Se ubica al norte de la localidad de Ocoña, cruzando perpendicularmente a la cuenca del río Ocoña. Según Benavente *et al.*, (2017) se trata de evidencias de actividad tectónica, traducida en escarpes de fallas con dirección preferencial NO-SE entre los ríos Atico y Ocoña a 1500 m s. n. m.

La Falla Pampa de Vaca genera un desnivel de 4 m en la superficie. Se observa el plano de falla subvertical que afecta depósitos aluviales y volcánicos (1.93 Ma) con movimiento de tipo inverso (Benavente *et al.*, 2017).

Falla La Corvina-Corire

Se extiende a lo largo de 100 km, comprendiendo terrenos de las provincias de Caravelí, Condesuyos y Castilla. La Falla Corvina Corire afecta la superficie de la pampa costera, donde afloran rocas cenozoicas cubiertas por depósitos cuaternarios. Desde el punto de vista de la morfología de los escarpes, es posible establecer tres segmentos de fallas (Benavente *et al.*, 2017).

El segmento occidental, ubicado entre el cerro Bajo de Pacas y pampa Blanca, tiene una dirección E-O y buzamiento hacia el noreste cruzando el río Ocoña. Este segmento tiene una longitud aproximada de 28 km, donde es posible observar deformaciones asociadas a compresión. El escarpe de falla se encuentra preservado, lo que sugiere actividad tectónica reciente (Benavente *et al.*, 2017).

El segmento central se ubica entre pampa Blanca y pampa Colorada. Esta última se encuentra cerca de la localidad de Corire. Tiene una extensión de 50 km, aproximadamente. A lo largo de este tramo se observa escarpes de fallas poco conservados y trazas de fallas no bien definidas; esto permite interpretar que el segmento no tuvo reactivaciones con rupturas superficiales recientes. El segmento oriental, al igual que el segmento occidental, muestra evidencias de actividad tectónica reciente, donde es posible ver rupturas de superficie de hasta 10 m, lo que sugiere acumulación de eventos sísmicos (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Las Pacas-Acoy-Aplao

Se extiende a lo largo de 150 km, abarcando terrenos de las provincias de Caravelí, Condesuyos, Camaná y Castilla. Es una estructura paralela a la Falla La Corvina-Corire. Cruza las pampas costeras afectando depósitos cuaternarios. Se reconoce tanto deformación precuaternaria como cuaternaria. En cuanto a la actividad reciente, desde el punto de vista de la conservación morfológica de los escarpes, son ejemplos las zonas de pampa Esperanza y las alturas de Chiquiñoca, ubicadas en las provincias de Caravelí y Condesuyos, respectivamente (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Atiquipa-San Juan de Churunga

Se extiende a lo largo de 150 km con dirección E-O, paralela a la Falla Iquipí. Comprende parte de las provincias de Caravelí, Camaná y Condesuyos. Es posible observar que la falla afecta a toda la secuencia litoestratigráfica, incluidos los cuaternarios con movimientos de tipo inverso (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Caravelí – Calpa

Pecho (1983), en el cuadrángulo de Caravelí (32-p) menciona la Falla Caravelí como una estructura regional que afecta rocas intrusivas, rocas cretácicas, así como también las ignimbritas miocenas denominadas Huaylillas. Posteriormente, Huamán (1985) propone actividad compresiva en este sector, donde es posible observar rocas intrusivas mesozoicas sobre lodolitas y

areniscas de la Formación Moquegua (fotografía 3.9). Del mismo modo, menciona rocas pliocenas y cuaternarias deformadas por movimientos inversos de estas estructuras tectónicas (citado por Benavente *et al.*, 2017).

Falla Caravelí-Sicera-Lluta-Vítor

Se extiende a lo largo de 290 km con dirección NO-SE, limitando gran parte de la zona de piedemonte de la región Arequipa. El buzamiento preferencial de este sistema de falla es de 75° hacia el noreste. Constituye parte del Sistema Incapuquio-Cincha-Lluta, ubicado al sur del Perú, desde Arequipa hasta Tacna (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Yamachay-La Isla

Se ubica entre la zona de fallas Sóndor-Paucaray y Caravelí-Calpa. Se extiende a lo largo de 80 km con dirección NO-SE, cortando la superficie ignimbrítica miocena, lo cual genera desplazamientos verticales de 15 m y, a su vez, altera la red de drenajes producto de la componente lateral o transcurrente de la falla. Los ríos ubicados al norte de la Falla Pampa Macachihuasi son más encañonados respecto a los ríos ubicados adyacentes al cerro Buena Vista, debido al movimiento compresivo de la falla con tendencias hacia el suroeste. Es posible observar esta deformación en las quebradas Grande de Ocoruro y Honda (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Tasta-Sara Sara

Se extiende a lo largo de 45 km en la margen derecha del río Marán, afluente perteneciente a la cuenca Ocoña. Tiene una dirección N 155° y 75° de buzamiento hacia el suroeste. Afecta con movimientos de tipo normal depósitos recientes. La falla es rectilínea. Por tramos presenta facetas triangulares, tiene buena conservación morfológica que sugiere actividad reciente. Es posible observar la deformación de esta falla en los cerros Sacsamachay y Carrascuyocc (Benavente *et al.*, 2017).

Zona de Fallas Chuquibamaba

La Zona de Fallas Chuquibamba se caracteriza por presentar fallas con dirección NO-SE subparalelas y con extensiones que varían entre los 50 y 10 km. Estas estructuras tectónicas afectan una superficie ignimbrítica, superficie Huaylillas, que tiene una inclinación hacia el oeste.

La Falla Chuquibamba es un segmento activo del Sistema de Falla Cincha-Lluta-Incapuquio, donde se observa una terminación tipo en cola de caballo (echelón). El Sistema de Falla Cincha-Lluta-Incapuquio se emplaza a lo largo de 400 km con dirección NO-SE a lo largo de la Cordillera Occidental del sur del Perú (Benavente *et al.*, 2017). Además, en la cuenca del río Ocoña, la Zona de Fallas Chuquibamaba agrupa a las fallas denominadas Acoypampa, Gellmani, Gentinliog, Huancucane-Cerro Las Lomas, Lomas Tranca, Ochocruz-Chiripampa, Ojoruro-Huacón Pampa y Pampas Arahuay-Alchane.

Falla Tastani

Comprende un solo segmento de 7 km de longitud con dirección preferencial N 140°. Se emplaza a lo largo de Pampa Puico Pampa y cerro Tastapi, a 4 950 m s. n. m. El sector se caracteriza morfológicamente por estar conformado de grandes superficies subparalelas constituidas por rocas volcánicas pliocuaternarias y depósitos fluvioglaciares, todos estos afectados por la falla con movimiento de tipo normal (Benavente *et al.*, 2017).

El análisis geomorfológico de la falla utilizando imágenes satelitales de alta resolución indica que la Falla Tastani presenta reactivaciones más recientes. Incluso llega a preservarse los escarpes de fallas tanto en las llanuras aluviales como en el basamento rocoso (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Pampacolca-Quichuaña

Se extiende a lo largo de 45 km con dirección NO-SE. Se ubica al norte de la zona de Falla Chuquibamba. Es un segmento que se extiende desde Andamayo, margen derecha del río Colca, hasta el flanco sur del volcán Coropuna (Benavente *et al.*, 2017).

Es una falla rectilínea que afecta rocas antiguas, como rocas intrusivas, jurásicas, cretácicas, cenozoicas y también depósitos aluviales, como los ubicados en el sector de Pampacolca. Todas estas rocas son afectadas por movimientos de tipo normal (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Palljaruta-Sique

Se extiende a lo largo de 30 km. La parte sur, ubicada al sur del Coropuna, tiene una dirección NO-SE; luego hace una inflexión cambiando su dirección a N-S. La falla afecta rocas volcánicas cuaternarias y depósitos fluvioglaciares con movimiento de tipo normal, como los que afloran en pampa de Jaije (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Viraco-San Antonio

Es una estructura paralela a la Falla Pampacolca-Quichuaña, que se extiende a lo largo de 45 km cruzando las localidades de Viraco y el volcán Coropuna. La traza de falla es rectilínea, forma por sectores facetas triangulares en rocas de basamento y fluvioglaciares producto de los movimientos de tipo normal. En el sector del Coropuna, la interacción entre procesos volcánicos y climáticos borró parte de las evidencias de actividad tectónica Coropuna (Benavente *et al.*, 2017).

Zona de Falla Mauca-Llacta

Está ubicada al norte del volcán Coropuna, con una dirección E-O. Afecta depósitos fluvioglaciares cuaternarios, con movimientos de tipo normal, a lo largo de 15 km de extensión. La altura de escarpe promedio es de 2 m (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Alca

Se extiende a lo largo de 35 km con dirección NO-SE. Cruza el valle de Cotahuasi, desde la pampa Visca Visca hasta la laguna Llamajille. Pertenece a las provincias de La Unión y Condesuyos. Se divide en cuatro segmentos de 8 km aproximadamente, que afectan rocas volcánicas cenozoicas, depósitos aluviales y fluvioglaciares, con movimientos de tipo normal. El escarpe de falla no presenta buena conservación, por lo que sugiere actividad tectónica pliocuaternaria (Benavente *et al.*, 2017).

Zona de Falla Firula

Tiene una dirección N 30°. Se ubica al norte del nevado Firula, en la provincia de Condesuyos. Se caracteriza por presentar tres escarpes de 12 km de longitud de forma subparalela. Afecta rocas volcánicas cenozoicas y cuaternarias, así como también depósitos cuaternarios fluvioglaciares y aluviales. En esta zona el relieve es abrupto por las interacciones entre procesos volcánicos, tectónicos y climáticos (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Pallca-Tunupacha-Toro

Se extiende a lo largo de 75 km con dirección NO-SE, desde el río Colca hasta el río Cotahuasi, cruza la meseta volcánica por el flanco noreste del volcán Coropuna. Gran parte del área es topografía abrupta por la actividad volcánica; por consiguiente, es difícil identificar la traza de falla, aunque en lugares donde se puede observar interestratificación de depósitos volcánicos, aluviales y fluvioglaciares, la traza de falla es visible. El escarpe de falla tiene una morfología conservada y afecta depósitos cuaternarios con movimientos de tipo normal, como los que afloran en Anchapalla Pampa (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Ranracocha

Se denomina así por ubicarse adyacente a la laguna Ranracocha. La falla corta depósitos fluvioglaciares con movimientos de tipo normal. El extremo oriental de la falla hace una inflexión y se conecta a la Falla Alhuayo (NO-SE). El escarpe de falla tiene una altitud promedio de 1.5 m. A pesar del clima húmedo presenta buena conservación, lo que da una idea de la actividad reciente (Benavente *et al.*., 2017).

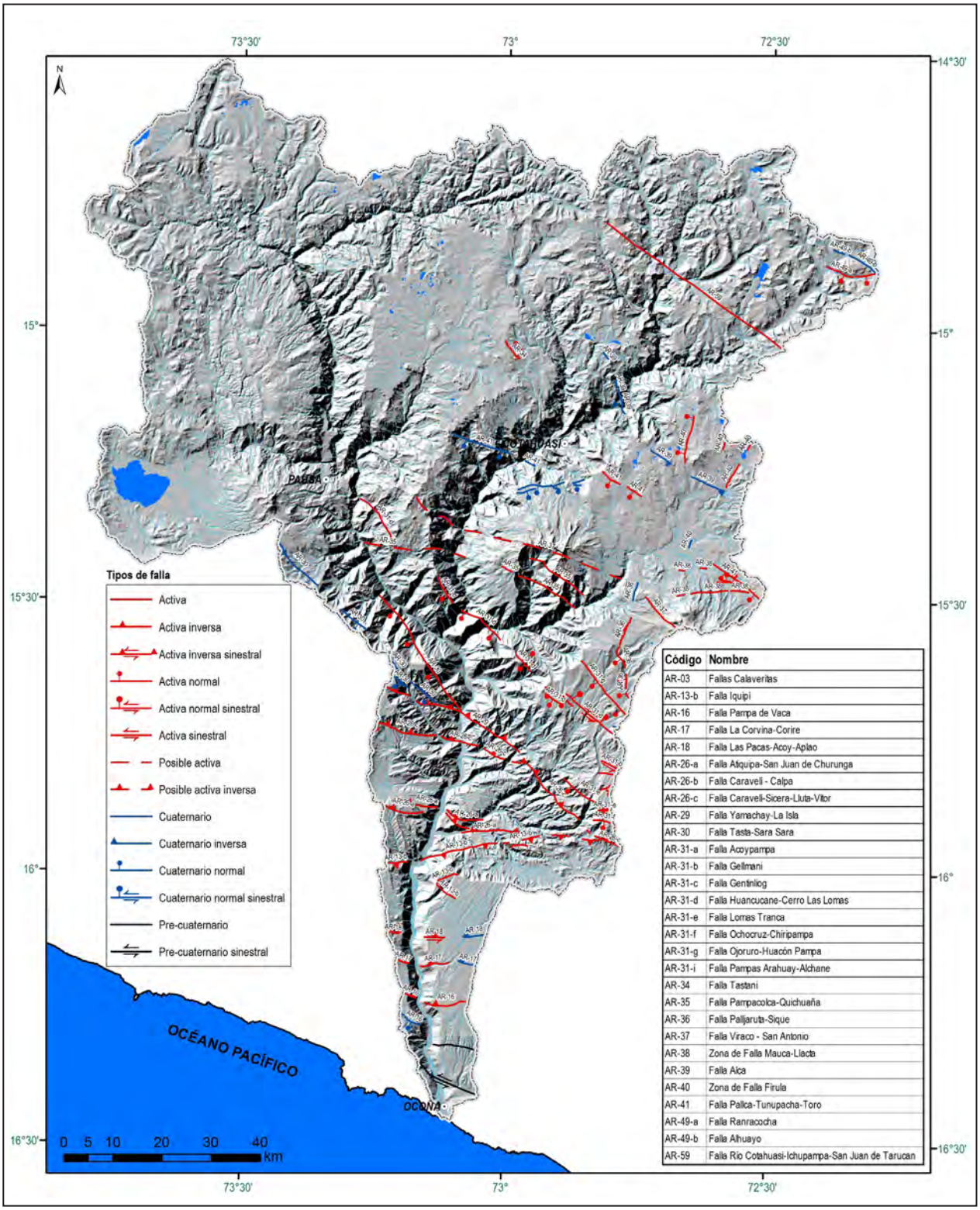
Falla Alhuayo–Challahuire

Se ubica en las cabeceras de las cuencas Ocoña y Colca a 4 700 m s. n. m., emplazada a lo largo de 40 km con dirección NO-SE. Los escarpes de fallas tienen longitudes que varían entre los 5 y 15 km. Se caracteriza por presentarse en segmentos con dirección principal NO-SE, aunque también identificamos como parte del sistema fallas estructuras con direcciones E-O y NE-SO (Benavente *et al.*, 2017).

Falla Río Cotahuasi-Ichupampa-San Juan de Tarucani

Se extiende a lo largo de 240 km con dirección NO-SE, desde la cabecera de cuenca del río Ocoña hasta la cuenca Tambo; específicamente hasta el flanco norte del volcán Ubinas. Limita la zona del arco volcánico cuaternario y activo con las planicies altoandinas del Altiplano. Se trata de una falla regional compuesta por segmentos caracterizados por presentar morfologías de fallas diferentes, pudiendo establecer una cronología de reactivaciones. (Benavente *et al.*, 2017).

Uno de los segmentos con mayores evidencias de actividad tectónica es el ubicado entre la represa El Frayle y el volcán Ubinas, donde es posible reconocer trazas de fallas que afectan depósitos lacustres y aluviales. Los escarpes bordean la represa El Frayle y se prolongan hacia el sur hasta el flanco norte del volcán Ubinas. (Benavente *et al.*, 2017).



Código	Nombre
AR-03	Fallas Calaveritas
AR-13-b	Falla Iquipi
AR-16	Falla Pampa de Vaca
AR-17	Falla La Corvina-Corire
AR-18	Falla Las Pacas-Acoy-Aplao
AR-26-a	Falla Atiquipa-San Juan de Churunga
AR-26-b	Falla Caraveli - Calpa
AR-26-c	Falla Caraveli-Sicera-Lluta-Vitor
AR-29	Falla Yamachay-La Isla
AR-30	Falla Tasta-Sara Sara
AR-31-a	Falla Acoypampa
AR-31-b	Falla Gellmani
AR-31-c	Falla Gentinliog
AR-31-d	Falla Huancucane-Cerro Las Lomas
AR-31-e	Falla Lomas Tranca
AR-31-f	Falla Ochocruz-Chiripampa
AR-31-g	Falla Ojoruro-Huacón Pampa
AR-31-i	Falla Pampas Arahuay-Alchane
AR-34	Falla Tastani
AR-35	Falla Pampacolca-Quichuaña
AR-36	Falla Palljaruta-Sique
AR-37	Falla Viraco - San Antonio
AR-38	Zona de Falla Mauca-Llacta
AR-39	Falla Alca
AR-40	Zona de Falla Firula
AR-41	Falla Pallca-Tunupacha-Toro
AR-49-a	Falla Ranracocha
AR-49-b	Falla Alhuayo
AR-59	Falla Río Cotahuasi-Ichupampa-San Juan de Tarucan

Figura 6.31 Mapa neotectónico de la cuenca del río Ocoña, jurisdicción de la región Arequipa.

Fuente: Benavente *et al*., 2017.

6.9 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

Las zonas críticas son áreas o lugares que, luego de la evaluación de las características geológico-geotécnicas, tipo, frecuencia y daños producidos por los procesos naturales que causan desastres, entre otros factores, se consideran más proclives a ser afectadas por eventos de movimientos en masa o peligros geológicos.

El presente ítem enfatiza las zonas o áreas consideradas como críticas, con peligros potenciales. Muchas de ellas son recurrentes y pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales. Es necesario considerar estas áreas dentro de los planes o políticas regionales sobre prevención y atención de desastres.

La información fue obtenida de informes técnicos, artículos periodísticos, relatos orales de los pobladores y, principalmente, observaciones en campo.

En estas zonas críticas se resaltan las áreas o lugares expuestos al peligro (infraestructura y centros poblados) y aquellas con peligro potencial de generar desastres y que necesitan de obras de prevención o mitigación, o inclusive ampliar o mejorar las medidas adoptadas.

En la cuenca del río Ocoña se ha identificado un total de 22 zonas críticas, de los cuales 1 se ubica en el distrito de Ocoña, 2 en Mariano Nicolás Valcárcel, 1 en Río Grande, 1 en San Juan de Chorunga, 1 en Yanaquihua, 4 en Chichas, 1 en Quechualla, 1 en Charcana, 1 Pampamarca, 1 en Toro, 3 en Cotahuasi, 1 en Puyca, 1 en Coronel Castañeda, 1 en Pacapausa y 2 en Pausa.

En el cuadro 6.17 se presenta resúmenes de las zonas críticas identificadas durante los trabajos de campo y que se señalan a continuación:

- En la primera columna se encuentra el código de la zona crítica plasmado en el mapa 6 para facilitar su identificación y ubicación.
- En la segunda columna se menciona los principales sectores o áreas consideradas críticas, el distrito al cual pertenecen y las coordenadas (Datum: WGS84, Proyección: UTM Zona 18 Sur).
- En la tercera columna se describe el o los peligros geológicos por movimientos en masa identificados o escenario de riesgo probable. Adicionalmente, se hace un breve comentario geodinámico del área involucrada.
- En la cuarta columna se describe los daños ocasionados o probables.
- En la quinta columna se propone algunas recomendaciones y observaciones.
- También se incluye figuras y fotografías como ejemplo de las zonas críticas.

Cuadro 6.17

Zonas críticas a peligros geológicos por procesos de movimientos en masa

Código en mapa	Paraje / sector distrito / coordenadas UTM	Susceptibilidad / comentario geodinámico	Daños ocasionados o probables	Recomendaciones
1	Pueblo Viejo (Ocoña) 8183750 / 700250	Flujo de detritos Quebradas con materiales susceptibles de ser removidos, pendiente moderada de las quebradas, terrenos con ausencia de vegetación. Se muestra antiguos depósitos generados por flujos de detritos sobre los cuales se construyeron viviendas. También se observa erosiones en cárcavas. Los factores detonantes son las precipitaciones pluviales de tipo excepcional.	Fenómeno podría afectar las viviendas del sector. También podría afectar terrenos de cultivo (figura 6.32).	Zona no apta para expansión urbana. Elaborar plan de contingencia ante huaicos.
2	Urasqui (Mariano Nicolás Valcárcel) 8226745 / 695358	Derrumbes, flujo de lodo y detritos Quebradas con materiales susceptibles de ser removidos, pendiente alta de las quebradas, terrenos con ausencia de vegetación. Los detonantes podrían ser las precipitaciones pluviales excepcionales. En las laterales de las quebradas se muestra pequeños derrumbes que alimentan de material la quebrada y generan flujos. Las viviendas del sector Urasqui están construidas en antiguos depósitos de flujo.	Fenómeno que podría afectar las viviendas de la localidad de Urasqui, capital del distrito Mariano Nicolás Valcárcel. También serían afectados terrenos de cultivo (figura 6.33).	No construir viviendas ni realizar cortes en el talud del cerro. Zona no apta para expansión urbana. Buscar alternativas para reubicar la capital de distrito.
3	Campamento Minero Artesanal Secocha (Mariano Nicolás Valcárcel) 8232326 / 695435	Flujos de detritos (huaicos) Flujos de detritos (huaicos) En las laderas de la quebrada Saca de Posco y quebradas afluentes presenta depósitos de antrópicos en forma de talud de detritos y depósitos de flujos antiguos en forma de cono. Además, en la desembocadura de la quebrada, se observa depósitos de flujos de detritos de diferentes periodos.	Los flujos que se generen en la quebrada Saca de Posco afectarán directamente a la población del Campamento Minero Artesanal Secocha y tierras de cultivo (figura 6.34).	La zona no es apta para asentamiento poblacional. Elaborar plan de contingencia ante huaicos. Reubicar a la población asentada en el cauce de la quebrada. Abrir cauce de quebrada que cruce el área poblada de Secocha. Limpieza periódica del cauce de quebrada.
4	Iquipi (Río Grande) 8236891 / 700092	Derrumbes, caída de rocas y flujo de detritos La susceptibilidad por la ocurrencia de movimientos en masa en el flanco oeste del cerro Iquipí es muy alta. Los detonantes podrían ser precipitaciones pluviales excepcionales o sismos de alta intensidad. Actualmente, en las laderas del cerro Iquipí se observa depósitos de caídas de rocas, depósitos de flujos y derrumbes antiguos.	La ocurrencia de movimientos en masa afectará a la población urbana de Iquipí (figura 6.35).	La zona no es apta para asentamiento poblacional y expansión urbana. Elaborar plan de contingencia ante huaicos. Reubicar a la población asentada en la ladera del cerro. No realizar cortes en talud del cerro. Buscar alternativas para reubicar la capital de distrito.

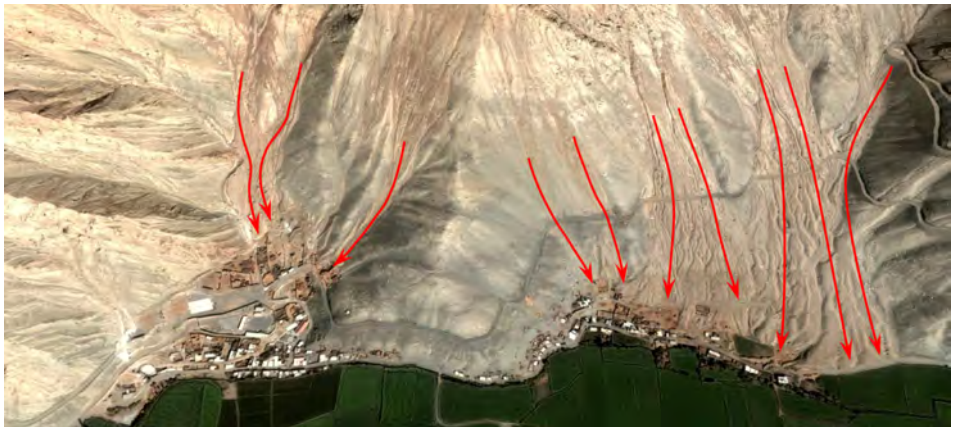


Figura 6.32 Con flechas rojas se indica la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos en el sector Pueblo Viejo.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

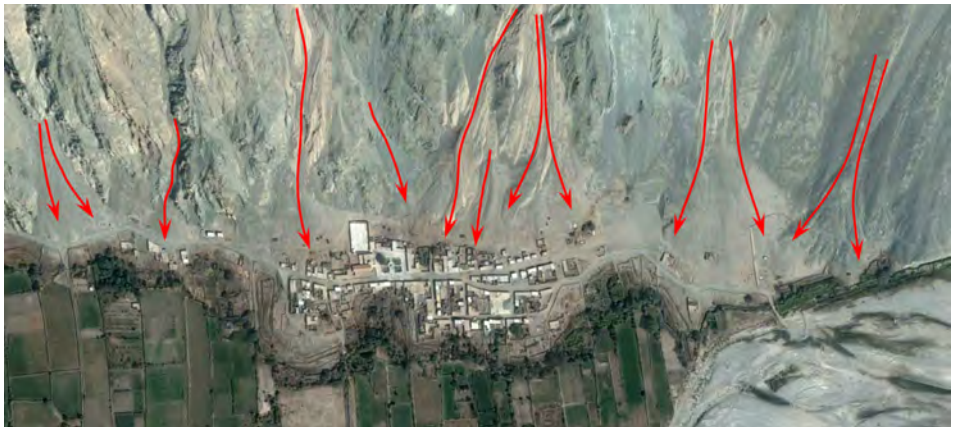


Figura 6.33 Con flechas rojas se indica la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos ubicadas en la localidad de Urasqui, capital del distrito Mariano Nicolás Valcárcel.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.34 En las imágenes se observa el crecimiento urbanístico de Secocha sobre depósitos de antiguas ocurrencias de flujos de detritos.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Continuación...

Código en mapa	Paraje / sector distrito / coordenadas UTM	Susceptibilidad / comentario geodinámico	Daños ocasionados o probables	Recomendaciones
5	San Juan de Chorunga (Río Grande) 8240989 / 708980	Flujos de detritos En las quebradas adyacentes al poblado de San Juan de Chorunga se observa material antrópico suelto de fácil remoción, que ante lluvias excepcionales puede ser removido fácilmente y generar flujos de detritos. También se observa laderas con depósitos de taludes de detritos de fácil remoción. El factor detonante podría ser precipitaciones pluviales excepcionales.	La ocurrencia de flujos podría afectar a la población del Anexo San Juan de Chorunga (figura 6.36).	Elaborar plan de contingencia ante huaicos.
6	Anexo Barrera (Yanaquihua) 8254145 / 706548	Flujos de detritos En la desembocadura de la quebrada Chaquiloma o Llauce, lugar donde se encuentra asentada la población del anexo Barrera, se observa materiales de flujos antiguos depositados en forma de abanico (figura 6.37).	Los flujos que se generen en la quebrada Chaquiloma o Llauce y quebradas afluentes podrían afectar directamente a la población del Anexo Barrera y tierras de cultivo.	Reubicar a la población.
7	Vilcane (Chichas) 8278651 / 717998	Derrumbes y erosión en cárcava Las causas son: naturaleza de suelo incompetente, pendiente fuerte de terreno, ausencia de vegetación, excavación y corte artificial de talud. El factor detonante puede ser lluvias excepcionales.	Afecta la carretera de acceso al poblado de Chichas (fotografía 6.11). Los flujos que se generen a causa de los derrumbes podrían afectar a los pobladores del sector Vilcane (figura 6.38).	Restringir tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas, reforestar el talud, limpieza periódica de las torrenteras de la zona.
8	Yachanguillo (Chichas) 8279306 / 718624	Erosión fluvial En la zona se observa terrazas aluviales afectadas por erosión fluvial debido a la corriente de agua del río Arma.	Podrían ser afectadas viviendas y tierras de cultivo del sector Yachanguillo, asentadas en la margen derecha del río Arma (figura 6.39).	No construir viviendas en la ribera del río Arma.
9	Santa Catalina (Chichas) 8278476 / 720845	Erosión fluvial En la zona se observa terrazas aluviales afectadas por erosión fluvial debido a la corriente de agua del río Arma.	Podrían ser afectadas viviendas y tierras de cultivo del sector Santa Catalina, asentadas en la margen derecha del río Arma.	No construir viviendas en la ribera del río Arma.

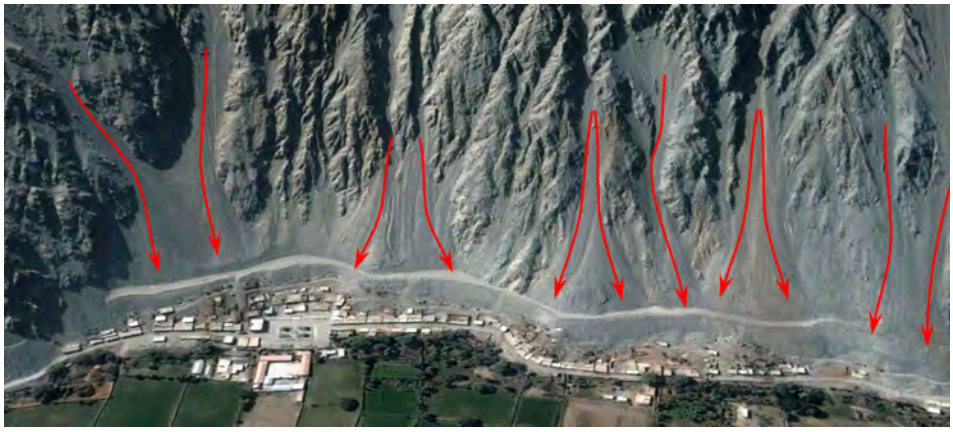


Figura 6.35 Con flechas rojas se indica la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos y caídas de rocas ubicadas en la localidad de Iquipí, capital del distrito Río Grande.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.36 Con flechas rojas se indica la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos ubicadas en la localidad de San Juan de Chorunga.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.37 Con flechas rojas se indica la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos ubicadas en la localidad de Barrera.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Fotografía 6.10 Ocurrencias de derrumbes y erosión en cárcava que afecta a la carretera de acceso al poblado de Chichas. Se observa depósitos inconsolidados.

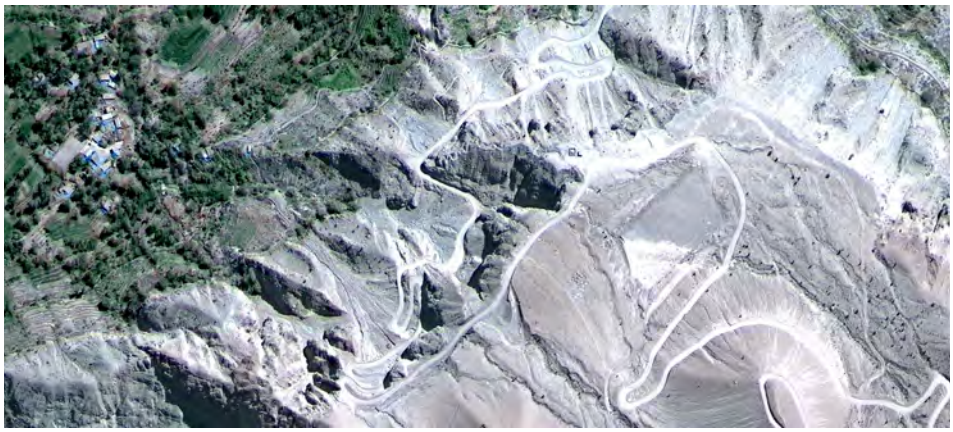


Figura 6.38 Se observa ladera inestable, susceptible a las ocurrencias de flujos y derrumbes. También, inicio de procesos de erosión en cárcava, sector Vilcane.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.39 Se observa procesos de erosión fluvial que podrían afectar viviendas y tierras de cultivo del sector Yachanguillo. También, ocurrencias de flujos de detritos.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Continuación...

Código en mapa	Paraje / sector distrito / coordenadas UTM	Susceptibilidad / comentario geodinámico	Daños ocasionados o probables	Recomendaciones
10	Chichas (Chichas) 8279650 / 723850	Flujos de detritos En la desembocadura de la quebrada Añavilca, lugar donde se encuentra asentada la población de Chichas, se observa materiales de flujos antiguos depositados en forma de abanico.	Los flujos que se generen en la quebrada Añavilca y quebradas afluentes podrían afectar directamente a la población de Chichas y tierras de cultivo (figura 6.40).	No permitir la expansión urbana. Elaborar plan de contingencia ante huaicos.
11	Allancay (Quechualla) 8312000 / 709400	Erosión fluvial En la zona se observa terrazas aluviales afectadas por erosión fluvial debido a la corriente de agua del río Sañucanta y quebrada Challallauca. En la zona también se podría presentar ocurrencias de derrumbes y deslizamientos producto de la erosión fluvial y el mal uso del sistema de riego para cultivos.	Afectaría viviendas y tierras de cultivo del sector Allancay (figura 6.41).	La zona no es apta para asentamiento poblacional. Restringir construcción de viviendas. Para los terrenos de cultivo usar riego tecnificado.
12	Carretera Andamarca – Charcana (Charcana) 8315500 / 713300	Derrumbes y erosión en cárcava Las causas son: substrato de mala calidad conformado por intercalación de limoarcillitas abigarradas, presencia de yeso y sal; laderas con pendiente muy fuerte; corte de talud para construcción de carretera; y, presencia de depósitos coluvio-deluvial. Los factores desencadenantes son las precipitaciones pluviales.	Afecta tramo de carretera afirmada ubicado entre los poblados de Andamarca – Charcana (fotografía 6.12).	Restringir el tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas.
13	Huarhua (Pampamarca) 8319848 / 718753	Deslizamiento y erosión en cárcava El poblado de Huarhua se asienta sobre el depósito coluvio-deluvial afectado por erosión en cárcava.	El poblado podría ser afectado por erosión en cárcava (figura 6.42).	Mantener la zona con cobertura vegetal. Restringir construcción de viviendas. Para los terrenos de cultivo usar riego tecnificado. Restringir el acceso de vehículos al poblado de Huarhua durante temporadas de lluvias.
14	Carretera Cotahuasi - Velinga (Toro) 8313935 / 719642	Derrumbes y erosión en cárcava Las causas son: substrato de mala calidad, conformado por areniscas y lutitas; ladera con pendiente muy fuerte; y, ausencia de vegetación. Los factores desencadenantes son las precipitaciones pluviales.	Afecta la carretera de acceso entre los poblados de Cotahuasi y Velinga (fotografía 6.13).	En temporadas de lluvias se debe restringir el tránsito de vehículos. Cambiar trazo de carretera.

Figura 6.40 Se observa a la población de Chichas asentada sobre depósitos de flujos antiguos provenientes de la quebrada Añavilca.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.41 Se observa que la población de Allancay está asentada entre el río Sañucanta y la quebrada Challallauca.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Fotografía 6.11 Talud de pendiente muy escarpada con sustrato rocoso muy fracturado y meteorizado, susceptible a la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes.

Figura 6.42 Poblado de Huarhua asentado sobre depósito coluvio-deluvial susceptible a proceso de erosión en cárcava y deslizamientos. También se observa carretera de acceso que podría ser afectada por derrumbes.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Fotografía 6.12 Tramo de carretera de acceso entre los poblados de Cotahuasi y Velinga susceptible a la ocurrencia de derrumbes, flujos y cárcavas en periodo lluvioso.

Continuación...

Código en mapa	Paraje / sector distrito / coordenadas UTM	Susceptibilidad / comentario geodinámico	Daños ocasionados o probables	Recomendaciones
15	Carretera Cotahuasi - Chuquibamba. Km 8+100 (Cotahuasi) 8315910 / 729467	Derrumbes y caídas de roca Las causas son: substrato de mala calidad, conformado por intercalación de cuarcitas, cuarzoarenitas y areniscas; pendiente del terreno fuerte; escasa presencias de cobertura vegetal; y, corte de talud para construcción de carretera. Los factores desencadenantes pueden ser las lluvias excepcionales o sismos.	Afecta carretera de acceso entre Cotahuasi y Chuquibamba (figura 6.43).	Desquinchar rocas sueltas. Restringir el tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas. Estabilizar talud o buscar alternativas para modificar el trazo de la carretera.
16	Urbanización “Pampa de Aymaña” III Etapa (Cotahuasi) 8317809 / 725766	Derrumbes, erosión en cárcava y fluvial En la zona, las condiciones intrínsecas del terreno como morfología, pendiente, naturaleza de los materiales, ausencia o escasez de vegetación, socavamiento del pie de talud (dinámica fluvial), y otros, crean condiciones para que las laderas del valle y el cañón formados por el río Cotahuasi sean de muy alta susceptibilidad por ocurrencia de movimientos en masa.	Pueden ser afectadas las viviendas de la urbanización “Pampa de Aymaña” III Etapa (figura 6.44).	Prohibir la expansión de viviendas en la urbanización “Pampa de Aymaña” III Etapa. Forestar con especies forestales nativas el borde del valle cañón y las zonas accesibles de la zona de derrumbe y cárcavas.
17	Chacaylla (Cotahuasi) 8317880 / 727001	Derrumbes, flujo de detritos y erosión en cárcava La susceptibilidad por ocurrencia de movimientos en masa en el flanco oeste de cerro Huiñao es muy alta. Los detonantes podrían ser precipitaciones pluviales excepcionales. En la actualidad, en la ladera del cerro Huiñao se observa depósitos de derrumbes y depósitos de flujos de detritos antiguos. También se observa erosión en cárcava.	Pueden ser afectadas las viviendas que se construyen en la zona de Chacaylla (figura 6.45).	Zona no apta para considerar como zona de ampliación urbanística. Prohibir la construcción de viviendas.
18	Carretera Puyca – Alca (Puyca) 8332467 / 745642	Derrumbes y caídas de rocas Las causas son: substrato de mala calidad, conformado por conglomerados y aglomerados; pendiente del terreno fuerte; escasa presencia de cobertura vegetal; corte de talud para construcción de carretera. Los factores desencadenantes pueden ser las lluvias excepcionales o sismos.	Afecta el tramo de carretera de acceso entre los pueblos de Puyca y Alca (figura 6.46).	Desquinchar rocas sueltas. Restringir el tránsito de vehículos durante temporadas de lluvias intensas. Estabilizar talud o buscar alternativas para modificar el trazo de la carretera. Mantener reforestado con especies nativas.
19	Aniso (Coronel Castañeda) 8362311 / 684884	Derrumbes, flujo de detritos y avalanchas La población de Aniso, capital del distrito Coronel Castañeda, se encuentra asentada sobre depósitos de antigua avalancha que represó el río Pallancata; además, en la zona se observa antiguas ocurrencias de flujos de detritos, derrumbes y caída de rocas. Las laderas que rodean al pueblo son de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Los detonantes para nuevas ocurrencias de movimientos en masa podrían ser precipitaciones pluviales excepcionales.	La ocurrencia de nuevos movimientos en masa podría afectar las viviendas de la localidad de Aniso. También serían afectados terrenos de cultivo (figura 6.47).	No construir viviendas ni realizar cortes en el talud del cerro. Zona no apta para expansión urbana. Buscar alternativas para reubicar la capital de distrito.
20	Ampi (Pacapausa) 8349914 / 674854	Erosión en cárcava y flujo de detritos Las viviendas de la población del Caserío de Ampi se encuentran ubicadas en el flanco suroeste del Cerro Pucamachay. Este flanco es afectado por erosión en cárcava y ocurrencias de flujos de detritos.	La erosión en cárcava y flujos de detritos podrían afectar a las viviendas construidas sobre las ocurrencias antes mencionadas (fotografía 6.14).	Reubicar y prohibir la construcción de viviendas en los cauces de torrentera o cárcavas. Reforestar con especies forestales nativas de la zona afectada por cárcavas. Para evitar activación de deslizamientos, se debe usar riego tecnificado para los cultivos.

Figura 6.43 Carretera de acceso entre Cotahuasi y Chuquibamba (km 8+100), afectada y susceptible por derrumbes por corte de talud para su construcción.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.44 Población de la urbanización Pampa de Aymaña III Etapa, ubicada en la margen izquierda de río Cotahua. Se observa la ribera del río, susceptible por pequeños derrumbes, erosión en cárcava y fluvial.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.45 En el sector de Chacaylla se observa viviendas sobre antiguos depósitos de flujos de detritos. También se observa ladera afectada por erosión en cárcava.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.46 Tramo de carretera de acceso al poblado Puyca, con muy alta susceptibilidad por derrumbes y caída de rocas.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.47 Delimitado con línea roja se observa depósitos de movimientos en masa antiguos que rodean la localidad de Aniso, capital del distrito de Coronel Castañeda.

Fuente: Imagen Google Earth Pro.

Fotografía 6.13 El talud donde se asienta el caserío Ampi se encuentra afectado por erosión en cárcava. Además, se observa viviendas construidas en cauce de cárcava.

Continuación...

Código en mapa	Paraje / sector distrito / coordenadas UTM	Susceptibilidad / comentario geodinámico	Daños ocasionados o probables	Recomendaciones
21	Huancara (Pausa) 8302050 / 677150	Deslizamientos y erosión en cárcavas En la zona se observa deslizamiento de actividad retrogresiva, con escarpa irregular de 600 m longitud, desnivel entre escarpa y pie 450 m. El substrato en las zonas está compuesto de lavas andesíticas del Grupo Tacaza y depósitos coluviales. El factor desencadenante son las lluvias excepcionales.	Podrían ser afectadas las viviendas del caserío Huancara, ubicadas a 200 m de la escarpa principal del deslizamiento. Afectan tierras de cultivo que se ubican en la escarpa del deslizamiento (fotografía 6.15).	El riego de las tierras de cultivos debe ser tecnificado. Reforestar con especies forestales nativas de la zona afectada por cárcavas. Realizar monitoreo del deslizamiento con GPS diferencial o estación total.
22	Cerro Potrero - Rauripa – Marán (Pausa) 8299300 / 678400	Deslizamientos y erosión en cárcavas En la zona se observa escarpa de un deslizamiento activo con 1 700 m de longitud, desnivel entre escarpa y pie 1 100 m (fotografía 6.16). El substrato en la zona está compuesto de rocas muy fracturadas y meteorizadas pertenecientes a los grupos Tacaza y Barroso. También existen depósitos coluviales pertenecientes a antiguos deslizamientos y derrumbes. El factor desencadenante podría ser lluvias excepcionales o sismo.	Podrían ser afectadas las viviendas de los caseríos Rauripa y Marán. Además, podrían represar el río Marán.	Realizar monitoreo del deslizamiento con GPS diferencial o estación total. Reubicar los caseríos de Rauripa y Marán. Las zonas no son aptas para viviendas. Para evitar la filtración de aguas en la zona, el riego de las tierras de cultivos debe ser tecnificado.

Fotografía 6.14 Escarpa de deslizamiento activo ubicada en el cerro Potrero.

Fotografía 6.15 Escarpa de deslizamiento activo ubicada en el cerro Potrero.

CAPÍTULO VII

SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y EROSIÓN FLUVIAL

7.1 SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Para el desarrollo del presente capítulo, se ha considerado algunos párrafos de las publicaciones realizadas por Vílchez *et al.*, 2013 (*Riesgo Geológico en la Región Piura*) y Zavala *et al.*, 2014 (*Estudio Geoambiental en la Cuenca del Río Colca*).

La susceptibilidad a los movimientos en masa está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos pueden ser intrínsecos o externos (Vílchez *et al*., 2013).

En la construcción del mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa se tiene en cuenta una serie de variables o factores que tienen influencia en la ocurrencia de dichos fenómenos (Aguilar & Mendoza, 2002).

Para determinar los grados de susceptibilidad de la cuenca del río Ocoña, se ha utilizado el método basado en la categorización y ponderación de factores (método heurístico, indirecto y cualitativo), cuyo objetivo principal es indicar y priorizar zonas donde las condiciones existentes hacen probable la ocurrencia de movimientos en masa (Vílchez *et al.*, 2013).

El proceso de elaboración se inicia con el análisis de los factores (mapas temáticos) relacionados con la ocurrencia de estos fenómenos. El inventario de movimientos en masa sirve para validar los modelos generados (Vílchez *et al.*, 2013).

Los mapas de susceptibilidad constituyen herramientas valiosas y necesarias para la gestión de desastres y la planificación del territorio. Una de sus funciones más resaltantes es indicar las zonas donde se hace necesaria o conveniente la realización de estudios más específicos y a mayor detalle.

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

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

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

En el cuadro 7.1 se presenta los pesos en porcentaje asignados a cada uno de los factores usados en el análisis de la susceptibilidad (Vílchez *et al.*, 2013).

Cuadro 7.1

Variables y porcentajes

Variable o factor	Porcentaje (%)
Litología (L)	25
Pendiente (P)	35
Geomorfología (G)	20
Hidrogeología (H)	10
Cobertura vegetal y uso del suelo (CV)	5
Total	100

Por otro lado, cada factor (mapa temático) se analiza independientemente para valorar las unidades cartográficas diferenciadas en cada uno de ellos. A continuación, se presenta el análisis de cada variable.

Litología (L)

La litología es uno de los parámetros más importantes al analizar la susceptibilidad a los movimientos en masa, pero también es uno de los más complejos de evaluar, por las diferentes asociaciones de rocas que se presentan y que condicionan su competencia geomecánica (fracturamiento) y resistencia (meteorización). Se evalúa el carácter litológico y estructural (Vílchez *et al.*, 2013).

De esta manera, se ha realizado un análisis de las propiedades de las formaciones geológicas y depósitos superficiales; propiedades como el tipo y composición de la roca, origen y tipo de material superficial, fracturamiento, grado de meteorización y presencia de agua. Este análisis busca relacionar sus características geotécnicas en la susceptibilidad procesos erosivos y movimientos en masa.

La parte estructural considera los sistemas de discontinuidades presentes en la roca, como planos de debilidad (estratificación, pliegues, fallas y diaclasas), estructuras tectónicas presentes en el material, en las cuales se ha presentado desplazamiento relativo de masas (Simons, 1990). Su influencia en la susceptibilidad está gobernada por su rumbo, buzamiento (en relación con el talud o inclinación de laderas), espaciamiento y continuidad, y grado de actividad (fallas activas, etc.), entre otros (Suárez, 1998).

En el cuadro 7.2 se presenta los valores asignados a las diferentes unidades del mapa litológico (mapa 1).

Cuadro 7.2

Valoración de las unidades litológicas

Unidad	Subunidad	Susceptibilidad	
		Grado	**Calificación**
Depósitos inconsolidados	Depósitos fluviales (I-2), aluviales (I-3), proluviales (I-4) y bofedales/lacustrino (I-7)	Muy Bajo	1
	Deluviales (I-5), coluviales (I-6)	Alto	4
	Depósitos glaciares / fluvio-glaciares (I-8)	Bajo	2
	Depósitos eólicos (I-12)	Alto	4
Rocas intrusivas	Monzonitas (II-1)	Media	3
	Granodioritas (II-2)	Alto	4
	Dioritas, tonalitas y gabros (II-3),	Bajo	2
Rocas volcánicas	Tobas e ignimbritas (III-1)	Bajo	2
	Lavas, piroclastos y brechas (III-2)	Bajo	2
	Lavas andesitas, dacitas, traquiandesitas y riolitas (III-3)	Muy Bajo	1
	Lavas andesítico-basálticas y escorias (III-4)	Muy Bajo	1
Rocas volcánico-sedimentarias	Sedimentarios clásticos con mezcla de volcanoclásticos (IV-1)	Muy alto	5
Rocas sedimentarias	Areniscas y lutitas (V-2)	Alto	4
	Lutitas, limolitas y areniscas (V-4)	Muy alto	5
	Conglomerados y areniscas (V-5)	Media	3
	Calizas y margas (V-8)	Bajo	2
Rocas metamórficas	Gneis y esquistos (VI-2)	Media	3
	Filitas y esquistos (VI-3)	Alto	4

Pendiente de los terrenos (P)

La pendiente de los terrenos se constituye en uno de los principales factores dinámicos, particularmente, de los movimientos en masa, ya que determina la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (citado por Vílchez *et al.*, 2013).

La pendiente como factor condicionante es un parámetro importante en la evaluación de todo tipo de proceso de movimientos en masa. Para ello diversos autores consideran a esta variable como fundamental en el análisis de susceptibilidad (Aguilar & Mendoza, 2002).

Respecto a la relación pendiente versus movimientos en masa, existen algunas divergencias en su análisis. En general, la correlación entre movimientos en masa y pendiente no es apropiada generalizarla para todos los ambientes climáticos. Diversos autores coinciden en que pendientes bajas y altas o muy altas son menos susceptibles a movimientos en masa. Ocurre que cuanto mayor sea la pendiente, mayor debería ser la susceptibilidad a la rotura de la formación superficial. Sin embargo, se observa que a partir de los 45º ocurre lo contrario y la pendiente de la ladera es demasiado empinada para retener a la formación superficial. Por esta razón, a pendientes elevadas donde solo aflora el substrato rocoso la posibilidad de aparición de roturas se reduce drásticamente (Ayala-Carcedo, 2002).

El mapa de pendientes de los terrenos (mapa 2) se elaboró a partir de la información topográfica a escala 1:100 000, del Instituto Geográfico Nacional (IGN), la cual fue procesada en el software ArcGis, versión 10.3.1, con la herramienta *Spatial Análisis*, módulo slope, a partir de un modelo de elevación de terreno (MED) con malla cada 25 m. Esta muestra que en las zonas de pendiente muy fuerte (25° - 45°) se registra la mayoría de los problemas de movimientos en masa. En pendientes muy bajas o muy altas se ha registrado menor número de ocurrencia. En el cuadro 7.3 se muestra los valores asignados de acuerdo con el grado de pendiente.

Cuadro 7.3

Valoración del tipo de pendiente

Rango de pendiente	Clase	Comentarios	Valor	Grado de Susceptibilidad
<1º	Muy llanos	Es muy difícil que se genere movimientos en masa, pero son afectadas por eventos originados en las porciones adyacentes o superiores de mayor pendiente.	1	Muy baja
1º-5º	Suave	Áreas poco susceptibles a movimientos en masa, de inclinación suave, afectadas o cortadas por eventos que se generan en zonas más altas o de pendiente más inclinada, generalmente flujos.	2	Baja
5º-15º	Moderada	Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa.	3	Media
15º-25º	Fuerte	Conforman relieves inclinados susceptibles a movimientos en masa.	4	Alta
25º-45º	Muy Fuerte	Caracterizadas por presentar muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa.	5	Muy alta
>45º	Muy escarpado	Son zonas abruptas donde la ocurrencia de peligros dependerá de las condiciones intrínsecas de la roca (grado de fracturamiento y orientación, estratificación, etc.), así como de los detonantes (lluvia, sismos).	3	Media

Geomorfología (G)

Para los objetivos que se persigue, el aspecto geomorfológico es considerado muy importante como factor condicionante de la susceptibilidad.

Las unidades diferenciadas en el mapa geomorfológico (mapa 3) se valorizaron de acuerdo con la cantidad de movimientos en masa registrados en el inventario. Según esto, las geoformas de montañas en rocas intrusivas, montañas en rocas volcánico-sedimentaras, montañas en rocas volcánicas y montañas en rocas metamórficas, son las más susceptibles. En el cuadro 7.4 se presenta los valores asignados a cada una de las unidades diferenciadas en el mapa geomorfológico.

Cuadro 7.4

Valoración de las unidades geomorfológicas

Geoforma	Unidad	Subunidad		Susceptibilidad	
				Calificación	Grado
De carácter tectónico degradacional y erosional	Montañas	Montaña en roca intrusiva	RM-ri	4	Alta
		Montaña en roca volcano-sedimentaria	RM-rvs	3	Media
		Montaña en roca sedimentaria	RM-rs	4	Alta
		Montaña en roca metamórfica	RM-rm	3	Media
		Montaña glaciar	RM-cgl	4	Alta
		Ladera de montaña en roca intrusiva	LM-ri	3	Media
		Ladera de montaña en roca volcánica	LM-rv	3	Media
		Ladera de montaña en roca volcano-sedimentaria	LM-rvs	3	Media
		Ladera de montaña en roca sedimentaria	LM-rs	5	Muy alta
		Ladera de montaña en roca metamórfica	LM-rm	4	Alta
		Montañas y colinas en roca volcánica	RMC-rv	2	Baja
	Colinas y lomadas	Colina y lomada en roca intrusiva	RCL-ri	2	Baja
		Colina y lomada en roca volcánica	RCL-rv	1	Muy baja
		Colina y lomada en roca volcano-sedimentaria	RCL-rvs	2	Baja
		Colina y lomada en roca sedimentaria	RCL-rs	3	Media
		Colina y lomada en roca metamórfica	RCL-rm	2	Baja
De carácter volcánico degradacional y erosional	Volcánica	Estratovolcán	Es-v	4	Alta
		Ladera con flujo de lava asociada a estrato-volcán	L-fl	1	Muy baja
		Domo volcánico	Do-v	2	Baja
		Cono de escoria monogenético	CoE	3	Media
		Colina, lomada y meseta ignimbrítica	CLM-ig	1	Muy baja
		Meseta ignimbrítica	M-ig	1	Muy baja
		Vertiente o piedemonte volcanoclástica	V-vcl	3	Media
De carácter deposicional o agradacional	Piedemonte	Morrenas	Mo	2	Baja
		Vertiente glacial o de gelifracción	V-gl	3	Media
		Vertiente glacio-fluvial	V-gfl	1	Muy baja
		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	V-cd	4	Alta
		Vertientes de detritos	V-d	4	Alta
		Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	P-at	5	Muy alta
		Abanico de piedemonte	Ab	4	Alta
		Vertiente o piedemonte aluvial	V-al	1	Muy baja
	Planicie	Altiplanicie aluvial	AP-al	1	Muy baja
		Terraza aluvial	T-al	1	Muy baja
		Terraza fluvial	T-fl	1	Muy baja
		Terraza indiferenciada	Ti	1	Muy baja
	Otros	Bofedales	Bo	1	Muy baja
		Mantos de arena	M-a	5	Muy alta
		Cuerpos de agua (lagunas y otros)		1	Muy baja

Hidrogeología (H)

El agua es el factor que más comúnmente se asocia con movimientos en masa y, en general, con el fallamiento de los taludes, debido a que la mayoría de estos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos prolongados. Así, el agua subterránea es uno de los principales factores en su ocurrencia (Vílchez *et al.*, 2013).

Las precipitaciones pluviales, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, pueden producir acumulación de agua subterránea, debido que el talud o ladera no ha drenado el agua filtrada; al ocurrir la siguiente lluvia se produce un ascenso del nivel freático. El régimen de aguas subterráneas en respuesta a las lluvias será diferente según la pendiente de la ladera, su litología y vegetación (Vílchez *et al.*, 2013).

El tiempo que se requiere para que una lluvia produzca un deslizamiento es mayor en una arcilla que en un material arenoso, debido a las diferencias de infiltración. Este tiempo es inversamente proporcional a la permeabilidad para valores constantes de los demás parámetros (Duque & Escobar, 2001).

El volumen de agua que se infiltra en la tierra queda determinado no solo por la cantidad, intensidad y tipo de precipitación, estructura geológica (fracturamiento), pendiente del terreno, cobertura y tipo de vegetación, sino también por la permeabilidad de los suelos y rocas, relacionados a la estratigrafía o secuencia de estratos permeables e impermeables. Una infiltración alta puede producir problemas de presión del agua interna que genere un deslizamiento. En el caso de que el talud llegue a saturarse, la facilidad o dificultad con que el talud se autodrene depende de las formaciones geológicas circundantes. Por lo tanto, la presencia de mantos permeables de evacuación de agua favorece grandemente su estabilidad. Los materiales impermeables que impiden el paso de las corrientes de agua subterránea facilitan la ocurrencia de deslizamientos (Vílchez *et al.*, 2013).

En el terreno se dan dos tipos de flujo de agua subterránea: intergranular (a través de los poros en formaciones aluviales, coluviales, etc.) y a través de fisuras (rocas). El flujo de agua tiende a ser mayor a lo largo de las fisuras, conductos o juntas especialmente en suelos residuales. Respecto al flujo en rocas y suelos residuales, se puede señalar las siguientes premisas (Vílchez *et al.*, 2013):

- En rocas volcánicas, su porosidad es a veces muy grande, pero sus poros no necesariamente están intercomunicados. El agua corre a través de grietas formadas al enfriarse y entre los derrames lávicos sucesivos.
- Las rocas ígneas y metamórficas pueden ser las menos saturadas; y la poca agua presente procede de sus fracturas.
- Las areniscas y rocas sedimentarias permeables son formaciones acuíferas importantes y presentan grandes flujos de agua, especialmente, en la dirección de la estratificación.
- En calizas, su porosidad depende mucho de su disolución interna, pero cuando esta es importante, da lugar a abundantes manantiales, ríos subterráneos, etc.
- En suelos residuales existe una relación del régimen de aguas subterráneas con la presencia de discontinuidades de tipo geológico. Los suelos de origen ígneo y metamórfico almacenan poca agua y en ellos las corrientes de agua están relacionadas, comúnmente, con fallas de origen tectónico. En formaciones residuales, es un caso común que un talud posea capas alternadas de materiales permeables y casi impermeables que generan concentraciones de flujo sobre ciertos planos, que pueden ser o llegar a ser planos críticos de falla.

De acuerdo con las concepciones teóricas expuestas, la diferenciación de unidades en el mapa hidrogeológico (mapa 4) se efectuó en función de su permeabilidad y de las observaciones efectuadas en campo. Se ha considerado cuatro grados de susceptibilidad (alta, media, baja y muy baja).

En el análisis de esta variable, se ha tomado en cuenta la capacidad de almacenamiento de agua de cada unidad hidrogeológica. Las unidades con mayor contenido de agua son más susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa, a excepción de los depósitos no consolidados como los aluviales, eólicos y fluviales ubicados en las partes bajas de la cuenca. En el cuadro 7.5 se muestra la valoración asignada.

Cuadro 7.5

Valoración de las unidades hidrogeológicas

Unidad Hidrogeológica	**Clasificación**	Grado	**Calificación**
Acuífero	Poroso no consolidado	Media	3
	Poroso volcánico-sedimentario	Media	3
	Fisurado sedimentario	Media	3
	Fisurado volcánico-sedimentario	Media	3
	Fisurado volcánico	Baja	2
	Poroso sedimentario	Media	3
Acuitardo	Sedimentario	Alta	4
	Volcánico-sedimentario	Media	3
	Volcánico	Media	3
	Intrusivo	Baja	2
Acuifugo	Metamórfico	Muy baja	1

Cobertura vegetal y uso del suelo (CV)

La presencia de cobertura vegetal ayuda, en algunos casos, en la disminución de los procesos o evolución de los movimientos en masa. Adémas, contribuye en el control de la erosión de laderas, con excepción en terrenos con pendientes superiores a 45º. El tipo, la densidad, la capacidad de interceptación y el área de protección de cobertura vegetal constituyen factores de resistencia o favorecimiento de los procesos morfodinámicos como la erosión y los movimientos en masa (Sánchez, *et al.*, 2002).

La utilización de un área para un determinado uso, ya sea agrícola, de reserva forestal, ganadería, industrial extractivo o urbano, modifica o conserva las condiciones naturales de estabilidad, influye en la aceleración de los procesos erosivos y amplía el radio de acción de los fenómenos de movimientos en masa (Vílchez *et al.*, 2013).

La información de cobertura vegetal y uso del suelo se elaboró teniendo como base el mapa de cobertura vegetal del Perú (Ministerio del Ambiente, 2012). La valoración de este parámetro se ha realizado de acuerdo con la disposición de cada subunidad del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo (figura 2.5) a la ocurrencia de movimientos en masa. En el cuadro 7.6 se presenta la valoración asignada.

Cuadro 7.6

Valoración de las unidades de cobertura vegetal y uso del suelo

Unidad		Susceptibilidad	
		Grado	**Calificación**
Bosque relicto altoandino	Bral	Muy baja	1
Matorral arbustivo	Ma	Media	3
Pajonal altoandino	Pj	Muy baja	1
Bofedal	Bo	Muy baja	1
Lomada	Lo	Baja	2
Agricultura costera y andina	Agri	Muy baja	1
Desierto costero	D	Alta	4
Glaciar	Gl	Muy alta	5
Periglaciar	Ap	Media	3
Lago y laguna	Lag	Muy baja	1

7.1.2 Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa

El mapa fue resultado de la integración de variables o factores analizados mediante el uso del software ArcGis 9.3, empleando la siguiente formula:

$$SMM = \frac{SP\ (0.35) + SL\ (0.25) + SG\ (0.20) + SH\ (0.15) + SCV\ (0.05)}{5}$$

En donde:

SMM: Susceptibilidad a los movimientos en masa

SL: Susceptibilidad del parámetro litología

SP: Susceptibilidad del parámetro pendiente

SG: Susceptibilidad del parámetro geomorfología

SH: Susceptibilidad del parámetro hidrogeología

SCV: Susceptibilidad del parámetro cobertura vegetal y uso del suelo

Como resultado de este análisis se obtiene el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa (mapa 7), con los siguientes grados de susceptibilidad.

7.1.3 Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa

Muy baja susceptibilidad

Estas áreas presentan en general una topografía plana algo ondulada con pendientes bajas a muy bajas. Se tiene depósitos superficiales de material consolidado y no consolidado, y el substrato rocoso constituido por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, poco fracturadas. Los movimientos en masa son inexistentes o muy raros, ya que las características intrínsecas de los terrenos hacen difícil su ocurrencia. Sin embargo, podrían ser afectadas por procesos que ocurren en sus franjas marginales, como obstrucciones o cierres de valles originados por flujos, deslizamientos u otro movimiento en masa.

Los sectores de muy baja susceptibilidad a los movimientos en masa se sitúan principalmente en las zonas denominadas pampas de Chinque, Cairapallca, Anasapallapampa, Chaquicocha, Huashuaca, Puico Pampa, Huilaro, Huashuaca, y Auquihuato, lugares ubicados dentro de los distritos de Oyolo y Colta; sectores de pampa Parinacochas y pampa Huancarama en el distrito de Puyusca; Recuañan Pampa en el distrito de Salamanca. También es considerado de muy baja susceptibilidad el valle principal del río Ocoña, desde su confluencia en el Océano Pacífico hasta la localidad de Chaucalla.

En el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa (mapa 7) se muestra las zonas de muy baja susceptibilidad en color verde claro.

Baja susceptibilidad

Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa. Estas áreas presentan una topografía plano-ondulada con pendientes muy bajas a moderadas en algunos sectores; se tiene depósitos de materiales superficiales consolidados y no consolidados, y el substrato está constituido por rocas volcánicas (tobas, ignimbritas, andesitas, dacitas y entros). Además, se localiza en sectores cuya altitud es mayor a los 3 800 m s. n. m.

Tomar en cuenta que muchos de los flujos se forman en zonas de susceptibilidad media a alta y afectan a las áreas o zonas de bajas susceptibilidad.

En el mapa 7, las zonas de susceptibilidad baja están representadas con el color verde oscuro.

Media susceptibilidad

Zonas donde la cuenca presenta algunas condiciones favorables para generar movimientos en masa. Incluyen geoformas de colinas, lomadas, abanicos y mesetas volcánicas. La pendiente de los terrenos varía entre 5° y 25°. En el mapa 7, se señala en color amarillo las áreas con moderado grado de susceptibilidad. Son zonas donde el terreno presenta ciertas condiciones para generar movimientos en masa y están asociadas a pendientes moderadas. Se encuentran distribuidas principalmente en los alrededores o al pie de los nevados Solimana, Coropuna, Sara Sara y en las jurisdicciones de los distritos de Puyca, Huaynacotas, Pampamarca, Coronel Castañeda, Coracora, Chumpi y las zonas altas de los distritos de Sayla, Corculla, San José de Ushua y Oyolo.

Alta susceptibilidad

Son zonas donde confluye la mayoría de las condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa cuando se modifican sus taludes.

Estas áreas comprenden topografías con pendientes fuertes a muy fuertes (15º - 45º). Se encuentran ocupando las laderas de montañas y colinas altas, donde se tiene depósitos de material superficial inconsolidado que constituyen piedemontes de valle, acumulaciones de depósitos fluvio-glaciares, morrenas y detritos de vertiente indiferenciados. El substrato rocoso está conformado por rocas sedimentarias (principalmente areniscas, lutitas y calizas), rocas volcánico-sedimentarias, rocas intrusivas (principalmente dioritas, granodioritas, monzonitas y tonalitas) y rocas volcánicas (principalmente andesitas y tobas), las cuales se encuentran muy fracturadas y alteradas a suelos arcillo-limosos, limo-arcillosos y areno-limosos.

Dichas áreas comprenden las laderas de las subcuencas Ocoña Bajo (vertientes del río Ocoña), Churunga (vertientes del río Churunga), Chichas (vertientes de los ríos Chichas, Cuchuccencca, Arma y Ccellamayo), Cotahuasi (vertientes de los ríos Cotahuasi, Huancaya y Chaupimayo), Marán (vertientes de los ríos Marán y Oyolo), Colcamayo (vertientes de los ríos Colta, Pacapausa, Pallancata y Calpamayo) y Mirmaca (vertientes del río Mirmaca).

Estas áreas son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa (deslizamientos, caídas de rocas, derrumbes, movimientos complejos, flujos de lodo, huaicos y procesos de erosión de laderas); la susceptibilidad de esta zona aumenta por la pérdida de la cobertura vegetal cuando se realiza la tala de bosques para aprovechamiento del suelo, como terrenos de cultivo, además se encuentra una gran cantidad de derrumbes a lo largo de taludes de corte de carretera que desestabilizan las laderas.

Están representadas en el mapa de susceptibilidad por los movimientos en masa (mapa 7) en color anaranjado.

Muy alta susceptibilidad

Se concentran principalmente donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos al modificar sus taludes, ya sea como deslizamientos, derrumbes o movimientos complejos.

Estas áreas presentan pendientes fuertes a muy fuertes (15º-45º), sustrato de rocas intrusivas (granodiorita), sedimentarias (intercalación de lutitas, limolitas y areniscas) muy fracturadas y meteorizadas a suelos de tipo arcillo-limoso, areno-limoso. Dentro de esta zona se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (deslizamientos, caídas, flujos y movimientos complejos), además de procesos de erosión de laderas.

Conforma los acantilados del Cerro Tinajas, vertientes del río Cotahuasi entre la quebrada Palmaderas y Toro; vertientes de los ríos Uchubamba y Huanca Huanca, entre las quebradas Runayupan y Jara jara; vertientes de los ríos Pacapausa y Pallancata, entre las quebradas Enno, Saca Anco y Cochaloma; también, se ubican en las quebradas Laigua, Pica, Encanto, Apacheta, El Rey, Arauro, Callalli y Verde Yura, entre otros.

Para una fácil identificación, las áreas de muy alta susceptibilidad por los movimientos en masa están representadas en el mapa (mapa 7) con color rojo.

7.2 SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES Y EROSIÓN FLUVIAL

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición de que un evento suceda sobre determinado espacio geográfico. Representa un enfoque basado en un análisis heurístico-cualitativo, donde prima el conocimiento experto e histórico del lugar que se evalúa. Basado en una visión retrospectiva de los eventos acontecidos en la cuenca, y partiendo del conocimiento de las características geomorfológicas e hidrológicas del valle principal y tributarios, se llega a zonificar la cuenca en zonas de mayor o menor predisposición a estos procesos (Zavala *et al.*, 2014).

Por lo tanto, la susceptibilidad por la inundación es la probabilidad de inundación de un área en base a las condiciones locales del terreno donde la geomorfología es una de las variables fundamentales. La llanura de inundación, teóricamente, controla el flujo de agua y la actual configuración de las formas del terreno (terrazas y cauce) y la distribución de sedimentos fluviales (albardones, terrazas bajas), las que provocarán inundaciones en el futuro. Este análisis geomorfológico de formas del terreno se complementa con información de registros históricos de antiguas inundaciones y la información topográfica (pendiente del terreno).

Además, se aplica el término "susceptibilidad por inundaciones" a los terrenos propensos a sufrir anegamiento, encharcamiento o inundación, como producto del desborde de ríos. Sin embargo, una particularidad de la cuenca es la presencia de amplias áreas con superficies plano-onduladas o plano-depresionadas en la divisoria de aguas continentales. Esta característica permite las condiciones de anegamiento con lluvias pluviales en áreas con pobre drenaje como son las zonas altiplánicas con presencia de bofedales.

7.2.1 Método de análisis y elección de variables

El análisis de la susceptibilidad inundaciones se basa principalmente en la caracterización geomorfológica, apoyada en la interpretación de imágenes y trabajo de campo.

Además, en función de la escala de trabajo se considera dos variables: rangos de pendiente y unidades geomorfológicas de la cuenca. En forma simultánea, los procesos de erosión fluvial ocurren como eventos asociados, generalmente circunscritos a la caja o cauce principal o quebrada, limitados por terrazas bajas o altas, donde su fuerza erosiva o socavamiento fluvial es originado muchas veces por la carga de sedimentos (flujos de detritos o huaicos). Esto ocurre anualmente con las avenidas estacionales. Dependiendo de la existencia de una adecuada protección de riberas (defensas con gaviones, muros o enrocados) y del ordenamiento de uso del territorio, se verán afectados terrenos de cultivo (ganados de forma inapropiada al cauce fluvial), plataformas o rasantes de carretera en terrazas bajas, u otras estructuras como bocatomas, canales y puentes (Zavala *et al.*, 2014).

Las variables usadas, su forma de obtención y los pesos asignados a cada factor son presentados en el cuadro 7.7. Asimismo, en forma independiente, se asignó diferentes pesos a las unidades diferenciadas (cuadro 7.8 y cuadro 7.9). Esto permitió zonificar la cuenca en cuatro rangos de susceptibilidad como son: alta, media, baja y muy baja o nula (mapa 8).

Cuadro 7.7

Ponderación de variables en el análisis de la susceptibilidad a las inundaciones

Variables	Descripción	Obtención	Peso (%)
Pendiente	Rangos de pendientes de los terrenos, expresado en grados (0º-90º).	Modelo digital de elevaciones, obtenido con el SIG a partir de mapas topográficos a escala 1:100 000 con equidistancia de curva cada 50 m.	60
Geomorfología	Unidades geomorfológicas de acuerdo con su amplitud de relieve, altura relativa, pendiente y asociación morfogenética.	Interpretación de imágenes satelitales, cartas topográficas y control de campo a escala 1:100 000.	40

Cuadro 7.8

Valoración del tipo de pendiente

Rango de pendiente	Clase	Comentarios	Valor	Grado
0 - 1º	Terrenos llanos	Áreas muy susceptibles de inundaciones	4	Muy Alta
1º - 5º	Pendiente suave	Áreas medianamente susceptibles de inundaciones	3	Alta
5º- 15º	Pendiente moderada	Áreas donde no se presentan inundaciones	1	Baja
15º - 25º	Pendiente fuerte		1	Baja
25º - 45º	Pendiente escarpada		1	Baja
> 45º	Terrenos muy escarpados		1	Baja

Cuadro 7.9

Valoración de las unidades geomorfológicas a la inundación

Geoforma	Unidad	Subunidad		Susceptibilidad	
				Calificación	Grado
De carácter tectónico degradacional y erosional	Montañas	Montaña en roca intrusiva	RM-ri	1	Nula
		Montaña en roca volcano-sedimentaria	RM-rvs	1	Nula
		Montaña en roca sedimentaria	RM-rs	1	Nula
		Montaña en roca metamórfica	RM-rm	1	Nula
		Montaña glaciar	RM-cgl	1	Nula
		Ladera en roca intrusiva	LM-ri	1	Nula
		Ladera en roca volcánica	LM-rv	1	Nula
		Ladera en roca volcano-sedimentaria	LM-rvs	1	Nula
		Ladera de montaña en roca sedimentaria	LM-rs	1	Nula
		Ladera de montaña en roca metamórfica	LM-rm	1	Nula
		Montañas y colinas en roca volcánica	RMC-rv	1	Nula
	Colinas y lomadas	Colina y lomada en roca intrusiva	RCL-ri	1	Nula
		Colina y lomada en roca volcánica	RCL-rv	1	Nula
		Colina y lomada en roca volcano-sedimentaria	RCL-rvs	1	Nula
		Colina y lomada en roca sedimentaria	RCL-rs	1	Nula
		Colina y lomada en roca metamórfica	RCL-rm	1	Nula

Continuación...

Geoforma	Unidad	Subunidad		Susceptibilidad	
				Calificación	Grado
De carácter volcánico degradacional y erosional	Volcánica	Estratovolcán	Es-v	1	Nula
		Ladera con flujo de lava asociada a estra-to-volcán	L-fl	1	Nula
		Domo volcánico	Do-v	1	Nula
		Cono de escoria monogenético	CoE	1	Nula
		Colina, lomada y meseta ignimbrítica	CLM-ig	1	Nula
		Meseta ignimbrítica	M-ig	2	Baja
		Vertiente o piedemonte volcanoclástica	V-vcl	1	Nula
De carácter deposicional o agradacional	Piedemonte	Morrenas	Mo	1	Nula
		Vertiente glacial o de gelifracción	V-gl	1	Nula
		Vertiente glacio-fluvial	V-gfl	1	Baja
		Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	V-cd	1	Nula
		Vertientes de detritos	V-d	1	Nula
		Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	P-at	4	Muy alta
		Abanico de piedemonte	Ab	3	Alta
		Vertiente o piedemonte aluvial	V-al	3	Alta
	Planicie	Altiplanicie aluvial	AP-al	2	Baja
		Terraza aluvial	T-al	3	Alta
		Terraza fluvial	T-fl	4	Muy alta
		Terraza indiferenciada	Ti	4	Muy alta
	Otros	Bofedales	Bo	4	Muy alta
		Mantos de arena	M-a	1	Nula
		Cuerpos de agua (lagunas y otros)		4	Muy alta

La inundación y la erosión fluvial, además de ser influidos por otros factores netamente geomorfológicos y dinámicos, ocurren usualmente en terrenos de suave pendiente (< 1º y entre 1º y 5º); de ahí que estos terrenos se consideren de alta susceptibilidad por las inundaciones.

7.2.2 Grados de susceptibilidad a inundación y erosión fluvial

El mapa de susceptibilidad a las inundaciones se elaboró utilizando el software ArcGis 9.3, en donde se empleó la siguiente fórmula:

$$SI = \frac{SGI\ (0,60) + SPI\ (0,40)}{2}$$

En donde:

SI : Susceptibilidad a las inundaciones

SGI : Susceptibilidad del parámetro geomorfología a las inundaciones

SPI : Susceptibilidad del parámetro pendiente a las inundaciones

Las características de los diferentes rangos de susceptibilidad a las inundaciones (mapa 8), se describen y detallan en el cuadro 7.10.

Las áreas sujetas a inundaciones y erosión fluvial con mayor intensidad, en la cuenca del río Ocoña, están localizadas en la parte baja de las subcuencas Ocoña Bajo, Churunga, Ocoña Alto, Chichas, Cotahuasi, Marán, Colcamayo, Mirmaca y Parinacochas. Allí las inundaciones y la erosión fluvial de las márgenes y terrazas se producen por aumentos en el caudal de agua, relacionado estrechamente a las precipitaciones pluviales excepcionales.

Cuadro 7.10

Grados de susceptibilidad inundaciones en la cuenca del río Ocoña

Grado	Características de los terrenos
Alto	Terrenos que corresponden a las llanuras de inundación y abanicos aluviales de baja pendiente, que se inundan de manera periódica a ocasional en los valles (tributarios y principal) interandinos de la cuenca baja, media y alta, y que se distribuyen en: río Ocoña, quebradas Chorunga, Chiuca, y Laigua, ríos Chichas, Arma, Cotahusi, Huarcaya, Marán, Oyolo, Huaccmi Mayoc, Huanca Huanca, Pallancata, Suyamarca, quebradas Condorhuasi, Pampahuasi y Rapiche, ríos Lollota, Negro, Huacsapallcca, Joccgo, Mirmaca, Chuspin, Vado y Cueva.
Moderado	Puede ocurrir inundaciones con precipitaciones pluviales excepcionales, por acumulación de agua en zonas mal drenadas o con poca capacidad de infiltración, a lo largo de torrenteras, quebradas y ríos.
Bajo	Terrenos bajos adyacentes a terrazas, vertientes de suave inclinación, valles fluviales y ríos secundarios. Terrenos levemente inclinados, mal drenados, que podrían ser inundados con lluvias excepcionales.
Muy bajo o nulo	Vertiente de laderas inclinadas y cóncavas de montañas y colinas, terrazas antiguas elevadas.

CAPÍTULO VIII
CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

8.1 INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Ocoña hidrográficamente está conformada por diez subcuencas: Alto Ocoña, Bajo Ocoña, Chichas, Churunga, Cotahuasi, Medio Alto Ocoña, Medio Bajo Ocoña, Medio Ocoña, Mirmaca y Parinacochas (mapas 9, 10 y 11). Estas unidades presentan características geológicas, hidrogeológicas, ocurrencias de mineralización y pasivos ambientales mineros, entre otros.

Se realizó trabajos de campo para la recolección de muestras en ocho subcuencas (Alto Ocoña, Bajo Ocoña, Chichas, Churunga, Cotahuasi, Medio Alto Ocoña, Medio Bajo Ocoña y Mirmaca) de las diez existentes. Fueron realizados en dos temporadas: avenida (abril) y estiaje (setiembre) del año 2012. Para la temporada de estiaje se consideró 42 estaciones y en la temporada de avenidas 54 estaciones de aguas superficiales (cuadro 8.1, mapa 11).

Cuadro 8.1

Cantidad de estaciones de muestreo evaluadas en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida y estiaje

Subcuenca	Estaciones de inventario	
	Época de avenidas 2012	Época de estiaje 2012
Bajo Ocoña	4	6
Churunga	4	6
Medio Bajo Ocoña	3	3
Chichas	4	5
Cotahuasi	13	14
Medio Alto Ocoña	5	6
Mirmaca	3	5
Alto Ocoña	6	9
Total	42	54

8.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El análisis e interpretación de los datos fisicoquímicos se realizó para las estaciones de inventario de ambas temporadas (avenidas y estiaje del 2012). Para ello se consideró la siguiente serie analítica:

- Medición de los parámetros fisicoquímicos *in situ:* pH, Conductividad Eléctrica (CE), Solidos Totales Disueltos (TDS) y Temperatura (T), utilizando equipos portátiles de la marca Hanna.
- Recopilación de muestras de aguas superficiales: refrigeración de las muestras a menos de 4°C para aniones, cationes y elementos traza. Cabe mencionar que para estos dos últimos análisis se acidificaron las muestras con ácido nítrico para su preservación.
- Codificación de muestras: se colocó a los códigos las terminaciones “S” y “S-2” para indicar que las muestras de agua analizadas corresponden a las temporadas de lluvia y estiaje, respectivamente.
- En laboratorio, los siguientes análisis fueron realizados:

- Medición de parámetros inorgánicos como sulfatos, cloruros, fluoruros, nitratos y nitritos, por el método de Cromatografía Iónica.
- Carbonatos y bicarbonatos por el método Titrimétrico.
- Metales totales y disueltos: Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V y Zn. Cabe mencionar que el analito Hg se analizó solo para la temporada de avenida. Para esta serie analítica se utilizó los métodos de Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-AES).
- Elaboración de diagramas univariales para el análisis de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y temperatura).
- Verificación y validación de los resultados de análisis químicos a través del cálculo de Error del Balance Iónico (EBI), plasmados en diagramas univariales.
- El cálculo de las facies químicas del agua se realizó con el software Aquachem versión 2014.2; el método utilizado fue iones mayoritarios (Custodio & Llamas, 2001).
- El análisis de calidad de las aguas se realizó a través del coeficiente de riesgo de contaminación, donde los cálculos fueron interpretados en cuadros y diagramas donde son incluidos los parámetros fisicoquímicos y elementos traza.

Los análisis químicos de las muestras de aguas superficiales, para ambas temporadas, se realizaron en el laboratorio de Ingemmet (figura 8.1). Asimismo, los resultados químicos de las estaciones de muestreo se encuentran en los anexos 8.9a, 8.9b, 8.10, 8.11a, 8.11b, 8.12a y 12b.

8.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

El agua se comporta como un disolvente tanto de los compuestos orgánicos como de los inorgánicos, de modo que podemos encontrar en su composición una gran cantidad de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas que modifican sus propiedades fisicoquímicas. Según lo mencionado, se presenta los resultados y análisis de la campaña de recopilación de los parámetros fisicoquímicos y toma de muestras de aguas en épocas de avenida y estiaje en el año 2012. Las mediciones se realizaron con el objetivo de evaluar la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y de los distintos elementos traza en las aguas superficiales a nivel de la cuenca y subcuencas que conforman el río Ocoña (cuadros 8.2 y 8.3).

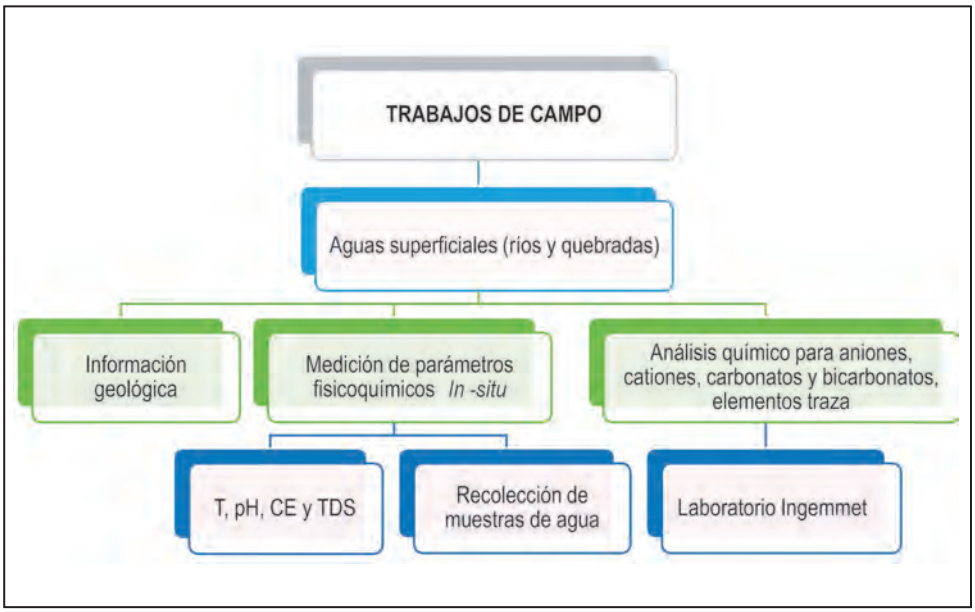


Figura 8.1 Diagrama de flujo de trabajos en campo referente a la recolección de muestras de aguas superficiales.

Cuadro 8.2

Resumen de los parámetros fisicoquímicos para la cuenca Ocoña (avenida y estiaje, 2012)

Temporada	Avenida							Estiaje						
Parámetros **fisicoquímicos**	N° Datos	**Máx.**	Mín.	Media	Mediana	Desviación estandar	**Coeficiente de** variación	N° Datos	**Máx.**	Mín.	Media	Mediana	Desviación estándar	**Coeficiente** de variación
T (°C)	42	24.9	5.3	15.6	14.85	4.85	31.00	47	25.6	3.6	14.0	13.4	4.43	31.72
pH	42	8.86	3.28	7.8	7.94	0.93	11.87	51	9.66	3.34	7.9	7.93	0.99	12.50
CE (uS/cm)	42	2054	17	214.8	100	365.54	170.15	51	3999	12	375.5	242	587.45	156.43
TDS (mg/L)	42	1028	8	107.2	50	182.94	170.71	51	2000	6	189.3	125	293.64	155.09

Cuadro 8.3

Resumen de los parámetros fisicoquímicos de las subcuencas del río Ocoña (avenida y estiaje, 2012)

Temporada	Avenida							Estiaje						
Parámetros **fisicoquímicos**	N° Datos	**Máx.**	Mín.	Media	Mediana	Desviación estándar	**Coeficiente** de variación	N° Datos	**Máx.**	Mín.	Media	Mediana	Desviación estándar	**Coeficiente** de variación
Subcuenca Bajo Ocoña														
T (°C)	4.0	24.2	22.8	23.5	23.5	0.62	2.65	4.0	20.3	17.5	18.4	17.9	1.33	7.21
pH	4.0	8.3	8.1	8.2	8.2	0.08	0.96	6.0	8.7	8.2	8.5	8.5	0.19	2.31
CE (uS/cm)	4.0	208.0	188.0	199.3	200.5	9.43	4.73	6.0	395.0	368.0	386.7	389.0	9.65	2.49
TDS (mg/L)	4.0	104.0	94.0	99.8	100.5	4.65	4.66	6.0	197.0	184.0	193.0	194.0	4.69	2.43
Subcuenca Churunga														
T (°C)	4.0	24.9	14.0	20.7	22.0	11.32	54.63	6.0	25.6	10.3	18.9	20.1	5.23	27.70
pH	4.0	8.7	8.0	8.4	8.4	4.34	51.71	6.0	9.7	7.7	8.3	8.2	0.70	8.35
CE (uS/cm)	4.0	678.0	145.0	467.8	524.0	303.27	64.84	6.0	706.0	128.0	488.8	611.5	263.17	53.84
TDS (mg/L)	4.0	339.0	72.0	233.8	262.0	151.69	64.89	6.0	353.0	64.0	245.3	308.5	132.06	53.83
Subcuenca Medio Bajo Ocoña														
T (°C)	3.0	23.2	20.1	21.7	21.9	1.56	7.16	3.0	20.0	18.5	19.2	19.0	0.76	3.98
pH	3.0	8.2	8.1	8.1	8.1	0.04	0.46	3.0	8.6	8.5	8.6	8.6	0.08	0.87
CE (uS/cm)	3.0	184.0	175.0	180.7	183.0	4.93	2.73	3.0	368.0	364.0	366.7	368.0	2.31	0.63
TDS (mg/L)	3.0	91.0	87.0	89.7	91.0	2.31	2.58	3.0	184.0	180.0	182.0	182.0	2.00	1.10
Subcuenca Chichas														
T (°C)	4.0	16.9	10.7	13.6	13.3	6.45	47.59	3.0	17.6	10.8	13.6	12.3	7.85	57.85
pH	4.0	8.9	7.8	8.3	8.3	3.74	45.05	5.0	8.5	7.5	7.9	7.8	0.36	4.60
CE (uS/cm)	4.0	123.0	28.0	57.5	39.5	46.69	81.19	5.0	129.0	28.0	82.0	81.0	39.72	48.44
TDS (mg/L)	4.0	61.0	14.0	27.5	17.5	23.10	83.99	5.0	65.0	14.0	41.0	40.0	20.01	48.81
Subcuenca Cotahuasi														
T (°C)	13.0	17.0	5.3	12.8	13.4	4.43	34.60	14.0	17.3	5.7	12.2	12.4	2.95	24.22
pH	13.0	8.4	7.7	8.0	8.0	2.14	26.85	14.0	8.1	7.5	7.8	7.9	0.20	2.50
CE (uS/cm)	13.0	2054.0	18.0	217.8	66.0	533.99	245.21	14.0	3999.0	31.0	444.2	184.0	1026.19	231.01
TDS (mg/L)	13.0	1028.0	9.0	108.8	33.0	267.29	245.57	14.0	2000.0	15.0	221.2	87.5	513.50	232.13
Subcuenca Medio Alto Ocoña														

Continuación...

Temporada	Avenida							Estiaje						
Parámetros **fisicoquímicos**	N° Datos	**Máx.**	Mín.	Media	Mediana	Desviación estándar	**Coeficiente** de variación	N° Datos	**Máx.**	Mín.	Media	Mediana	Desviación estándar	**Coeficiente** de variación
T (°C)	5.0	18.4	8.3	14.3	16.6	7.24	50.64	6.0	13.9	8.4	10.8	10.4	2.36	21.79
pH	5.0	8.8	3.3	6.5	7.5	3.31	50.87	6.0	8.3	3.3	6.9	7.7	1.85	26.68
CE (uS/cm)	5.0	1135.0	17.0	406.6	206.0	460.76	113.32	6.0	1709.0	12.0	448.5	148.5	662.61	147.74
TDS (mg/L)	5.0	567.0	8.0	203.0	103.0	230.21	113.40	6.0	852.0	6.0	240.3	124.0	326.19	135.72
Subcuenca Mirmaca														
T (°C)	3.0	16.5	8.8	12.4	12.0	7.34	59.03	5.0	18.1	8.4	14.1	15.4	3.72	26.45
pH	3.0	7.8	7.5	7.6	7.6	4.19	54.79	5.0	8.6	3.8	7.2	7.9	1.93	26.73
CE (uS/cm)	3.0	140.0	67.0	104.3	106.0	62.71	60.11	5.0	737.0	110.0	412.8	427.0	249.74	60.50
TDS (mg/L)	3.0	70.0	33.0	52.0	53.0	31.35	60.28	5.0	368.0	55.0	206.0	213.0	124.88	60.62
Subcuenca Alto Ocoña														
T (°C)	6.0	15.0	11.3	14.2	14.8	7.20	50.64	6.0	13.7	3.6	10.8	12.5	6.17	57.00
pH	6.0	7.9	6.9	7.4	7.5	3.74	50.25	6.0	8.3	7.9	8.1	8.1	4.05	50.04
CE (uS/cm)	6.0	115.0	18.0	67.7	66.0	41.72	61.66	6.0	314.0	82.0	235.8	262.0	135.74	57.56
TDS (mg/L)	6.0	57.0	9.0	33.7	33.0	20.71	61.52	6.0	157.0	41.0	117.7	130.5	67.74	57.57

El análisis de los datos se presenta a través de mapas y gráficos de variación de pH y conductividad eléctrica, los cuales fueron comparados con lo establecido en la legislación peruana de acuerdo con el DS N° 004-2017-MINAM: Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA). Asimismo, se tiene que por Resolución Jefatural N° 270-2017-ANA, la cuenca Ocoña está clasificada con la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. A continuación, se hace una breve descripción de cada parámetro fisicoquímico.

8.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

Es una medida de la acidez del agua. Se obtiene del inverso del logaritmo de la concentración de iones hidrógenos. Asimismo, es adimensional y el valor de 7 corresponde a un pH neutro, mientras que los pH inferiores a 7 corresponden a medios ácidos y los superiores a 7 a medios básicos y/o alcalinos. Por otro lado, las aguas naturales tienen pH que oscila generalmente entre los valores de 6.5 y 8 (Martínez *et al.*, 2006).

El pH en la cuenca del río Ocoña es variable. Se tiene valores máximos de 8.86 y 9.66, y valores mínimos de 3.28 y 3.34 para las temporadas de avenida y estiaje, respectivamente (cuadro 8.2). Podemos observar que los valores presentan un incremento para pH tanto ácidos como alcalinos. Este aspecto está relacionado con el incremento de precipitación y descarga (caudal) en los ríos y quebradas en las que fueron inventariadas las estaciones de muestreo. En los siguientes párrafos se describe el pH por subcuencas.

a) Subcuenca Bajo Ocoña. Se ubica al sur de la cuenca del río Ocoña. Esta subcuenca forma parte del área final de recepción de aguas superficiales de las nacientes, quebradas y ríos, los cuales confluyen y se juntan para desembocar en el Océano Pacífico. Los datos de pH tienen medianas de 8.2 y 8.5 para la temporada de avenida y estiaje (cuadro 8.3), con predominio principalmente de aguas alcalinas y/o básicas. De igual forma, se puede observar que las fuentes inventariadas para ambas temporadas muestran pH ligeramente variante (figura 8.2).

De acuerdo con el ECA Agua categoría 3, los valores aptos de pH para la subcategoría riego de vegetales (RV) son pH: 6.5 a 8.5 (mapas 12 y 13) y para la bebida de animales (BA) son pH: 6.5 a 8.4 (mapa 14 y 15). Los valores de pH por debajo o encima de estos límites son considerados no aptos para la categoría 3. La subcuenca Bajo Ocoña para la temporada de avenida tiene fuentes que no sobrepasan los límites establecidos en el ECA categoría 3, mientras que para la temporada de estiaje tienen 3 estaciones (136-01-001S-2, 136-01-007S-2 y 136-01-008S-2) que sobrepasan los límites, por lo que son consideradas como fuentes alcalinas.

b) Subcuenca Churunga. Se localiza al sureste de la cuenca del río Ocoña. El pH presenta medianas de 8.4 y 8.2, con predominio principalmente de aguas alcalinas (cuadro 8.3). Se observa que los valores muestran altas variaciones de las estaciones para ambas temporadas (figura 8.2). Por otra parte, según el ECA Agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, hay

1 (136-02-002S) y 2 (136-02-002S y 136-02-004S) estaciones que superan el límite establecido para la temporada de avenida, correspondiente a cada categoría (mapas 12 y 14). Igualmente, hay 1 (136-02-006S-2) y 2 (136-02-004S-2 y 136-02-006S-2) fuentes de agua superficial. Ambas categorías superan el límite establecido para la temporada de estiaje (mapas 13 y 15).

c) Subcuenca Medio Bajo Ocoña. Se ubica al sur de la cuenca del río Ocoña. Tiene pH con medianas de 8.1 y 8.6, de tal forma que, el agua preponderante es alcalina y/o básica (cuadro 8.3). Asimismo, hay variaciones moderadas para ambas temporadas (figura 8.2). Según el ECA Agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, no hay estaciones que sobrepasan el límite establecido para ambas categorías en la temporada de avenida (mapas 12 y 14). Por otra parte, hay 2 estaciones (136-03-002S-2 y 136-03-003S-2) que sobrepasan los límites permitidos en ambas categorías para la temporada de estiaje (mapas 13 y 15).

d) Subcuenca Chichas. Se encuentra al este de la cuenca del río Ocoña. El pH presenta medianas de 8.3 y 7.8, por lo que preponderan aguas alcalinas y/o básicas (cuadro 8.3). Asimismo, se tiene variaciones moderadas a altas para ambas temporadas (figura 8.2). Según el ECA Agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, hay 2 estaciones (136-04-002S y 136-04-003S) que sobrepasan los límites establecidos en ambas categorías para la temporada de avenida (mapas 12 y 14). Por otro lado, ninguna estación sobrepasa el límite para RV; por el contrario, hay 1 estación (136-04-002S-2) que sobrepasa el límite para BA en la temporada de estiaje (mapas 13 y 15).

e) Subcuenca Cotahuasi. Se localiza al noreste de la cuenca del río Ocoña. Las medianas de pH se encuentran entre los valores de 8 y 7.9, donde el predominio es principalmente de aguas neutras y alcalinas (cuadro 8.3). Se observa que los valores muestran bajas a moderadas variaciones de las estaciones para ambas temporadas (figura 8.2). Según el ECA Agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, no hay estaciones que sobrepasen el límite establecido RV; y respecto a BA, hay 1 fuente (136-06-013S) que sobrepasa el límite establecido para la temporada de avenida (mapas 12 y 14). Respecto a la temporada de estiaje, se tiene que ninguna estación de agua superficial (ambas categorías) supera el límite establecido en el ECA (mapas 13 y 15).

f) Subcuenca Medio Alto Ocoña. Se ubica al norte de la cuenca del río Ocoña. El pH posee medianas entre 7.5 y 7.7, por lo que preponderan aguas neutras (cuadro 8.3). Asimismo, hay variaciones moderadas para ambas temporadas. Cabe indicar que hay algunas estaciones con pH ácido y alcalino (figura 8.2). Por otra parte, para el ECA Agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, hay 2 fuentes (136-07-004S y 136-07-001S) que superan los límites establecidos en RV y BA para la época de avenida (mapas 12 y 14). Asimismo, hay 1 estación (136-07-001S-2) que supera en RV y BA para la temporada de estiaje (mapas 13 y 15).

g) Subcuenca Mirmaca. Se localiza al oeste de la cuenca del río Ocoña. El pH tiene medianas de 7.6 y 7.9 y el predominio de aguas es neutra a alcalina (cuadro 8.3). Se observa que los valores de las estaciones muestran moderadas variaciones para ambas temporadas (figura 8.2). Según el ECA Agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, no hay estaciones que sobrepasen los límites establecidos para la temporada de avenida (mapas 12 y 14). Por otro lado, hay 2 estaciones (136-08-004-S-2 y 136-08-002S-2) que sobrepasan los límites en RV y BA para la época de estiaje (mapas 13 y 15).

h) Subcuenca Alto Ocoña. Se ubica al noroeste de la cuenca del río Ocoña. Presenta pH con valores de mediana de 7.5 y 8.1, donde las aguas son predominantes neutras y alcalinas (cuadro 8.3). Asimismo, las estaciones muestran altas variaciones para ambas temporadas (figura 8.2). Según el ECA Agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, no se cuenta con estaciones que sobrepasen los límites para ambas temporadas (mapas 12, 13, 14 y 15).

8.3.2 Conductividad Eléctrica (CE)

Es la capacidad que tiene el agua para conducir la corriente eléctrica; depende de la cantidad, carga y movilidad de iones disueltos. La unidad de medida es en microsiemens/cm (uS/cm). Asimismo, las variaciones de pH y temperatura influyen en la solubilidad de sales; por ende, influirá en conductividad eléctrica (Martínez *et al.*, 2006).

En la cuenca Ocoña se registraron 168 y 200 datos de CE para la temporada de avenida y estiaje, respectivamente. Las estaciones inventariadas tienen gran variabilidad donde los valores mínimos y máximos son de 17 y 2 054 uS/cm para avenida, y 12 y 3 999 uS/cm en estiaje (cuadro 8.2). Los cuadros y gráficas fueron comparados con los ECA Agua categoría 3, donde se clasifica la CE para el riego de vegetales como apto para valores menores a 2 500 uS/cm (mapas 16 y 17) y para bebida de animales menores a 5 000 uS/cm (mapas 18 y 19).

En los siguientes párrafos, se describe el pH por subcuencas.

a) Subcuenca Bajo Ocoña. Se realizó el monitoreo de 4 estaciones de aguas superficiales para ambas temporadas, donde para la temporada de estiaje se aumentaron 2 estaciones a la red de muestreo (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). Asimismo, las estaciones tienen altas variaciones, y se observa que, para la temporada de estiaje las estaciones de agua superficiales aumentan su contenido de sales (figura 8.3). El análisis estadístico presenta medianas de 200.5 y 389

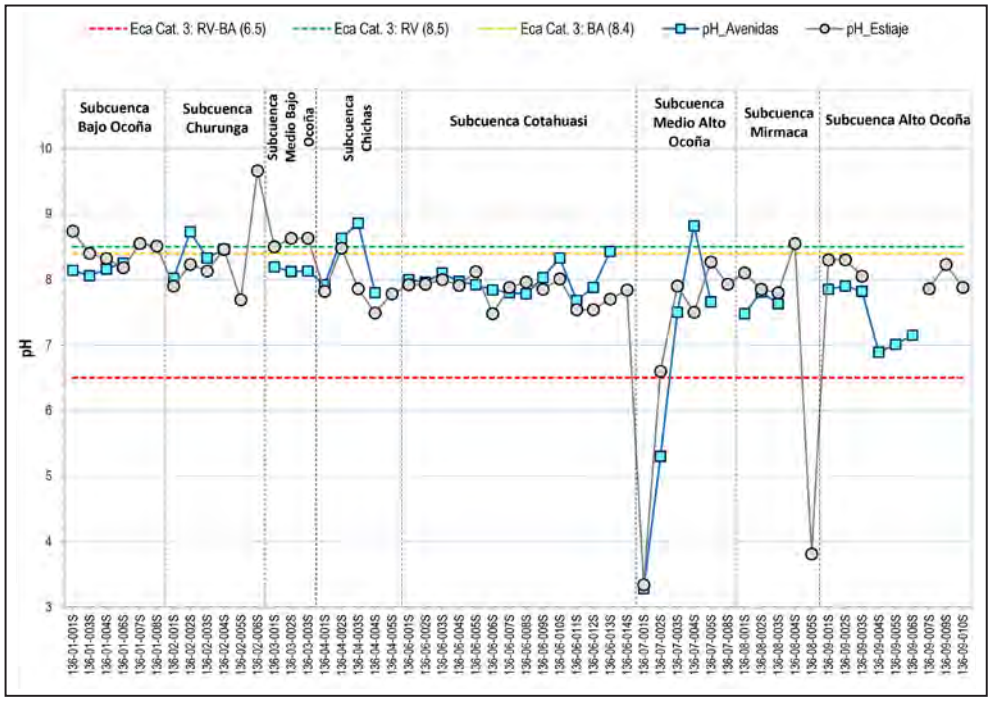


Figura 8.2 Variación del pH para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).

uS/cm para ambas temporadas (cuadro 8.3). La comparación con el ECA subcategoría 3 tanto para RV y BA muestra que no hay fuentes que superan los límites establecidos para ambas temporadas (mapas 16, 17, 18 y 19).

b) Subcuenca Churunga. Presenta 4 estaciones de aguas superficiales para ambas temporadas, y para la temporada de estiaje se aumentaron 2 estaciones a la red de muestreo (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). Las variaciones en CE son bajas dado que muestran similares salinidades para ambas temporadas (figura 8.3). La estadística muestra medianas de 183 y 368 uS/cm para ambas temporadas (cuadro 8.3). Respecto a los ECA para RV y BA, las estaciones de aguas superficiales no sobrepasan los límites establecidos en ambas temporadas (mapa 16, 17, 18 y 19).

c) Subcuenca Medio Bajo Ocoña. Contiene 3 estaciones de aguas superficiales para ambas temporadas (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). Las estaciones inventariadas muestran moderadas variaciones. En este punto se puede observar que los mayores incrementos en CE se dan para la temporada de estiaje (figura 8.3). El análisis estadístico muestra una mediana de 183 y 368 uS/cm para las dos temporadas (cuadro 8.3). Según el ECA para RV y BA, las estaciones inventariadas no sobrepasan los límites establecidos (mapas 16, 17, 18 y 19).

d) Subcuenca Chichas. Se monitoreó 4 estaciones para ambas temporadas. Fue en la temporada de estiaje donde se aumentó 2 estaciones de aguas superficiales (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). Se tiene bajas variaciones en CE para las estaciones monitoreadas (figura 8.3). La estadística realizada muestra medianas de 39.5 y 81 uS/cm (cuadro 8.3). Las estaciones comparadas con el ECA, tanto para RV como para BA, no superan los límites establecidos (mapas 16, 17, 18 y 19).

e) Subcuenca Cotahuasi. Presenta 13 estaciones inventariadas para ambas temporadas. Para el estiaje se añadió una estación a la red de muestreo (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). De igual forma, podemos observar que las fuentes inventariadas presentan altas variaciones, principalmente las estaciones registradas en la temporada de estiaje, donde incrementan su salinidad en los cursos aportantes, entre otros (figura 8.3). El análisis estadístico presenta medianas de 66 y 184 uS/cm (cuadro 8.3). Con respecto a las comparaciones con los ECA para RV y BA, se tiene que ninguna estación supera los límites establecidos para la temporada de avenida, mientras que para la temporada de estiaje hay una fuente (136-06-003S-2) que supera la categoría RV, y para BA ninguna estación sobrepasa el límite establecido (mapas 16, 17, 18 y 19).

f) Subcuenca Medio Alto Ocoña. Hay 5 estaciones inventariadas para ambas temporadas. Se aumentó 1 estación para la temporada de estiaje (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). Podemos ver que las fuentes registradas tienen bajas variaciones respecto de CE para ambas temporadas (figura 8.3). La estadística realizada muestra que hay medianas de 406.6 y

148.5 uS/cm (cuadro 8.3). Según el ECA para RV y BA, ninguna estación supera los límites establecidos para ambas temporadas (mapas 16, 17, 18 y 19).

g) Subcuenca Mirmaca. Presenta 3 estaciones inventariadas en ambas temporadas. Se añadió 2 estaciones para la temporada de estiaje (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). Las fuentes inventariadas muestran altas variaciones, y es en la temporada de estiaje donde aumenta la CE (figura 8.3). Las estadísticas realizadas tienen 106 y 427 uS/cm (cuadro 8.3). Las estaciones de aguas superficiales no sobrepasan los ECA tanto para RV como BA en ambas épocas (mapas 16, 17, 18 y 19).

h) Subcuenca Alto Ocoña. Tiene 6 estaciones de aguas superficiales inventariadas para la temporada de avenida y estiaje (cuadro 8.3, mapas 16, 17, 18 y 19). Las fuentes inventariadas presentan una alta variabilidad de CE, donde la temporada de estiaje demarca las altas concentraciones en sales disueltas (figura 8.3). El análisis estadístico expone medianas de 67.7 y 262 uS/cm para ambas temporadas (cuadro 8.3). Finalmente, todas las fuentes inventariadas no sobrepasan los límites establecidos por el ECA tanto para RV como BA en ambas temporadas (mapas 16, 17, 18 y 19).

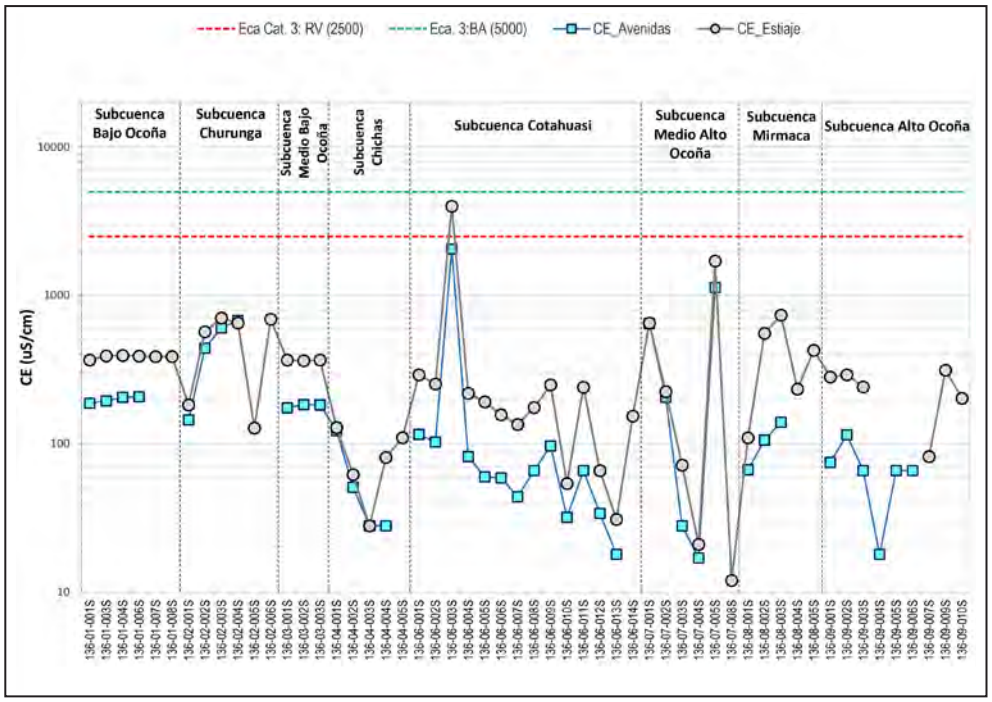


Figura 8.3 Variación de la CE para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).

8.3.3 Temperatura (T)

La cuenca del río Tambo muestra temperaturas ligeramente variantes en ambas temporadas. Según el análisis estadístico realizado, podemos observar que hay medianas de 14.85 a 13.4 °C, y coeficientes de variación de 31 a 31.72 % para ambas temporadas, por lo que los datos registrados se encontrarían en un rango determinado (cuadro 8.2). Por otro lado, las subcuencas presentan temperaturas diferenciadas. En el caso de las subcuencas de la parte baja del río Ocoña, están conformadas por la subcuenca Bajo Ocoña con medianas de 23.5 a 17.9 °C, subcuenca Churunga con medianas 22 a 20.1 °C y la subcuenca Medio Bajo Ocoña con medianas de 21.9 a 19 °C, todas analizadas para las temporadas de avenida y estiaje, respectivamente. Las subcuencas de la parte media y alta del río Ocoña están conformadas por la subcuenca Chichas con medianas de 13.3 a 12.3 °C, subcuenca Cotahuasi con medianas de 12.8 a 12.4 °C, subcuenca Medio Alto Ocoña con medianas de 14.3 a 10.4 °C, subcuenca Mirmaca con medianas 12.4 a 15.4 °C y la subcuenca Alto Ocoña con medianas de 14.2 y 12.5 °C, de igual forma todas las temporadas de avenida y estiaje (cuadro 8.3).

La figura 8.4 muestra la variabilidad de temperatura en las fuentes inventariadas y enmarca dos grupos definidos. El primer grupo se conforma por las estaciones de agua ubicadas en las subcuencas de la parte baja del río Ocoña. Estas tienen moderadas temperaturas en comparación con el segundo grupo, conformado este por las estaciones ubicadas en las subcuencas de la parte media y alta, donde, en general, hay

bajas temperaturas (cuadro 8.3). Esta característica se debe principalmente a la ubicación de las estaciones, pues en la parte baja las subcuencas se encuentran cercanas a la costa. Por ende, el clima es preponderantemente cálido y las estaciones son de moderadas temperaturas; mientras que, en las estaciones ubicadas hacia las nacientes hay bajas temperaturas, preponderando los climas más frígidos (figura 8.4).

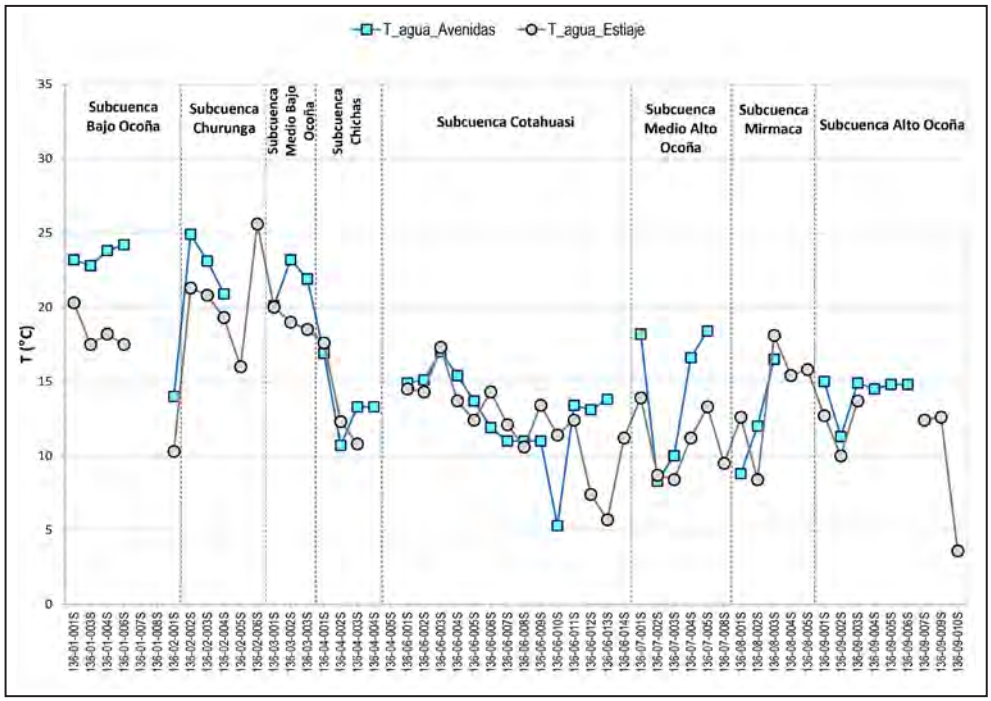


Figura 8.4 Variación de temperatura para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).

8.4 CONTROL DE CALIDAD DE DATOS

8.4.1 Balance iónico

Se utiliza para analizar los errores producidos, ya sea en los trabajos de campo (contaminación) o el análisis de aguas en laboratorio. Para realizar el cálculo de Error del Balance Iónico (EBI) y verificar la calidad analítica del conjunto de datos emitidos por el laboratorio químico de Ingemmet, se suman los componentes aniónicos y los catiónicos de cada muestra. El porcentaje de EBI se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Error de Balance Iónico EBI (\%)} = \frac{\sum \text{cations meq/L} - \sum \text{anionsmeq/L}}{\sum \text{cations meq/L} + \sum \text{anionsmeq/L}} * 100\ \%$$

Se realizó el equilibrio iónico para todas las muestras, usando para la temporada de avenida el Ca, Mg, Na y K como cationes mayoritarios y el HCO_3, SO_4, Cl y NO_3 como aniones mayoritarios. Por otra parte, para la temporada de estiaje se realizó el EBI usando el Ca, Mg, Na, K, Al y Fe como cationes mayoritarios y el HCO_3, SO_4, Cl, NO_3 y F para aniones mayoritarios (figura 8.5, anexos 1 y 2). Los resultados del cálculo de EBI se utilizaron para evaluar la confianza de los resultados del laboratorio para cada campaña.

De acuerdo con los resultados de EBI para las dos campañas de muestreo, se ha evaluado que los resultados de laboratorio, en general, son aceptables (figura 8.5), indicativo de que gran parte de las muestras se encuentran menores al ± 10 % de EBI (aceptable y/o estándar). Las incertidumbres son más comunes en los cálculos donde el EBI presenta mayor discrepancia cuando las cargas catiónica y aniónica son muy altas o desbalanceadas. Este aspecto se muestra con mayor preponderancia en las estaciones para la temporada de avenida, donde sobrepasan los valores del 15 y 20 % EBI. Este factor puede relacionarse con que las aguas no se encontraban en equilibrio químico al momento de su muestreo, lo cual es aceptable al tratarse de aguas superficiales que recepcionan la escorrentía superficial de cursos secundarios y aportantes (figura 8.5).

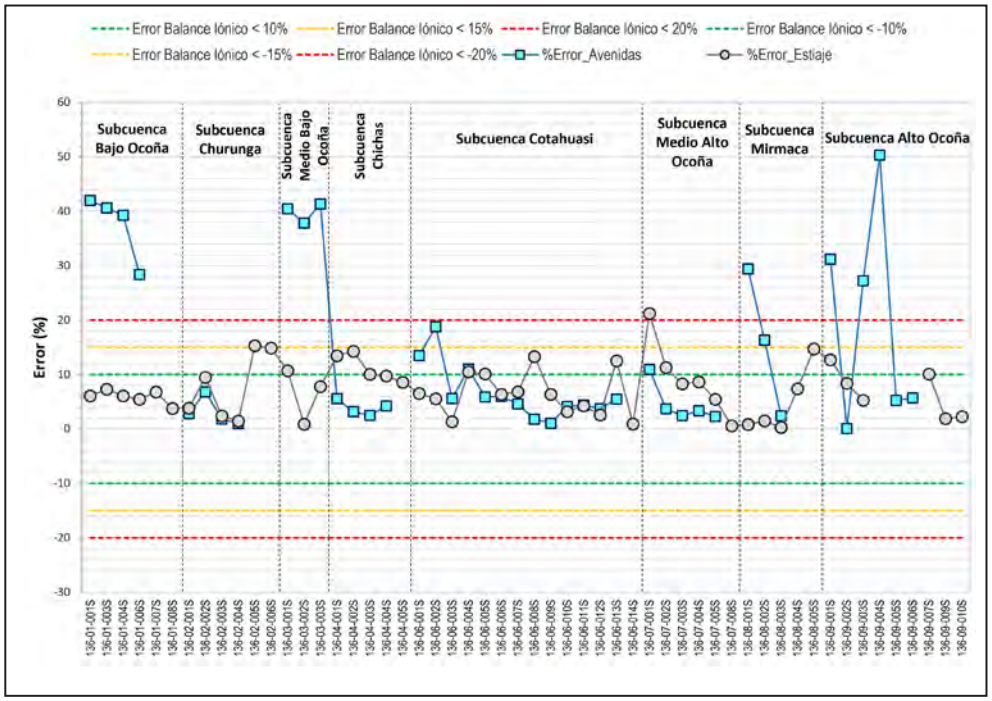


Figura 8.5 Error del Balance Iónico para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).

8.5 CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

El presente estudio analiza las características químicas de las fuentes de aguas superficiales en las subcuencas que conforman la cuenca del río Ocoña. Asimismo, sus relaciones con las unidades geológicas (Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas), características litológicas, ocurrencias minerales y efectos antrópicos. El estudio también nos permitirá conocer la evolución y la distribución espacial de las aguas.

8.5.1 Clasificación de aguas

Las aguas superficiales son muy susceptibles a los procesos fisicoquímicos, dado que se encuentran expuestas al medio ambiente. Por ello, sus cambios de composición química se deberán a la interacción con los diversos tipos de litologías que poseen las unidades geológicas aflorantes a lo largo de su curso, así como a las zonas de alteración y ocurrencias polimetálicas. Un papel importante tendrá las actividades antrópicas (ganadería, agricultura, etc.), ya que condicionarán y tendrán un impacto en las aguas superficiales. Este impacto puede ser generado por la influencia de las aguas servidas y desechos no tratados, generalmente provenientes de los principales centros poblacionales, que finalmente afectarán los cursos de aguas alrededor de su radio de influencia.

En total se diferenciaron 4 y 5 tipos de aguas para la temporada de avenida y estiaje, respectivamente, los cuales se generalizaron en 3 tipos de aguas principales para la cuenca del río Ocoña (cuadro 8.4, anexos 3 y 4).

Cuadro 8.4

Clasificación facies hidroquímicas y tipo de aguas

Avenida	Estiaje	Generalizado
Bicarbonatada alumínica	Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatadas
Bicarbonatada cálcica	Bicarbonatada sódica	
Bicarbonatada sódica		
Sulfatada cálcica	Sulfatada cálcica	Sulfatadas
	Sulfatada sódica	
-	Clorurada sódica	Cloruradas

Al observar semejanzas de las facies químicas calculadas para las aguas superficiales con el origen, evolución química, tiempo de recorrido y permanencia de las aguas subterráneas en las rocas, podemos hacer algunas inferencias interpretativas, pero sabiendo y teniendo en cuenta que las aguas superficiales son el resultado de la mezcla aguas provenientes de cursos primarios y secundarios. Según lo mencionado, se tiene lo siguiente:

- Bicarbonatadas: aguas jóvenes de recorrido local y de poca profundidad de infiltración, de transitorio tiempo de contacto con los suelos y rocas de la zona (Tóth, 1980; Klein, 1991; Tóth, 2009).
- Sulfatadas: aguas de flujos intermedios a regionales y de moderada profundidad de infiltración. Tienen mayor tiempo de residencia en los suelos y rocas de la zona (Tóth, 1980; Klein, 1991; Tóth, 2009).
- Cloruradas: aguas de flujos regionales y de alta profundidad de infiltración. Tienen mayor tiempo de residencia en las rocas y suelos circundantes a la zona (Tóth, 1980; Klein, 1991; Tóth, 2009)

A continuación, se realizará una breve descripción de los tipos de aguas por subcuencas:

a) Subcuenca Bajo Ocoña. Las estaciones inventariadas para la temporada de avenida tienen composiciones bicarbonatadas alumínicas. Los cursos de aguas de las fuentes registradas interactúan con las rocas metamórficas (gneis y esquisto) del Complejo Basal de la Costa, los intrusivos del Batolito de la Costa y las unidades sedimentarias de la Formación Moquegua y Millo. Posiblemente se relacione la característica alumínica a dichas rocas y a la temporalidad, generada por fuertes lluvias y precipitaciones que movilizan elementos disueltos y suspendidos en el agua (mapa 20 y anexo 3). Respecto a la temporada de estiaje, todas las estaciones muestran facies sulfatadas cálcicas. Este aspecto puede deberse a la temporalidad de sequía, donde los procesos de oxidación y reducción del agua interactúan sobre algunos minerales como los sulfuros y otros, generando la inserción de este compuesto y otros elementos traza. Dicha particularidad se puede inferir dado que, aguas arriba de las estaciones inventariadas se encuentra circundantes yacimientos y ocurrencias mineralizantes de Au-Ag-Cu-Mo (mapa 21 y anexo 4).

b) Subcuenca Churunga. Las fuentes ubicadas hacia la parte media y alta de esta subcuenca, para la temporada de avenida contienen facies bicarbonatadas cálcicas que varían hacia la parte baja a facies sulfatadas cálcicas. Estas estaciones interactúan con las rocas intrusivas de la Superunidad Incahuasi y Tiabaya correspondiente al Batolito de la Costa. Asimismo, se encuentra circundante a yacimientos y ocurrencias mineralizantes de Au-Cu-Mo (mapa 20 y anexo 3). Por otro lado, las fuentes inventariadas para la temporada de estiaje tienen, en general, composiciones sulfatadas cálcicas. Esta singularidad se puede relacionar a las zonas mineralizadas. También podemos observar que, hacia la parte más alta (por encima de los yacimientos mineralizantes) la estación 136-02-001S-2 presenta una composición bicarbonatada sódica. Asimismo, no se encuentra incidida por otros cursos aportantes (mapa 21 y anexo 4).

c) Subcuenca Medio Bajo Ocoña. Para la temporada de avenida se tiene que todas las estaciones muestran composiciones bicarbonatadas alumínicas. Estas interactúan preponderamente con las rocas intrusivas de la Superunidad Incahuasi del Batolito de la Costa (mapa 20 y anexo 3). Para la temporada de estiaje, las estaciones generalmente contienen facies sulfatadas cálcicas; a excepción de la estación 136-03-002S-2 de composición bicarbonatada cálcica. Dicha fuente se ubica en un curso aportante al río Ocoña, y posee características geológicas (rocas volcánicas) distintas a las del río principal, ya que recepciona aguas de diferentes cursos aportantes. Así también, la temporada (sequía) influirá en la disolución y transporte de distintos elementos (mapa 21 y anexo 4).

d) Subcuenca Chichas. La temporada de avenida presenta estaciones de composiciones bicarbonatadas sódicas en el curso principal, y hacia la parte alta se tiene una estación (136-04-003S) de facies bicarbonatada cálcica. Las fuentes se encuentran colindantes a las rocas metamórficas compuestas por gneis del Complejo Basal de la Costa (parte baja), y a las secuencias volcánicas (parte media y alta) constituidas por las formaciones Alpabamba y Arma, Grupo Barroso, depósitos aluviales y glaciares (mapa 20 y anexo 3). Para la temporada de estiaje, todas las estaciones tienen facies bicarbonatadas sódicas. Podemos observar que estas composiciones responden a un entorno geológico diferente (rocas volcánicas) que influye en la característica química de las aguas en las estaciones inventariadas, diferenciada de las demás subcuencas (mapa 21 y anexo 4).

e) Subcuenca Cotahuasi. Para la época de avenida se tiene dos estaciones ubicadas a la parte alta del río Ocoña (136-06-011S y 136-06-013S), colindantes con los sectores Huarcaya y Ocururo, que presentan facies bicarbonatadas cálcicas. Siguiendo los dos cursos principales, aguas abajo y hacia la confluencia (curso principal), las estaciones presentan composiciones bicarbonatadas sódicas hasta llegar al sector de Cancha, donde hacia la margen derecha se tiene la estación 136-06-009S ubicada en un curso aportante. Dicha fuente tiene una composición bicarbonatada cálcica. Es así como al confluir los dos cursos de aguas, cambian y/o preponderan las aguas

del tipo bicarbonatadas cálcicas y alumínicas (136-06-004S, 136-06-003S, 136-06-002S y 136-06-001S). Las estaciones de inventario ubicadas en la parte alta de la subcuenca interactúan con las rocas volcánicas de las formaciones Orcopampa y Alpabamba, Grupo Andagua y Barroso, y depósitos aluviales, mientras que en la parte media y baja (estación ubicada en el curso aportante) se encuentran las secuencias sedimentarias del Grupo Murco, formaciones Hualhuani y Murco (mapa 20 y anexo 3). Para la temporada de estiaje, las fuentes ubicadas hacia la parte alta tienen facies bicarbonatadas sódicas, hasta llegar a la confluencia de los cursos (colindantes al sector Suni y Pettce), a excepción de la estación 136-06-008S-2, que tiene composiciones cloruradas sódicas. Siguiendo el curso principal, hay fuentes de composiciones bicarbonatadas sódicas, a excepción de la estación 136-06-099S-2, que presenta una composición bicarbonatada cálcica. Finalmente, las estaciones ubicadas aguas abajo constan de facies cloruradas a sulfatas sódicas (mapa 21 y anexo 4).

f) Subcuenca Medio Alto Ocoña. Las estaciones ubicadas en la temporada de avenida, hacia la parte alta, tienen composiciones bicarbonatadas cálcicas hasta llegar al sector Laccora, donde hacia la parte izquierda del río principal, la estación 136-07-001S tiene facies sulfatadas cálcicas. Dicha característica predomina aguas abajo en la fuente 136-07-005S. Los cursos y ríos de las estaciones monitoreadas interactúan con las rocas volcánicas del Grupo Tacaza y Barroso, formaciones Alpabamba, Orcopampa y Sencca; y en menor proporción con domos lávicos cuaternarios (subvolcánicos) del Sara Sara y Auquihuato (mapa 20 y anexo 3). Las estaciones ubicadas en la parte alta de la subcuenca para la temporada de estiaje tienen composiciones bicarbonatadas cálcicas y sódicas (136-07-004S-2 y 136-07-008S-2, correspondientemente). Esta composición predomina hasta llegar al sector Laccora, donde se tiene la fuente 136-07-011S-2 de facies sulfatadas sódicas (colindante Oyolo). Siguiendo el curso principal aguas abajo, se tiene la estación 136-07-005S-2, que posee facies sulfatadas cálcicas (mapa 21 y anexo 4). Según lo mencionado, podemos inferir que las unidades geológicas aportan en elementos mayoritarios a la composición química del agua, dado que las estaciones ubicadas cercanamente en las rocas volcánicas tienen composiciones bicarbonatadas y las que se ubican cercanas a los domos volcánicos poseen composiciones sulfatadas, posiblemente relacionadas con sus características mineralógicas (sulfuros), procesos de oxidación y reducción del agua, entre otros (mapa 20 y 21, anexos 3 y 4).

g) Subcuenca Mirmaca. Para la temporada de avenida, las estaciones 136-07-001S y 136-08-002S, localizadas en la parte alta y media de la subcuenca, tienen composiciones bicarbonatadas cálcicas (colindantes al sector Collpabamba y Aulla); y hacia la parte baja, la estación 136-08-003S posee composiciones bicarbonatadas alumínicas, posiblemente relacionado este aspecto con las precipitaciones y, como resultado, la disolución del aluminio en el agua. Los cursos de las estaciones inventariadas interactúan con las secuencias volcánicas del Grupo Barroso y Tacaza, y con las unidades volcano-sedimentarias de las formaciones Alpabamba, Aniso y Andamarca (mapa 20 y anexo 3). Hacia la parte alta de la subcuenca se localiza la estación 136-08-001S-2, que presenta facies bicarbonatadas sódicas en la temporada de estiaje. Siguiendo el curso (aguas abajo), hacia la parte media y baja de la subcuenca se tiene estaciones (136-08-002S-2, 136-08-004S-2 y 136-08-005S-2) de composiciones sulfatadas sódicas y, finalmente, hacia la parte más baja (aguas abajo) se tiene la fuente 136-08-003S-2, de facies cloruradas sódicas (mapa 21 y anexo 4).

h) Subcuenca Alto Ocoña. Las estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja de la subcuenca poseen composiciones bicarbonatadas alumínicas, a excepción de la fuente 136-09-033S, que tiene facies bicarbonatadas cálcicas. Las fuentes inventariadas en los cursos principales y secundarios interactúan con las unidades volcánicas y volcano-sedimentarias del Grupo Barroso y Tacaza, formaciones Alpabamba y Aniso, y depósitos aluviales (mapa 20 y anexo 3). Para la temporada de estiaje, las fuentes ubicadas en los dos ríos que forman el curso principal de la subcuenca presentan composiciones bicarbonatadas cálcicas. Aguas abajo, hacia la confluencia de los ríos se tiene registrado estaciones (136-09-003S-2 y 136-09-001S-2) de facies bicarbonatadas sódicas, a excepción de las dos estaciones provenientes de la quebrada Chagua (colindante al sector Cascara), que poseen composiciones sulfatadas cálcicas. Estas fuentes y/o la característica química del agua posiblemente se relacione con las ocurrencias mineralizantes ubicadas en la parte alta de la quebrada, las cuales se emplazan en las secuencias tobáceas retrabajadas de la Formación Aniso (mapa 21 y anexo 4).

8.6 ANÁLISIS DE COEFICIENTE DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN

El análisis de coeficiente de riesgo de contaminación consiste en evaluar la contaminación y/ el grado de mineralización de una fuente de agua superficial o subterránea, comparando los niveles de concentración de cada componente con la respectiva normativa ambiental. Se trabajó con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, expresados en el Decreto Supremo DS N°004-2017-MINAM. Para el análisis de coeficiente de riesgo de contaminación se utilizó la categoría

3 del ECA, según lo establecido para la cuenca Ocoña por la Resolución Jefatural de la Autoridad Nacional del Agua N° 270-2017-ANA.

De este modo:

$$HQ_X = \frac{X_{agua}}{X_{estándar}}$$

Donde:

HQ_X: coeficiente de riesgo de contaminación del componente o contaminante "X"

X_{agua}: concentración del contaminante "X" en el agua superficial

$X_{estándar}$: nivel máximo establecido en la normativa de referencia para el contaminante "X"

Para el presente estudio se tomará como referencia la categoría 3 de ECA para riego de vegetales y bebida de animales. Asimismo, podemos realizar el análisis de los datos para cada analito indicando que, cuando el coeficiente rebasa a la unidad se interpreta que la concentración del componente en el agua rebasa a la establecida en el ECA-aguas, por lo cual, se indica contaminación y/o mineralización del analito en el agua superficial a causa del elemento procesado. Solo en el caso del pH es distinto, por tener dos límites (superior e inferior). Para este caso, se tomó como valor de "Xestándar" el valor de 7 y se definieron sus límites superior e inferior en base al ECA-aguas.

8.6.1 Temporada de avenida

a) Subcategoría D1 Riego de vegetales

Se observa que de las 42 estaciones en la cuenca del río Ocoña, 28 fuentes superan en al menos un parámetro y representa un 66.67 % del total de las estaciones inventariadas a nivel de toda la cuenca (cuadro 8.5 y anexo 5).

El cuadro 8.5 muestra que el parámetro pH, en cuanto al límite inferior y superior, fue superado en 1 y 5 estaciones de muestreo. Por otro lado, se observa los analitos Al, Cu, Fe, Mn y Hg, que son superados en 20, 2, 11, 13 y 1 estaciones, respectivamente (figura 8.6).

Podemos observar que para el caso del pH, supera los límites en la subcuenca Churunga, Chichas y Medio Alto Ocoña. Respecto a los analitos, se observa que en mayor proporción superan el límite para el Al. Respecto a los demás analitos, se observa qué estaciones superan moderadamente tanto para el Cu, Fe, Mn y Hg (figura 8.7 y anexo 5).

Cuadro 8.5

Muestras de agua que superan el ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012)

Subcuencas	N° de estaciones de muestreo	N° de muestras que superan al menos un parámetro	pH<6.5	pH>8.5	Al mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Hg mg/L
Bajo Ocoña	4	4	-	-	4	-	4	4	1
Churunga	4	3	-	1	-	-	-	2	-
Medio Bajo Ocoña	3	3	-	-	3	-	3	3	-
Chichas	4	2	-	2	-	-	-	-	-
Cotahuasi	13	5	-	-	4	2	1	-	-
Medio Alto Ocoña	5	4	-	2	2	-	2	3	-
Mirmaca	3	1	1	-	1	-	-	-	-
Alto Ocoña	6	6	-	-	6	-	1	1	-
Total	42	28	1	5	20	2	11	13	1

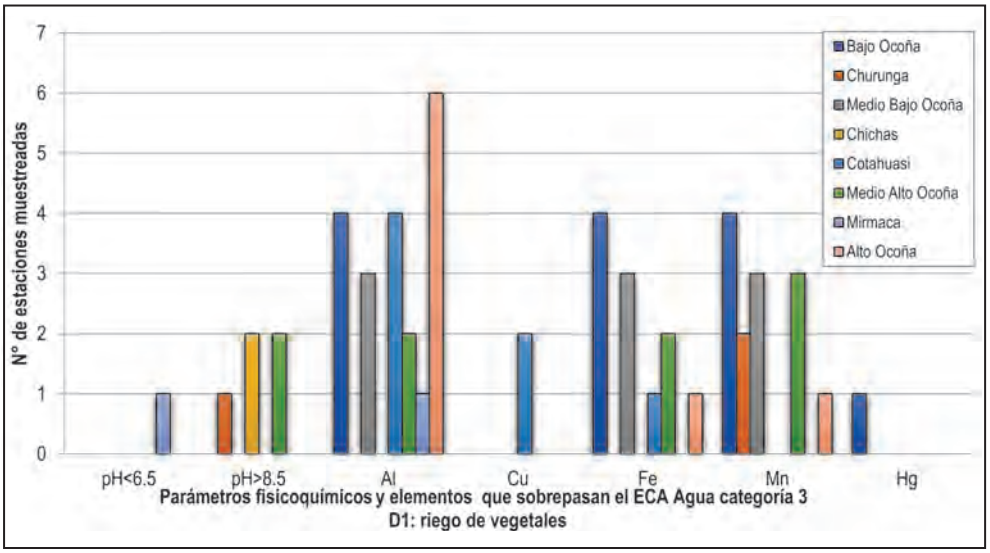


Figura 8.6 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).

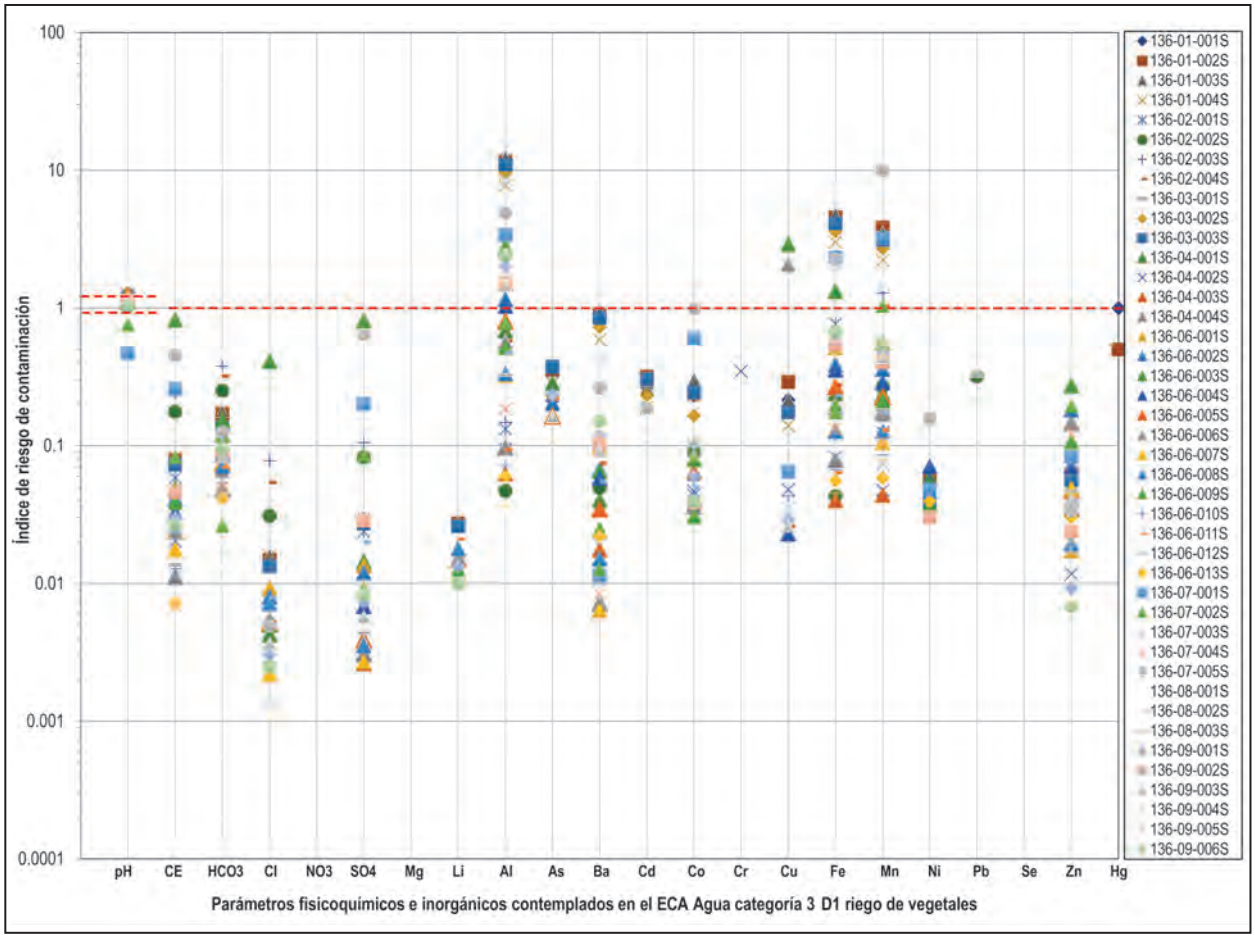


Figura 8.7 Índice de riesgo de contaminación ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).

b) Subcategoría D2 Bebida de animales

Se observa que de las 42 estaciones en la cuenca del río Ocoña, 24 fuentes superan en al menos un parámetro, lo cual representa un 57.14 % del total al nivel de la cuenca Ocoña (cuadro 8.6 y anexo 6).

El cuadro 8.6 muestra que el parámetro pH, en cuanto al límite inferior y superior, fue superado en 1 y 5 estaciones de muestreo, similar a la categoría ECA Agua categoría 3 D1 riego de vegetales. Por otro lado, se observa que los analitos Al, Cu, Mn y Hg son superados en 20, 1, 1, 13 y 1 estaciones, respectivamente (figura 8.6).

Podemos observar que, para el caso del pH, supera los límites en la subcuenca Churunga, Chichas y Medio Alto Ocoña, similar a la anterior categoría. Por otro lado, el Al tiene una mayor proporción de estaciones que superan el límite. Respecto a los demás analitos, se observa pocas estaciones que superan en Cu, Mn y Hg (figura 8.9 y anexo 6).

Cuadro 8.6

Muestras de agua que superan el ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012)

Subcuencas	N° de estaciones de muestreo	N° de muestras que superan al menos un parámetro	pH<6.5	pH>8.4	Al mg/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Hg mg/L
Bajo Ocoña	4	4	-	-	4	-	4	0
Churunga	4	2	-	1	-	-	2	-
Medio Bajo Ocoña	3	3	-	-	3	-	3	-
Chichas	4	-	-	2	-	-	-	-
Cotahuasi	13	4	-	-	4	1	-	-
Medio Alto Ocoña	5	4	-	2	2	-	3	-
Mirmaca	3	1	1	-	1	-	-	-
Alto Ocoña	6	6	-	-	6	-	1	-
Total	42	24	1	5	20	1	13	1

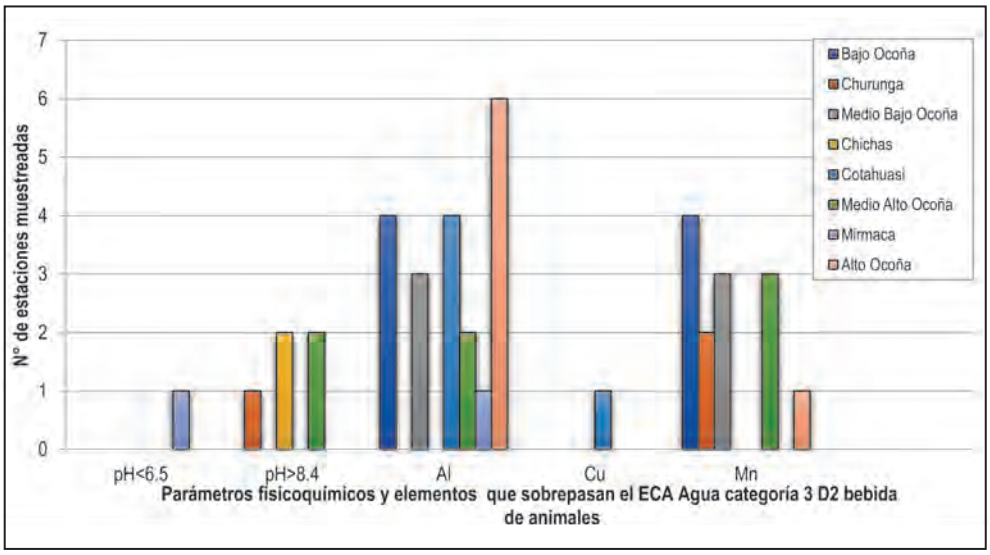


Figura 8.8 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).

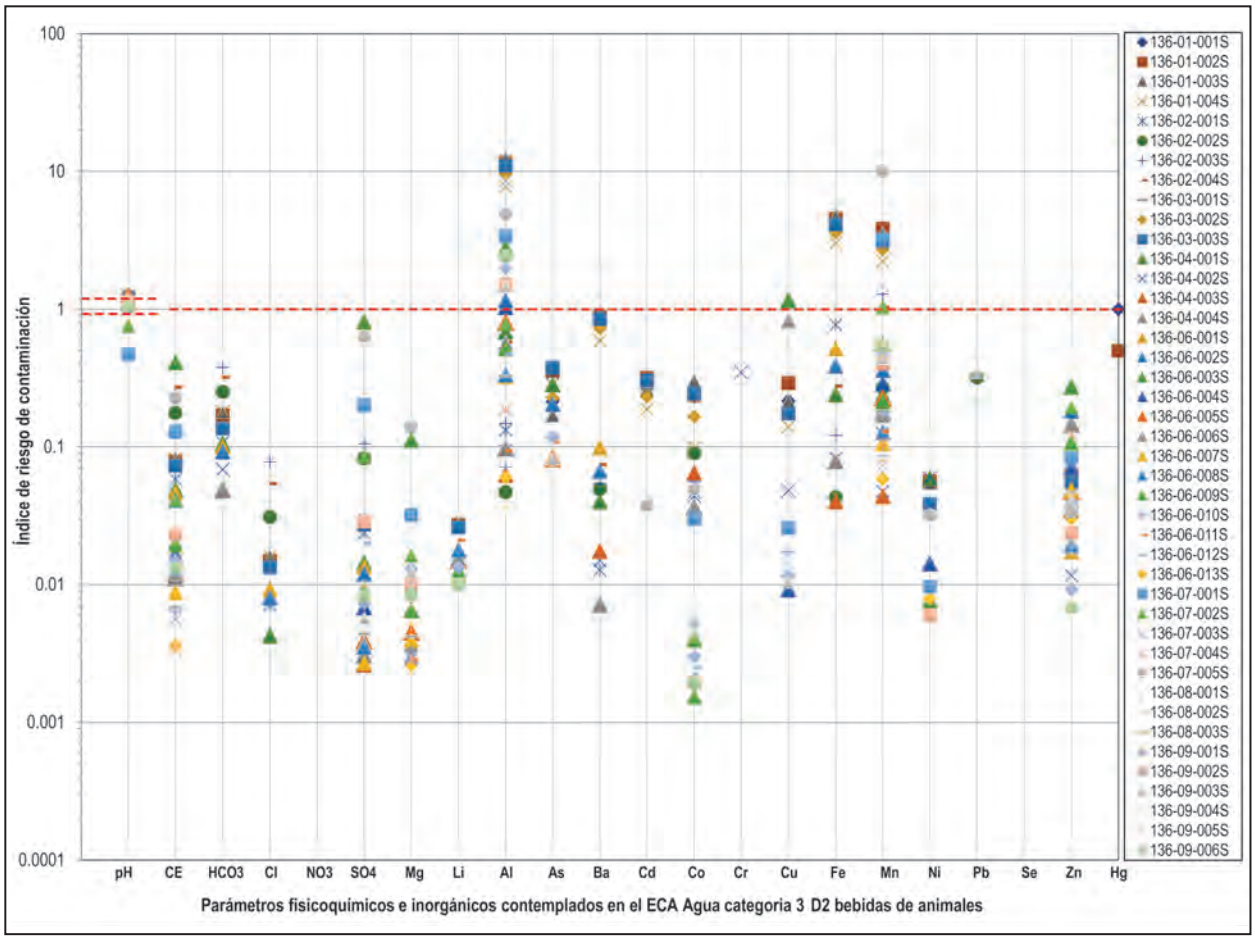


Figura 8.9 Índice de riesgo de contaminación ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).

8.6.2 Temporada de estiaje

a) Subcategoría D1 Riego de vegetales

Se observa que de las 51 estaciones en la cuenca del río Ocoña, 13 fuentes superan en al menos un parámetro y representa un 25.49 % del total de fuentes inventariadas (cuadro 8.7 y anexo 7).

El cuadro 8.7 muestra que el parámetro pH, en cuanto al límite inferior y superior, fue superado en 2 y 8 estaciones de muestreo y la conductividad eléctrica en 1 estación. Por otro lado, se observa que los analitos Cl, SO_4, Al, As, Fe y Mn fueron superados en 1, 1, 3, 1, 2 y 3 estaciones, respectivamente (figura 8.10).

Se puede observar que para el caso del pH, superan los límites para la subcuenca Bajo Ocoña, Churunga, Medio Alto Ocoña, Medio Alto Ocoña y Mirmaca. Por otro lado, para la conductividad eléctrica supera en 1 estación en la subcuenca Cotahuasi. Respecto a los demás analitos, estos muestran que pocas estaciones superan el límite establecido (figura 8.11 y anexo 7).

Cuadro 8.7

Muestras de agua que superan el ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012)

Subcuencas	N° de estaciones de muestreo	N° de muestras que superan al menos un parametro	pH<6.5	pH>8.5	CE uS/cm	Cl mg/L	SO_4 mg/L	Al mg/L	As mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L
Bajo Ocoña	6	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-
Churunga	6	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Medio Bajo Ocoña	3	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-
Chichas	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cotahuasi	14	1	-	-	1	1	1	1	-	1	-
Medio Alto Ocoña	6	2	1	-	-	-	-	1	-	1	2
Mirmaca	5	3	1	1	-	-	-	1	1	-	1
Alto Ocoña	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	51	13	2	8	1	1	1	3	1	2	3

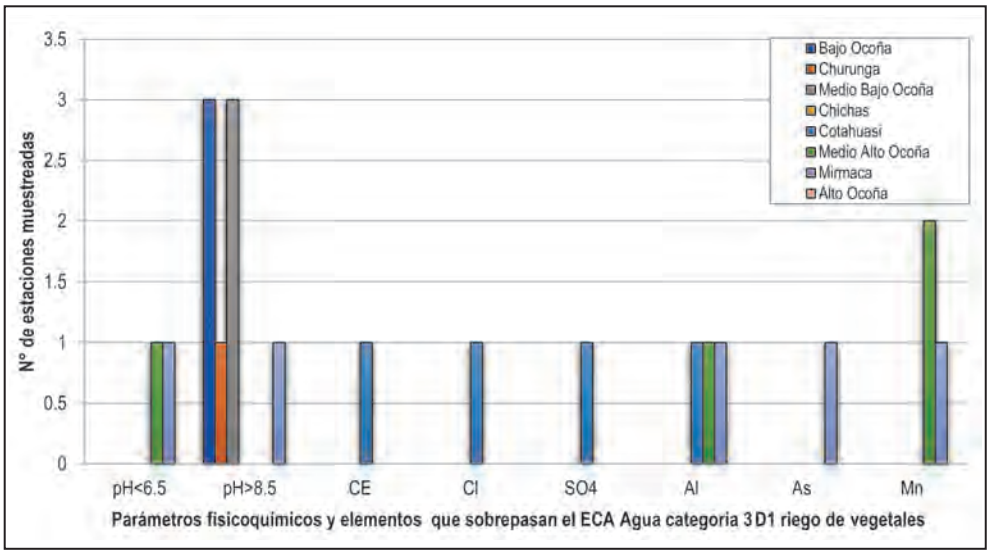


Figura 8.10 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012).

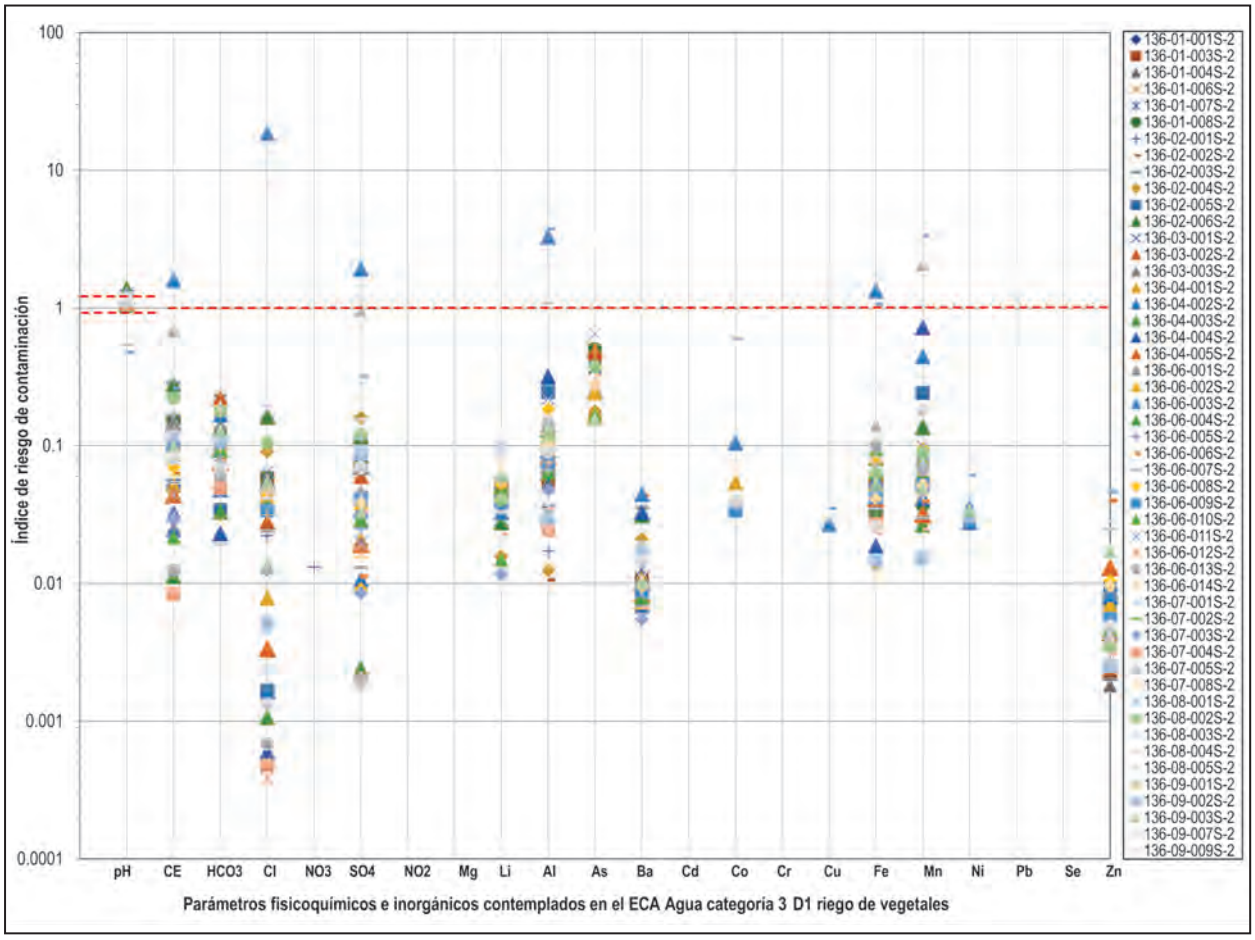


Figura 8.11 Índice de riesgo de contaminación ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012).

b) Subcategoría D2 Bebida de animales

Se observa que de las 51 estaciones en la cuenca del río Ocoña, 16 fuentes superan en al menos un parámetro, lo cual representa el 31.37 % del total de fuentes inventariadas al nivel de toda la cuenca (cuadro 8.8 y anexo 8).

El cuadro 8.8 muestra que el parámetro pH, en cuanto al límite inferior y superior, fue superado en 2 y 11 estaciones de muestreo. Este aspecto se diferencia de la anterior categoría, debido a que se aumentan estaciones para la temporada de estiaje (anexo 8), y la conductividad eléctrica supera el límite en 1 estación (subcuenca Cotahuasi). Por otro lado, se tiene que los analitos Cl, SO_4, Al, As y Mn fueron superados en 1, 1, 3, 1 y 3 estaciones, respectivamente. Dichas características son semejantes a la anterior categoría, con excepción del Fe, que no entró en el análisis (figura 8.12).

Se puede observar que para el caso del pH, supera los límites en la subcuenca Bajo Ocoña, Churunga, Medio Alto Ocoña, Medio Alto Ocoña y Mirmaca; y la conductividad eléctrica supera en 1 estación en la subcuenca Cotahuasi. Por otra parte, los demás analitos muestran que una menor proporción de estaciones superan el límite (figura 8.13 y anexo 8).

Cuadro 8.8

Muestras de agua que superan el ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012)

Subcuencas	N° de estaciones de muestreo	N° de muestras que superan al menos un parámetro	pH<6.5	pH>8.5	CE uS/cm	SO_4 mg/L	Al mg/L	As mg/L	Mn mg/L
Bajo Ocoña	6	4	-	4	-	-	-	-	-
Churunga	6	2	-	2	-	-	-	-	-
Medio Bajo Ocoña	3	3	-	3	-	-	-	-	-
Chichas	5	1	-	1	-	-	-	-	-
Cotahuasi	14	1	-	-	1	1	1	-	-
Medio Alto Ocoña	6	2	1	-	-	-	1	-	2
Mirmaca	5	3	1	1	-	-	1	1	1
Alto Ocoña	6	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	51	16	2	11	1	1	3	1	3

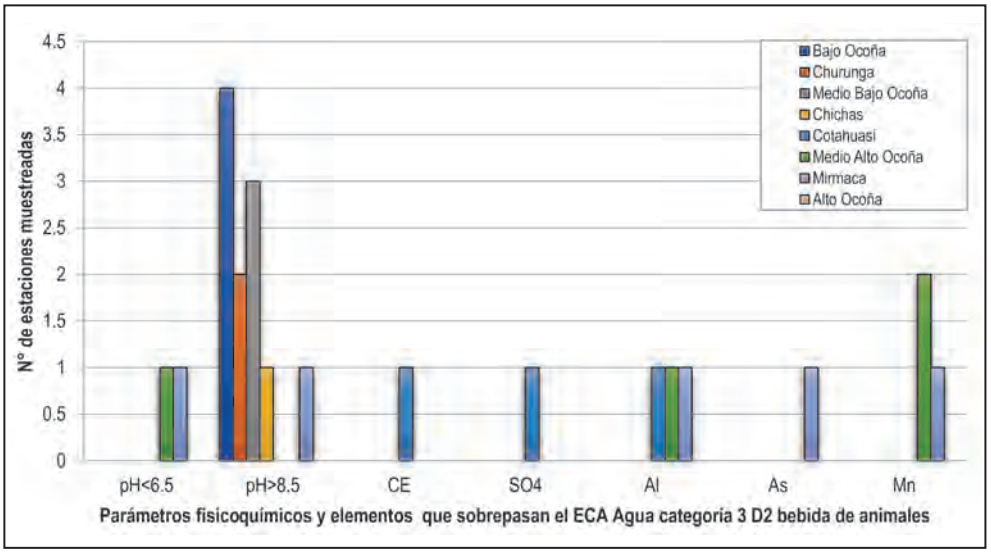


Figura 8.12 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012).

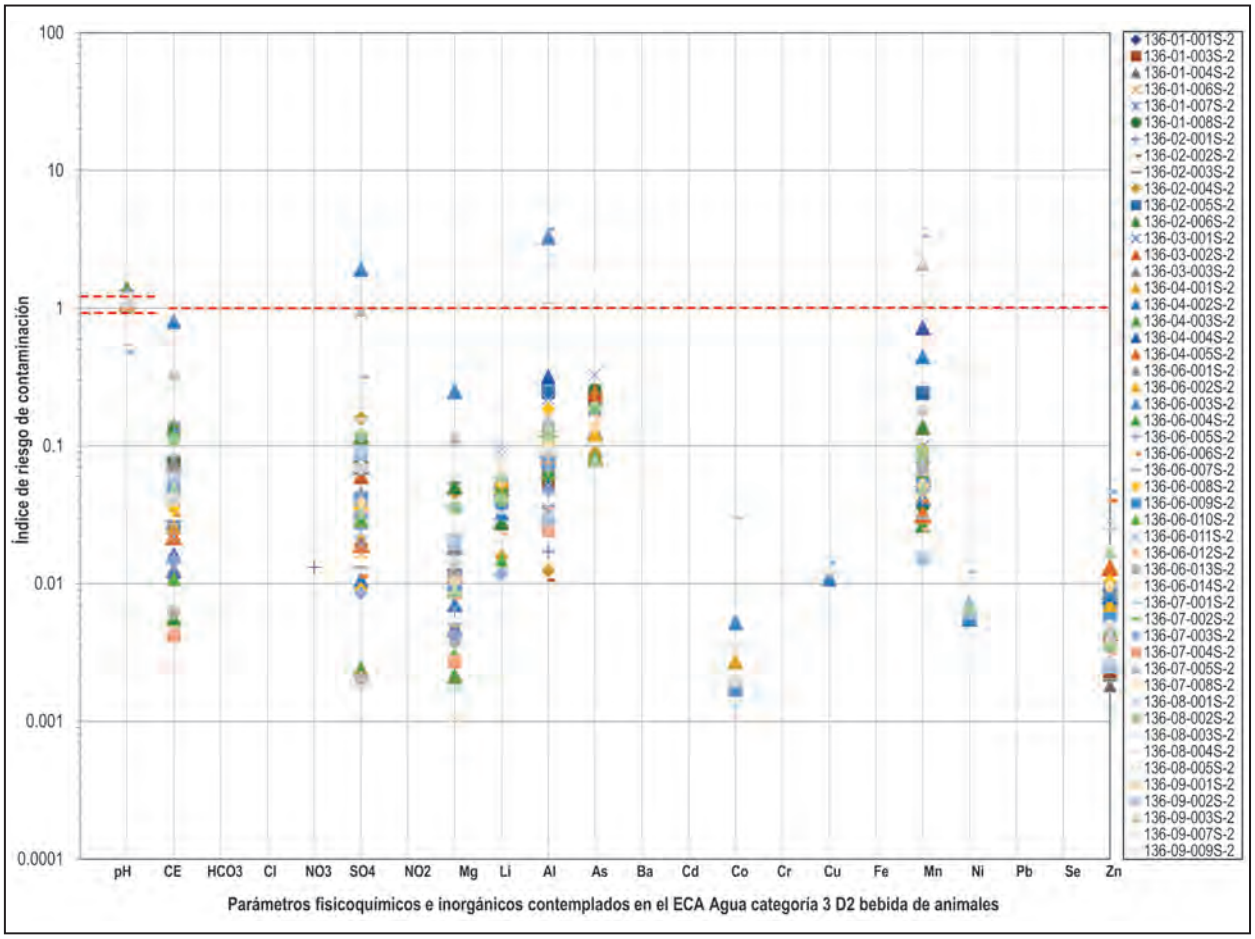


Figura 8.13 Índice de riesgo de contaminación ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012).

CAPÍTULO IX

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS DE MOVIMIENTOS EN MASA

9.1 GENERALIDADES

Los factores que influyen en la inestabilidad de las laderas pueden ser de origen natural o antropogénicos:

Factores naturales. Están ligados a las condiciones intrínsecas del terreno, por ejemplo, tipo de litología (tipo de suelo o formaciones superficiales, substrato rocoso), pendiente del terreno, precipitaciones pluviales y movimientos sísmicos, entre otros.

La litología que caracteriza al substrato puede estar dominada por fracturamientos, que resultan de esfuerzos y otros procesos; además, si el macizo rocoso está meteorizado, la roca es de mala calidad. Por otro lado, la alternancia de rocas con diferente competencia, por ejemplo, la intercalación de lutitas, lodolitas y areniscas (Formaciones Sarayaquillo, Saramiriza, Nauta, Iquitos, Pebas, Cachiyacu, Chonta, Raya, Yahuarango, Ucayali, Oriente y Contaya), puede generar movimientos en masa (intercalación de rocas fuertes, rocas débiles y semiconsolidadas).

- Existen suelos superficiales como los coluviales que cubren laderas con ángulos de 5 a 35º. Se presentan poco compactados y son susceptibles a movimientos de masa, sobre todo, si son expuestos a cortes de talud para la construcción de caminos, canales y otros. Los depósitos de tipo aluvial al ser erosionados pueden generar derrumbes y deslizamientos.
- Las pendientes naturales del terreno pueden ser: muy bajas (<5º), en la llanura amazónica, fondos de valles, terrazas y terrenos planos ondulados; laderas con pendiente baja (2-20º), en colinas y lomadas, así como montañas; y pendientes medias a muy altas (>20º), en laderas de montañas, acantilados y escarpas de valles. Las zonas donde se ha registrado la mayor cantidad de movimientos en masa son las laderas con pendientes mayores de 20°.
- Lluvias de gran intensidad (sean de corta duración y moderada intensidad o de larga duración) se infiltran y ocasionan el incremento de la presión intersticial y el peso unitario de los materiales embebidos de agua. Con ello incrementan el grado de inestabilidad de los materiales de las laderas.
- Las aguas de escorrentía que discurren por las quebradas erosionan sus márgenes, las desestabilizan y ocasionan su colapso, y a su vez incrementan la cantidad de material suelto en los lechos de quebradas y valles, los cuales formarán huaicos o serán arrastrados por ellos.

Factores antrópicos. Están relacionados con las actividades realizadas por el hombre (la agricultura, el pastoreo, la ocupación antrópica y la construcción de carreteras, entre otras).

- Cuando se construye viviendas o se habilitan áreas donde hay cultivos, el suelo se altera y pierde su perfil, desestabilizando laderas y puede reactivar deslizamientos antiguos.
- La deforestación se origina por la demanda de áreas de terreno cultivable y la extracción de madera, ocasionando la pérdida de cobertura natural de los suelos que proveían protección. Esto favorece la erosión y los movimientos en masa.
- Modificación de los taludes por la construcción de carreteras que permiten la comunicación con las diferentes comunidades que se encuentran en la zona. Esto, muchas veces, desestabiliza las laderas.
- Durante la construcción de carreteras, campamentos, oficinas y otros, se modifica y se pierde el perfil del suelo, así como la vegetación y el drenaje superficial.
- Ocupación inadecuada del territorio.

9.2 MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y DE MITIGACIÓN

El objetivo de este capítulo es facilitar propuestas generales de solución para la región, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, flujos, procesos de erosiones de laderas y otros, y también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

Para el desarrollo de esta sección, se ha considerado como base la información del *Manual de Ingeniería de Taludes*, publicado por el Instituto Geológico y Minero de España (Ayala & Andreu, 2006) y el *Estudio de Riesgos Geológicos del Perú,* publicado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000).

9.2.1 Medidas correctivas para deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas

Se pueden realizar en: 1) taludes en construcción, 2) laderas que tienen pendientes fuertes y es necesaria su estabilización, 3) para estabilizar fenómenos de rotura, sobre todo, aquellos que pueden trabajarse a nivel de construcción. Para definir la solución ideal es necesario valorar diferentes parámetros tanto de tipo constructivo como económico.

A. Corrección por modificación de la geometría del talud

Cuando un talud es inestable se puede modificar su geometría con la finalidad de obtener una nueva disposición que resulte estable. Esta modificación busca lograr al menos uno de los dos efectos siguientes:

- Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa
- Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento y lo segundo incrementando el volumen en el pie de este.

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.

Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello, la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

Construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente (figuras 9.1 y 9.2).

El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud. Con esto se puede estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta además como un elemento resistente propiamente dicho.

Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante, pues en caso contrario, su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud; para ello puede recurrirse al empleo de membranas geotextiles.

Tratamiento de taludes con escalonamiento (figura 9.3). Es una medida que puede emplearse tanto cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes de que este se produzca. Su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud retienen las caídas de fragmentos de roca –indeseables en todos los casos– y si se coloca en ellos zanjas de drenaje, entonces se evacuará las aguas de escorrentía, disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales.

Este escalonamiento se suele disponer en suelos y en taludes de roca, sobre todo cuando es fácilmente meteorizable y cuando es importante evitar las caídas de fragmentos de roca, como es el caso de los taludes ubicados junto a vías de transporte.

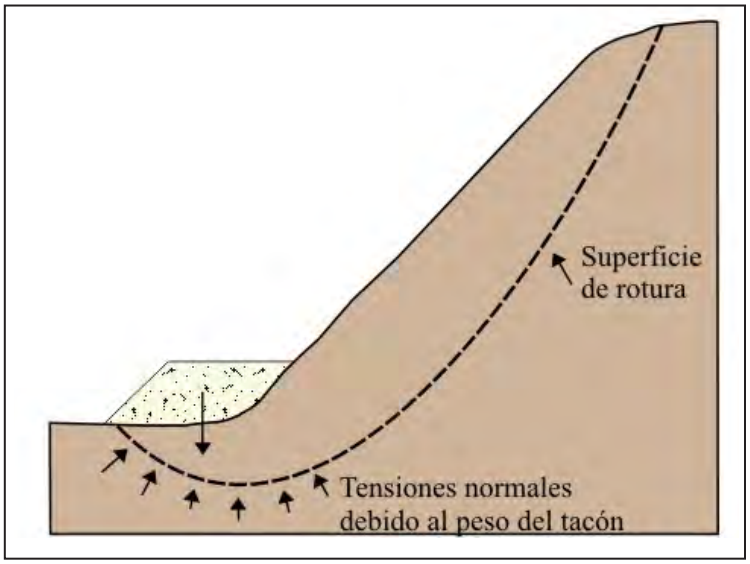


Figura 9.1 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

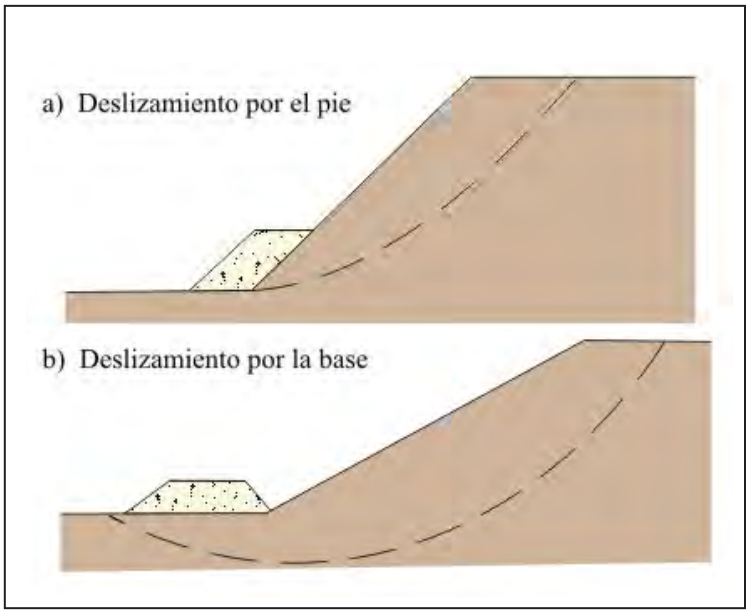


Figura 9.2 Colocación de escollera (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

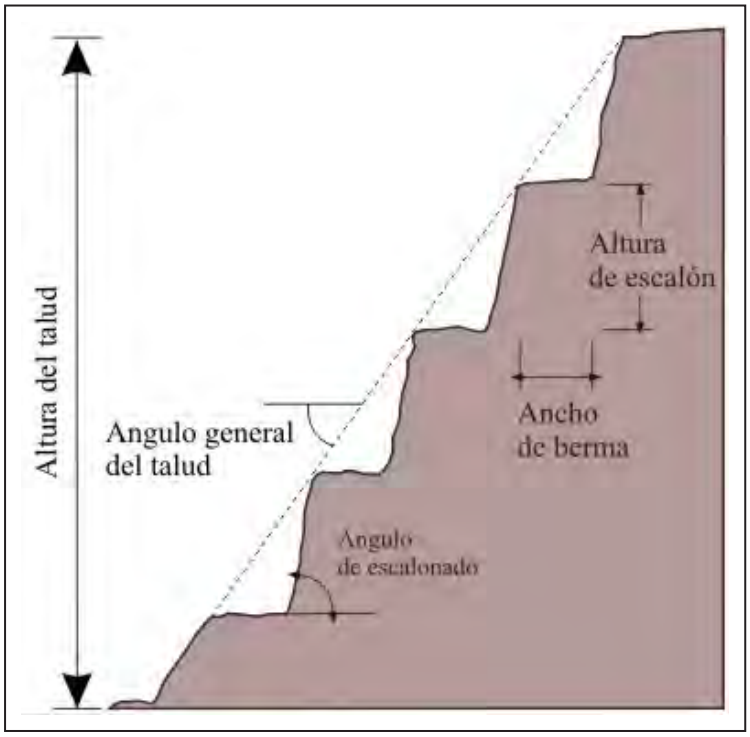


Figura 9.3 Esquema de un talud con bermas intermedias (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

B. Corrección por drenaje

Este tipo de corrección se efectúa con el objeto de reducir las presiones intersticiales que actúan sobre la superficie de deslizamiento (sea potencial o existente), para aumentar su resistencia y disminuir el peso total y, por lo tanto, las fuerzas desestabilizadoras.

Las medidas de drenaje son de dos tipos:

Drenaje superficial. Su fin es recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, evitando así su infiltración (figura 9.4).

Las aguas de escorrentía se evacúan por medio de zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no, y aproximadamente paralelas al talud. Estas deben situarse a poca distancia de la cresta del talud y detrás de esta, de manera que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no. El cálculo de la sección debe hacerse con los métodos hidrológicos.

Es importante el mantenimiento periódico de las zanjas, antes y durante la época de la precipitación pluvial.

Drenaje profundo. La finalidad es deprimir el nivel freático con las consiguientes disminuciones de las presiones intersticiales. Para su uso es necesario conocer previamente las características hidrogeológicas del terreno (figura 9.5).

Se clasifica en los siguientes grupos:

Drenes horizontales. Perforados desde la superficie del talud, llamados también drenes californianos. Consisten en taladros de pequeño diámetro, aproximadamente horizontales, entre 5° y 10°, que parten de la superficie del talud y que están generalmente contenidos en una sección transversal de este (figuras 9.5 y 9.6).

Sus ventajas son:

- Su instalación es rápida y sencilla.
- El drenaje se realiza por gravedad.
- Requieren poco mantenimiento.
- Es un sistema flexible que puede readaptarse a la geología del área.

Sus desventajas son:

- Su área de influencia es limitada y menor que en el caso de otros métodos de drenaje profundo.
- La seguridad del talud hasta su instalación puede ser precaria.

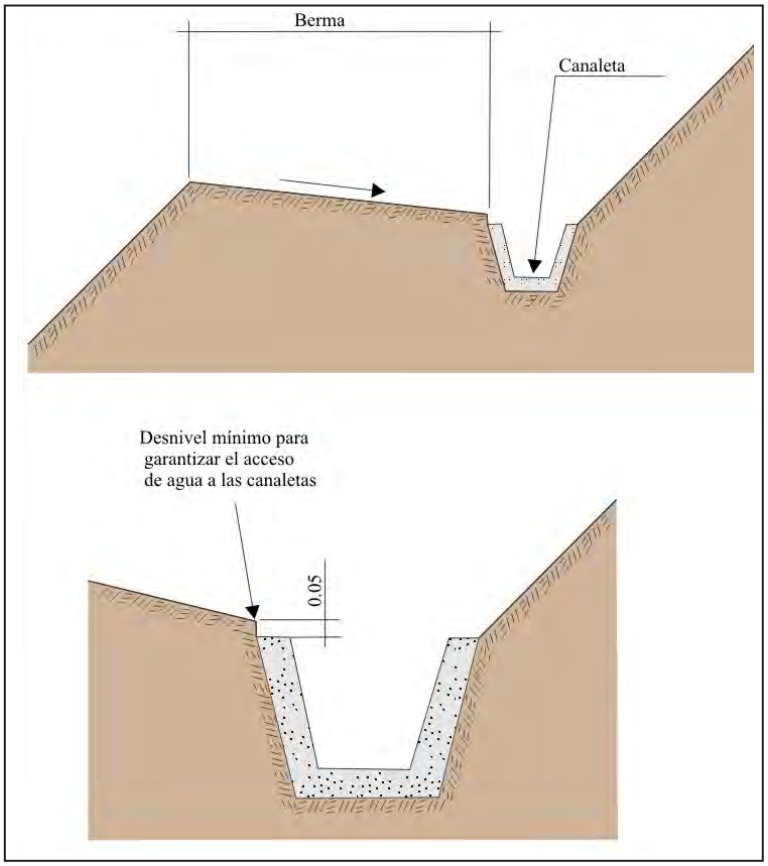


Figura 9.4 Detalle de una canaleta de drenaje superficial (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

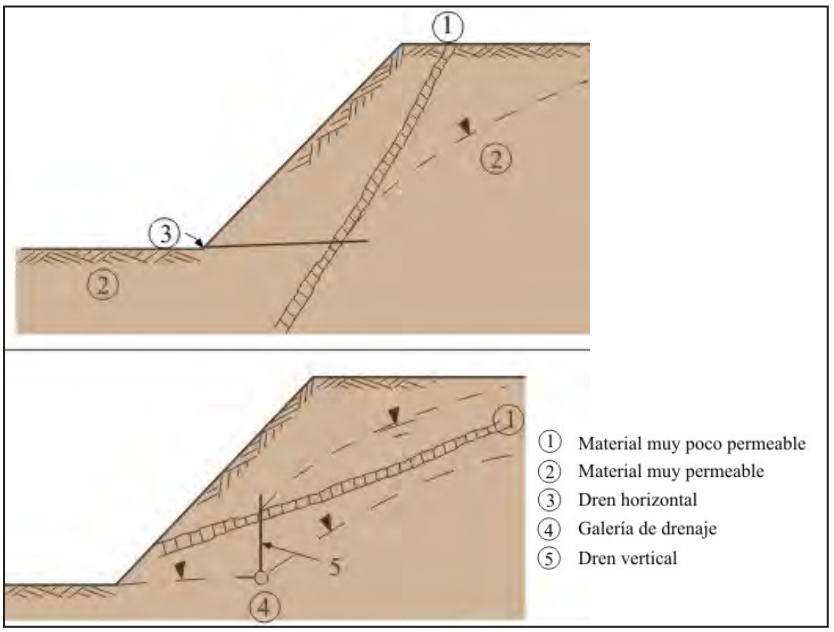


Figura 9.5 Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

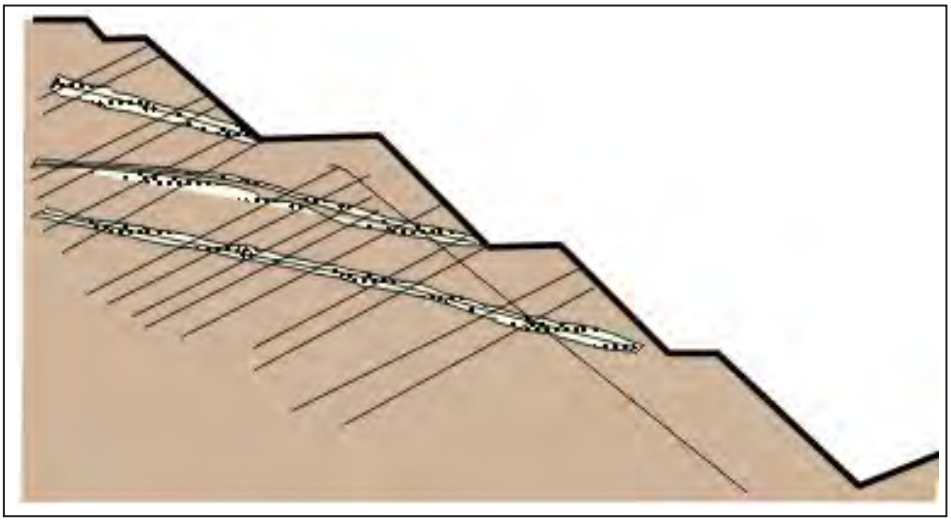


Figura 9.6 Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos (López García, 1984).

Galerías de drenaje. Ubicadas generalmente paralelas al talud y a bastante profundidad.

Son galerías excavadas en el terreno a una distancia considerable de la superficie. Constituyen un sistema bastante efectivo pero muy caro, por lo que su uso solo es recomendable en situaciones críticas y en taludes de gran altura. Para aumentar su radio de acción es necesario instalar drenes perforados desde la galería, aumentando así su radio de acción y la efectividad del sistema de drenaje (figuras 9.7 y 9.8).

Dentro de sus ventajas se cuentan las siguientes:

- Tienen mayor capacidad drenante debido a su gran sección transversal.
- Son apropiadas para operaciones a largo plazo dado que el drenaje se realiza por gravedad.
- Sirven para determinar la calidad del terreno.
- No afectan a la superficie del terreno.
- Son apropiadas para zonas de climas fríos debido a que se ubican a gran profundidad.

Sus desventajas son:

- El alto costo que demanda.
- Requieren de estudios hidrogeológicos detallados del área.

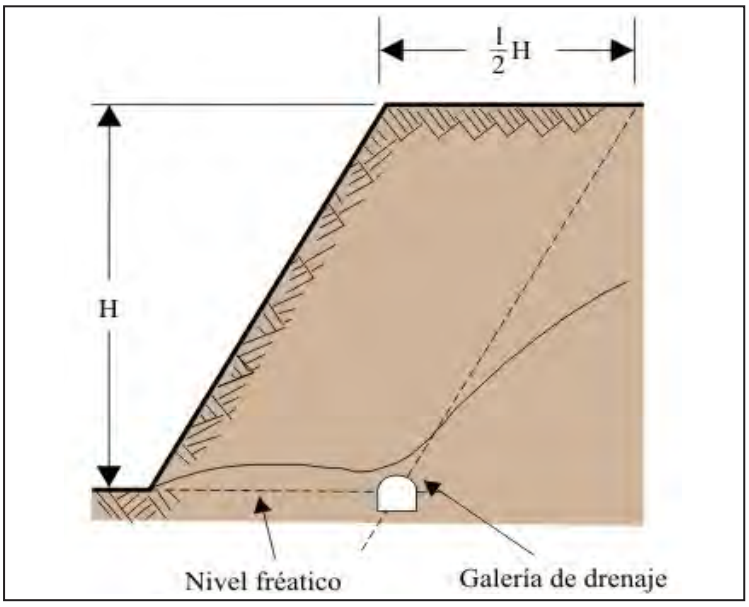


Figura 9.7 Posición óptima de una galería de drenaje (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

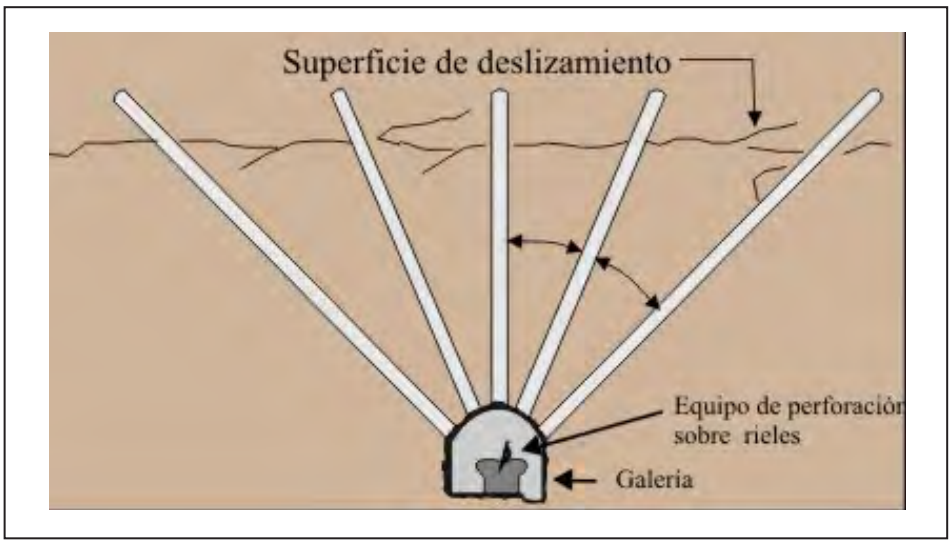


Figura 9.8 Drenaje de la superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

Zanjas con relleno drenante. Están dispuestas en la superficie del talud o al pie de él. Consisten en zanjas rellenas de material drenante, excavadas en el talud o más allá del pie de este, y cuya acción drenante se limita a profundidades pequeñas (figura 9.9).

Pueden ser de dos tipos:

Zanjas de talud: Son las que siguen la línea de máxima pendiente del talud y son aplicables cuando los deslizamientos están situados a poca profundidad (figura 9.10).

Zanjas horizontales: Son paralelas al talud y se sitúan próximas al hombro del talud. Son útiles los drenes en forma de "espina de pescado" (figura 9.11), que combinan una zanja drenante, según la línea de máxima pendiente, con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. Su construcción y mantenimiento en zonas críticas debe tener buena vigilancia.

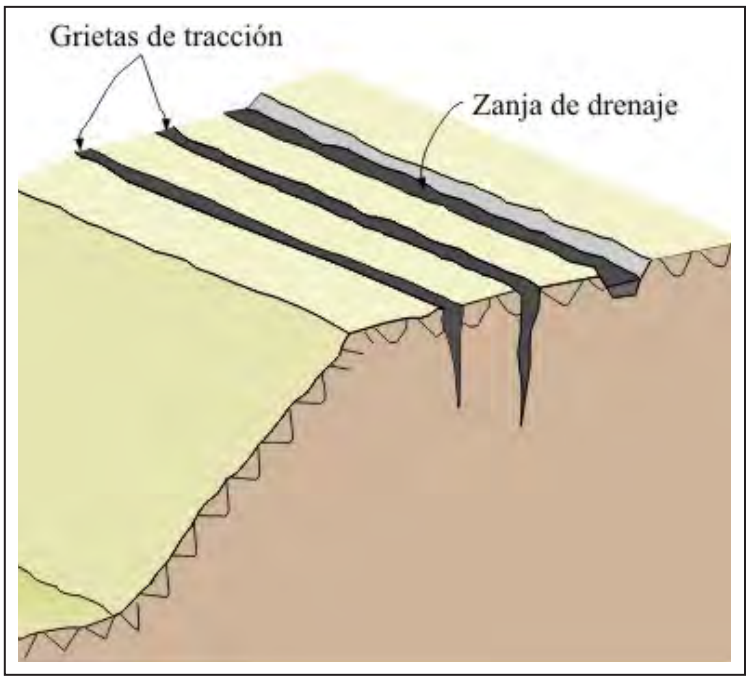


Figura 9.9 Disposición de zanjas de drenaje en un talud (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

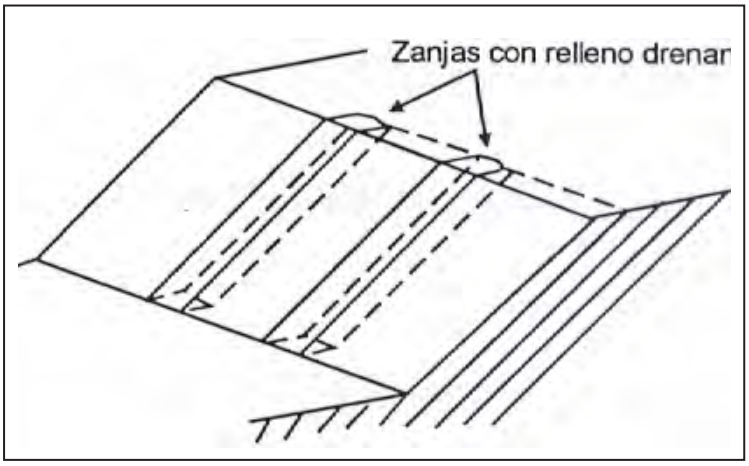


Figura 9.10 Zanjas de talud (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

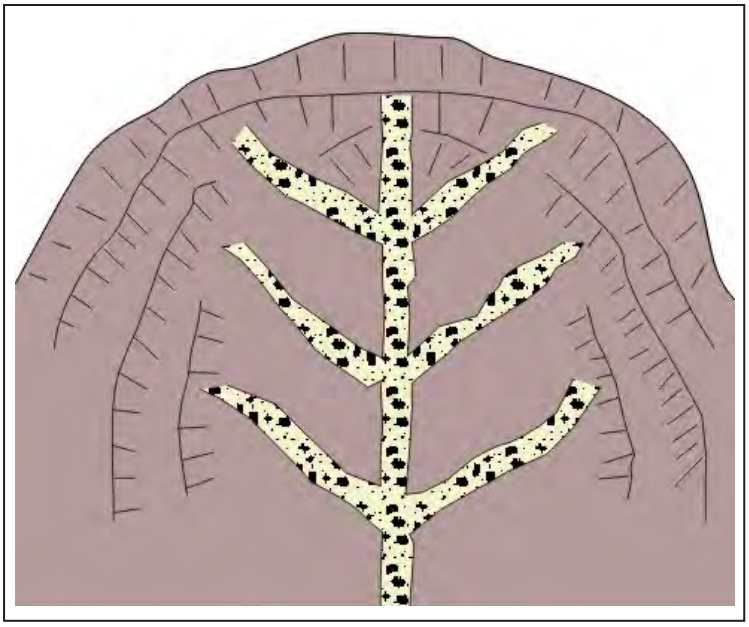


Figura 9.11 Drenaje tipo espina de pescado (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

C. Corrección por elementos resistentes

Anclajes. Los anclajes son armaduras metálicas, alojadas en taladros perforados desde el talud y cementadas (figura 9.12), que se emplean como medida estabilizadora de taludes tanto en roca como en terreno suelto. La longitud de los anclajes varía entre 10 y 100 m y el diámetro de la perforación entre 75 y 125 mm.

Son elementos que trabajan a tracción y que favorecen la estabilidad del talud de dos formas:

- Proporcionan una fuerza contraria al movimiento de la masa deslizante.
- Producen un incremento de las tensiones normales en la superficie de rotura existente o potencial, lo que provoca un aumento de la resistencia al deslizamiento en dicha superficie.

En un anclaje se distinguen tres partes fundamentales:

- Zona de anclaje: Es la parte solidaria al terreno, encargada de transferir los esfuerzos al mismo.
- Zona libre: Es la parte en donde la armadura se encuentra independizada del terreno que la rodea, de forma que pueda deformarse con total libertad al ponerse en tensión.
- Cabeza: Es la zona de unión de la armadura con la placa de apoyo.

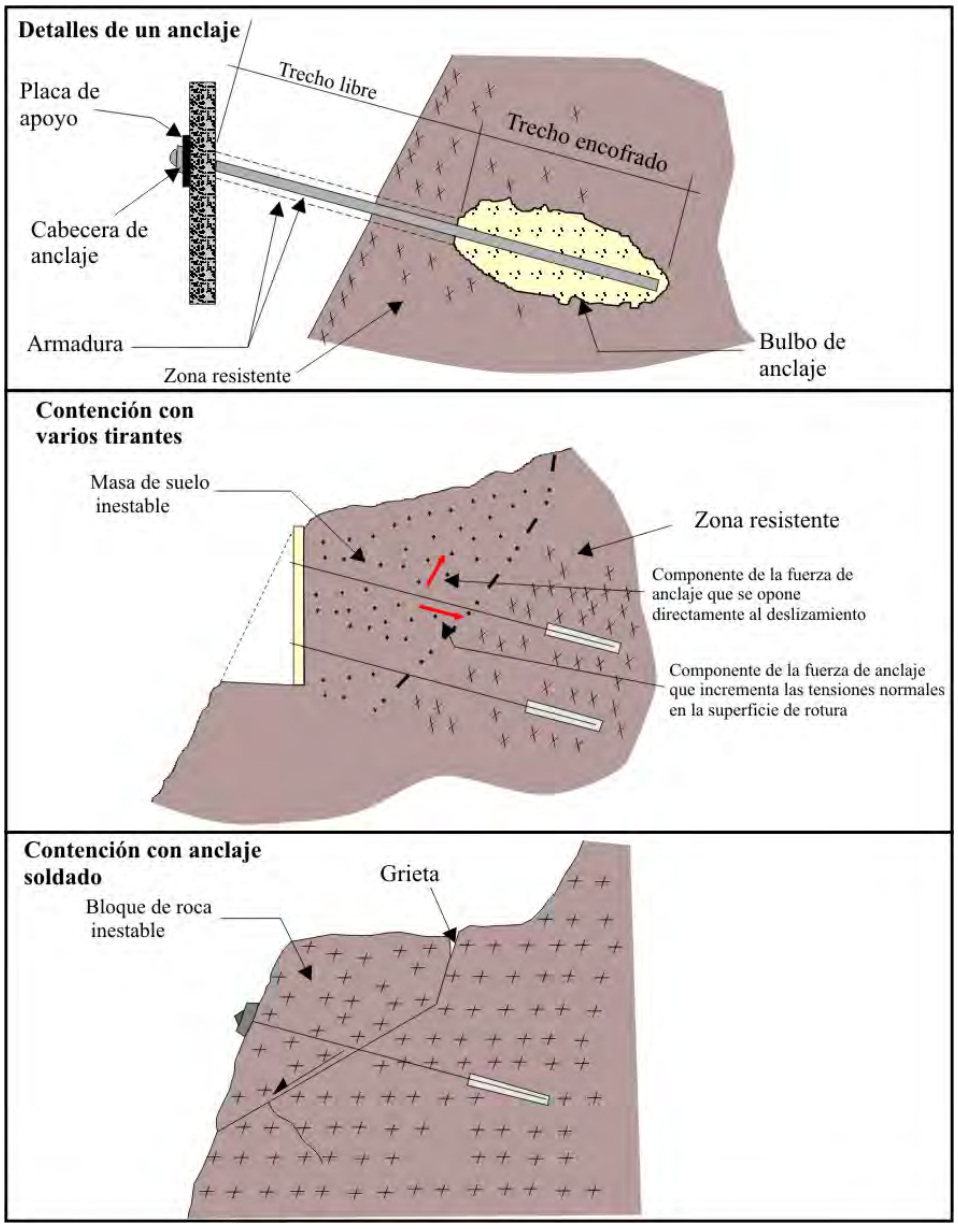


Figura 9.12 Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

Cuando se proyecta instalar anclajes en un talud es necesario poseer información detallada sobre las características geológicas y resistentes del terreno.

La elección del tipo de anclaje (activo, pasivo o mixto; bulones o cables) debe regirse de acuerdo con criterios técnicos.

Es importante tener en cuenta la situación de la zona de anclaje que debe estar incluida en terreno estable o, lo que es lo mismo, toda su longitud debe quedar detrás de la posible superficie de rotura.

Además, se recomienda entre anclajes una separación por razones constructivas de 2 y 5 m. La orientación de los anclajes en planta y alzado debe establecerse buscando la mayor eficacia y economía. Por razones constructivas es recomendable que desciendan a partir de la cabeza con una inclinación del orden de 10º o 15°. La dirección más económica depende de diversos factores, entre ellos, la posición de la roca que se desea estabilizar.

Muros. Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 9.13). En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (figura 9.14). Esta forma de actuar puede tener varios inconvenientes.

En primer lugar, la construcción del muro exige cierta excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado.

Por otra parte, el muro no puede ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo.

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento, ya que, en caso contrario, el deslizamiento sobrepasa al muro.

Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos.

Por todo ello, en taludes con signos evidentes de inestabilidad puede ser más apropiado realizar el muro con objeto de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligado. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte.

En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro frente al coste de sobreexcavación requerido si aquella no se realiza.

La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia, pues en muchos casos son la única solución viable.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (figura 9.15):

- Muros de sostenimiento. Se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente.
- Muros de contención. Generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sería probablemente inestable sin la acción del muro.
- Muros de revestimiento. Su misión consiste esencialmente en proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador.

Cuando se proyecta un muro deberá determinarse las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

Las comprobaciones que deben efectuarse en un caso típico son las siguientes:

- Estabilidad general del sistema muro-terreno al deslizamiento; la estabilidad general del muro incluye la estabilidad al vuelco y al deslizamiento.
- Resistencia del terreno del cimiento.
- Ausencia de tracciones en la base del muro.
- Resistencia estructural: Se ha de comprobar que las tensiones máximas en el muro no sobrepasen los valores admisibles.
- Se debe tener en cuenta que, en la construcción de muros rígidos en zonas con procesos de deslizamiento, los muros pueden colapsar. Por ello es necesario conocer la profundidad de la superficie del deslizamiento mediante estudios geotécnicos detallados.

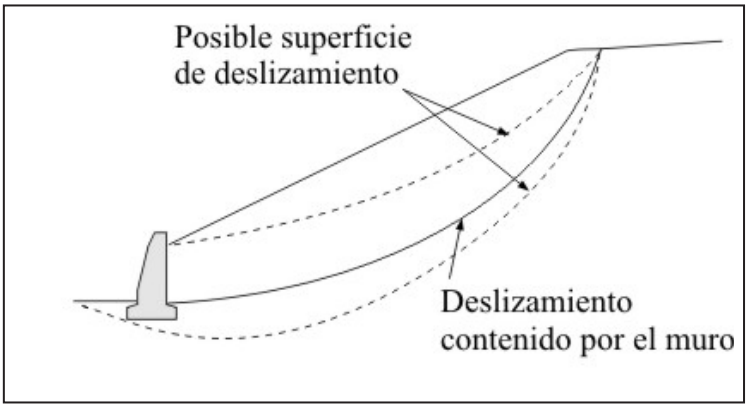


Figura 9.13 Contención de un deslizamiento mediante un muro (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

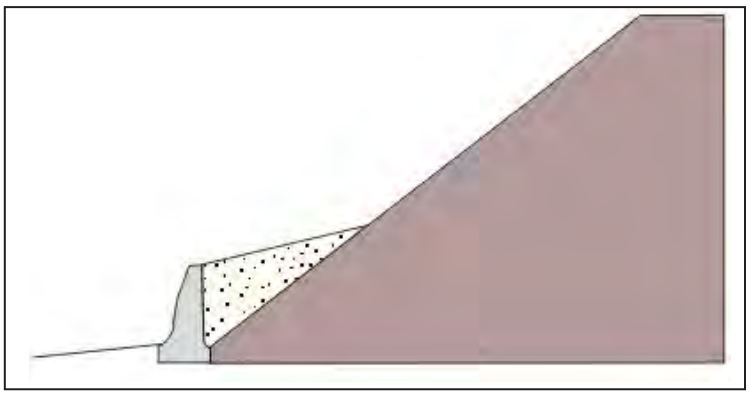


Figura 9.14 Relleno estabilizador sostenido por el muro (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

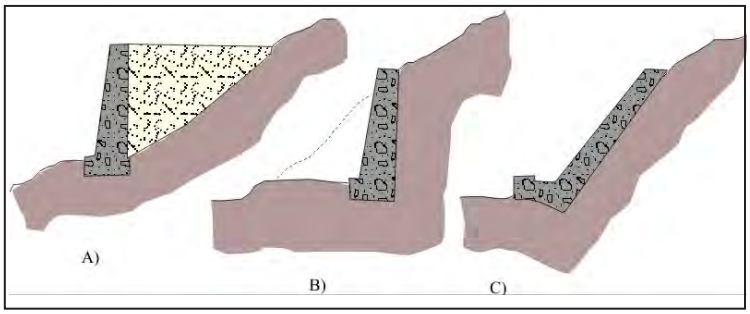


Figura 9.15 Tipos de muros: a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

Tipos de muros:

Muros de gravedad: Son los muros más antiguos, y conforman elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (figuras 9.16, 9.17 y 9.18).

Se construyen de hormigón en masa, pero también existen de ladrillo o mampostería y se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeño tamaño. Sus grandes ventajas son su facilidad constructiva y el bajo costo.

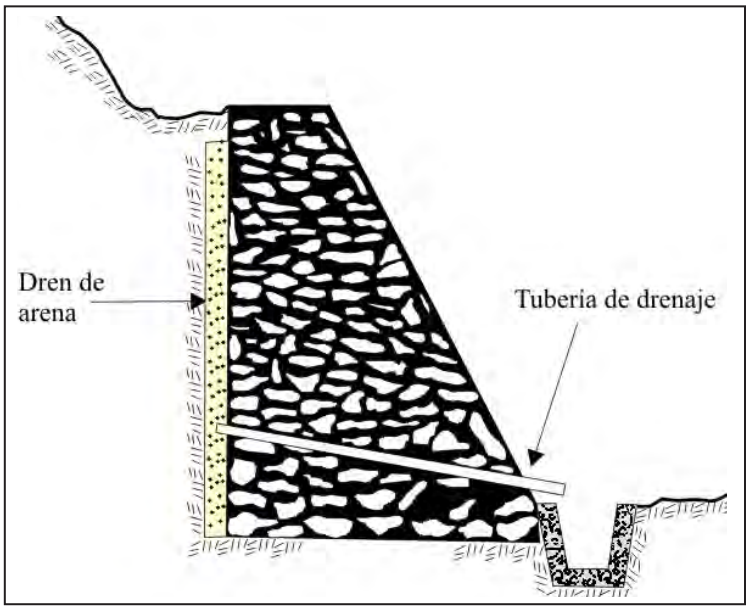


Figura 9.16 Muros de gravedad de piedra argamasada (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

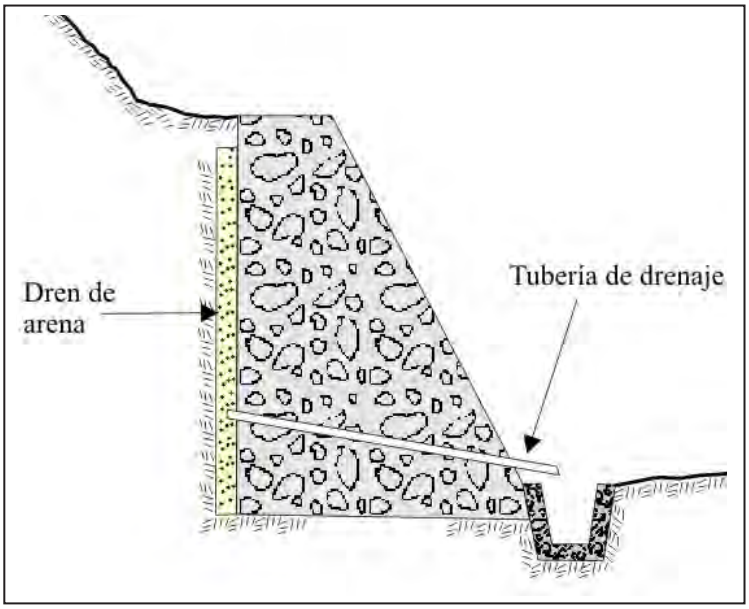


Figura 9.17 Muros de gravedad de concreto ciclópeo (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

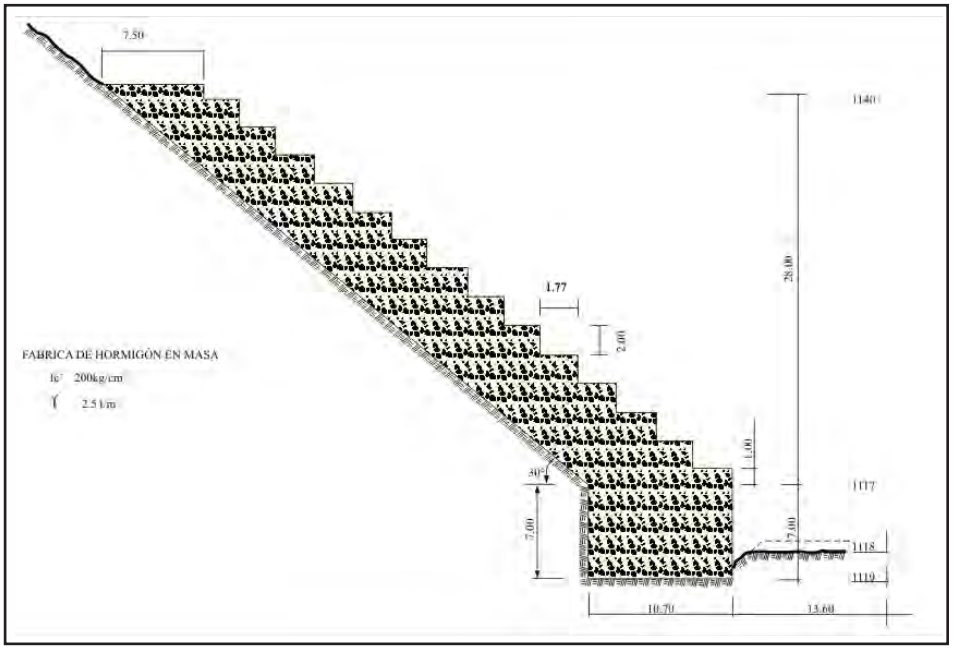


Figura 9.18 Muros de espesor máximo (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

Muros aligerados. Son muros de hormigón armado y existen dos tipos fundamentales:

a) Muros en L. Son aquellos en los que la pantalla vertical actúa como viga en voladizo y contrarrestan el momento volcador del empuje del terreno principalmente con el momento estabilizador de las tierras situadas sobre el talón (figuras 9.19 y 9.20).

La relación H/B está comprendida generalmente entre 1,5 y 2, y la longitud de zarpa B' suele ser un tercio de B. La presión sobre el cimiento es menor que en los muros de gravedad, por lo que son adecuados para cimentaciones malas. Los esfuerzos sobre cada una de las partes del muro (pantalla vertical, talón y zarpa) se calculan suponiendo que se comportan como vigas en voladizo.

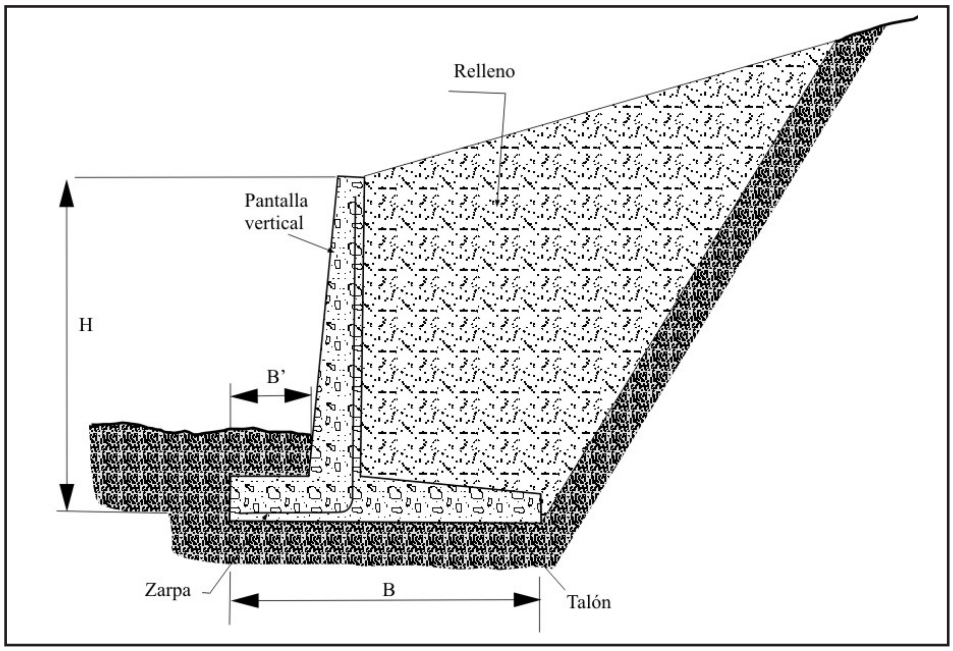


Figura 9.19 Muros en L (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

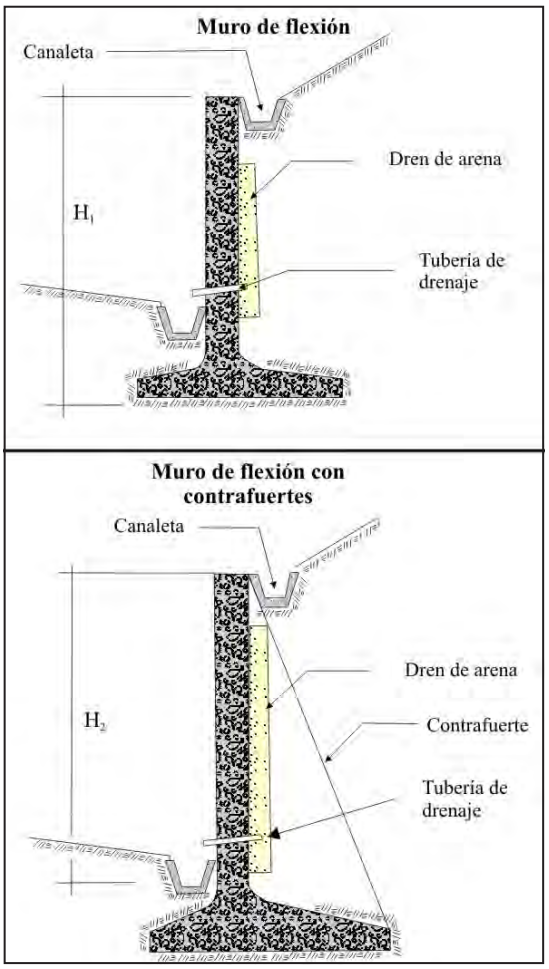


Figura 9.20 Muros de concreto armado tipo flexión (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

b) Muros de gaviones. Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (figura 9.21).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de su base es muy variable, y suele estar comprendida entre 1,7 a 2,4.

Las ventajas que presentan son:

- Instalación rápida y sencilla.
- Son estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno.
- No tienen problemas de drenaje ya que son muy permeables.
- Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en el caso de un muro de gravedad.

c.3) Pilotes

Las pantallas de pilotes (figura 9.22) consisten en alineaciones de estos elementos, siendo el espacio entre dos adyacentes lo suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo.

Su empleo en taludes tiene dos aspectos fundamentales:

- Como sostenimiento de taludes excavados, tienen la gran ventaja de que pueden instalarse antes de la excavación.
- Como medida estabilizadora de deslizamientos existentes o potenciales, se instalan cerca del pie del talud y frente a los muros de contención, requieren muy poca excavación y no afectan significativamente el talud durante su construcción.

Los pilotes presentan el inconveniente de tener un costo elevado. En la estabilización de taludes se emplea generalmente pilotes perforados o de extracción. Los pilotes hincados o de desplazamiento se emplean únicamente para estabilizar los deslizamientos superficiales.

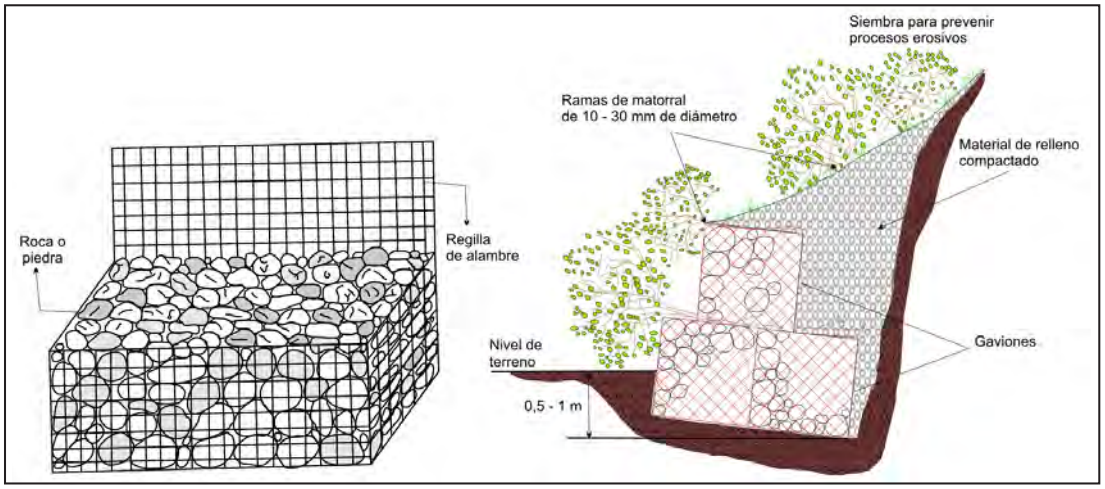


Figura 9.21 Muro de gavión.

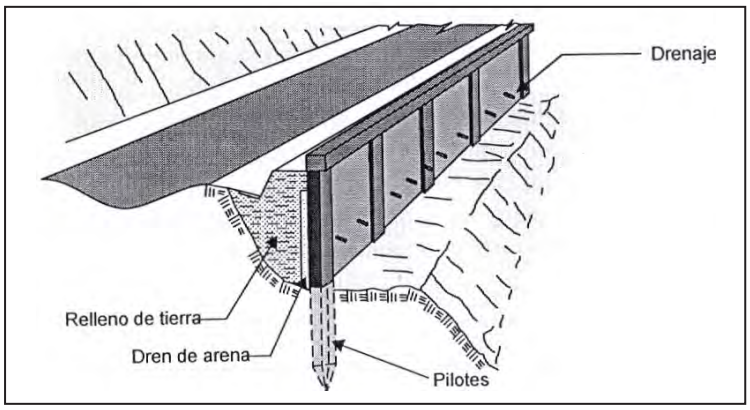


Figura 9.22 Ejemplo de muros con pilotes (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

Los pilotes se oponen al deslizamiento mediante la transmisión de esfuerzos a las capas inferiores estables. Por lo tanto, las pantallas de pilotes tienen su principal aplicación en aquellos casos en que existe, a una profundidad no excesiva, un estrato de material estable y competente. Los pilotes empleados en taludes suelen ser de hormigón armado. Cuando los esfuerzos a los que van a ser sometidos son de gran magnitud se puede aumentar su capacidad portante mediante el empleo de secciones combinadas, por ejemplo, cilindros metálicos rellenos de hormigón y reforzados con perfiles metálicos, o con grupos de cables y barras de alta resistencia e inyectados a presión. En algunas ocasiones se emplea pilotes pretensados. El diámetro de los pilotes que son empleados en taludes varía entre 40 y 120 cm.

c.4) Muros pantalla

Son muros enterrados de hormigón armado, hormigonados in situ. Su acción estabilizadora ante los deslizamientos existentes o potenciales es muy similar a la de las pantallas de pilotes (figura 9.23). A diferencia de estas, los muros pantalla constituyen elementos continuos.

Como medida estabilizadora de taludes tiene su máxima aplicación frente a las pantallas de pilotes cuando el material inestable y el sustrato son de fácil excavación.

Para construir un muro pantalla, se excava una trinchera sin entibación, cuyas paredes se mantienen estables gracias a la utilización de lodos bentoníticos con los que se rellenan las zanjas a medida que se extrae el detritus de la excavación. Colocados los tubos junta o tubos de encofrado, cuya misión es conseguir una buena junta de hormigonado, e instalada la armadura, se procede al hormigonado a través de un conducto que llega hasta el fondo de la zanja. El hormigón va rellenando la excavación y al mismo tiempo desplaza al lodo.

El tamaño del muro depende de las características de la maquinaria y puede alcanzar una profundidad hasta de 40 m. Existen fundamentalmente dos técnicas para la ejecución de la excavación: la excavación con cuchara bivalva y la perforación con circulación inversa.

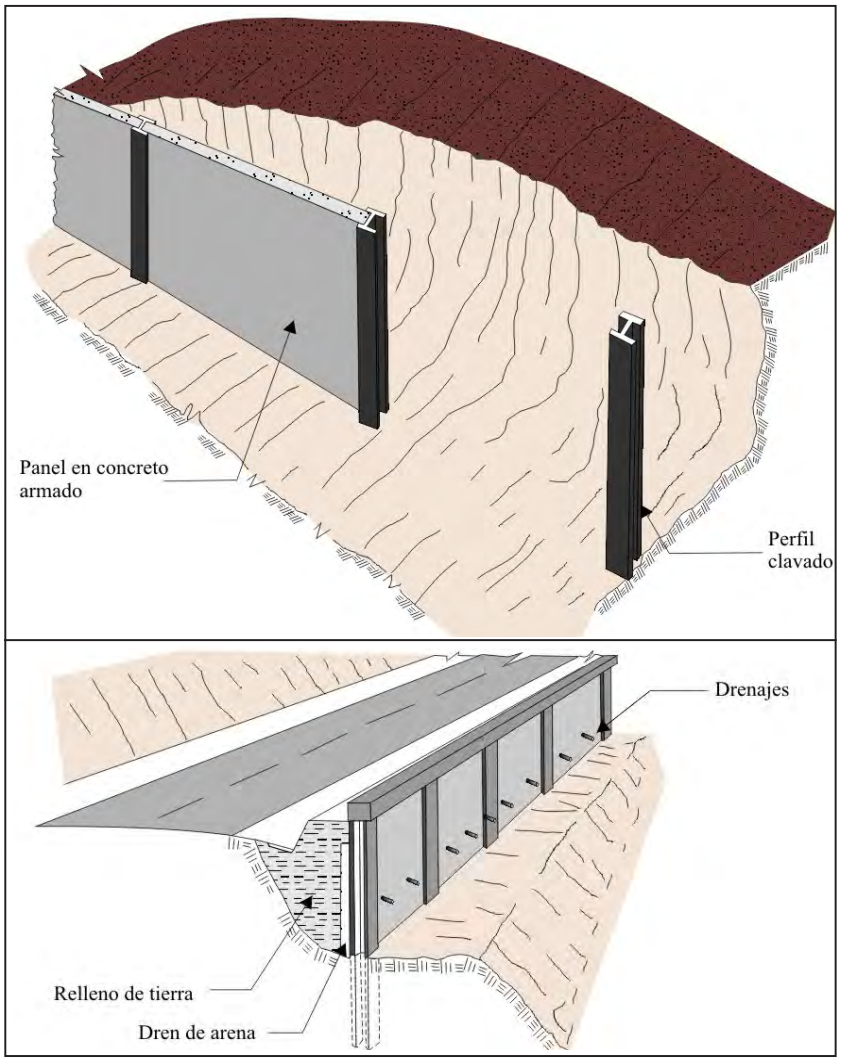


Figura 9.23 Ejemplo de muros de pantalla (tomado del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000).

D) Correcciones superficiales

Las medidas de corrección superficiales se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno y tienen fundamentalmente los siguientes fines:

- Evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud.
- Eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en los taludes donde estos predominan.
- Aumentar la seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales.
- Evitar accidentes personales

Los principales métodos empleados son:

d.1) Mallas de alambre metálico

Se cubre con ellas la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, lo cual es siempre peligroso, especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud.

Las mallas de fierro galvanizado retienen los fragmentos sueltos de rocas y conducen los trozos desprendidos hacia una zanja en el pie del talud. Son apropiados cuando el tamaño de roca a caer se encuentra entre 0,60 y 1,00 m.

La malla se puede fijar al talud de varias maneras: siempre en la parte superior del talud o en bermas intermedias. Como sistemas de fijación pueden emplearse bulones o postes introducidos en bloques de hormigón que pueden a su vez ir anclados o simplemente un peso muerto en la parte superior del talud. Durante la instalación se prepara una longitud de malla suficiente para cubrir el talud, con una longitud adicional que es necesaria para la fijación de la malla.

La malla se transporta en rollos hasta el talud, se fija en su parte superior y se desenrolla dejándola caer simplemente, fijándola en la superficie del talud; en la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de piedras.

d.2) Sembrado en taludes

Mantener una cobertura vegetal en un talud produce indudables efectos beneficiosos, entre los cuales destacan los siguientes:

- Las plantaciones evitan la erosión superficial tanto hídrica cómo eólica, que puede ocasionar la ruina del talud en el largo plazo.
- La absorción de agua por las raíces de las plantas produce un drenaje de las capas superficiales del terreno.
- Las raíces de las plantas aumentan la resistencia al esfuerzo cortante en la zona del suelo que ocupan.

Para sembrar en taludes, se emplea hierbas, arbustos y árboles, privilegiando especies capaces de adaptarse a las condiciones a las que van a estar sometidos (climas, tipo de suelo, presencia de agua, etc.). Suele convenir especies de raíces profundas y de alto grado de transpiración, lo que indica un mayor consumo de agua. Generalmente la colonización vegetal de un talud se hace por etapas, comenzando por la hierba y terminando por los árboles.

Los suelos arenosos y areno-arcillosos son ventajosos para un rápido crecimiento de la hierba. Las arcillas duras son inadecuadas a menos que se añadan aditivos o se are el terreno. Cuando la proporción de limo más arcilla es superior al 20 % se puede esperar un crecimiento satisfactorio, pero si es inferior al 5 %, el establecimiento y mantenimiento de la hierba resultará complicado.

9.2.2 Medidas correctivas para zonas de flujos y cárcavas

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

- El desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (figuras 9.24, 9.25. 9.26 y 9.27).
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas de la región.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (figuras 9.24 y 9.28), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas (figura 9.29).
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y el tamaño que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.

- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pastos mediante el repoblamiento de pastos nativos, empleando sistemas de pastoreo rotativo y sostenible, y finalmente evitar la quema de pajonales.
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas de las cuencas.

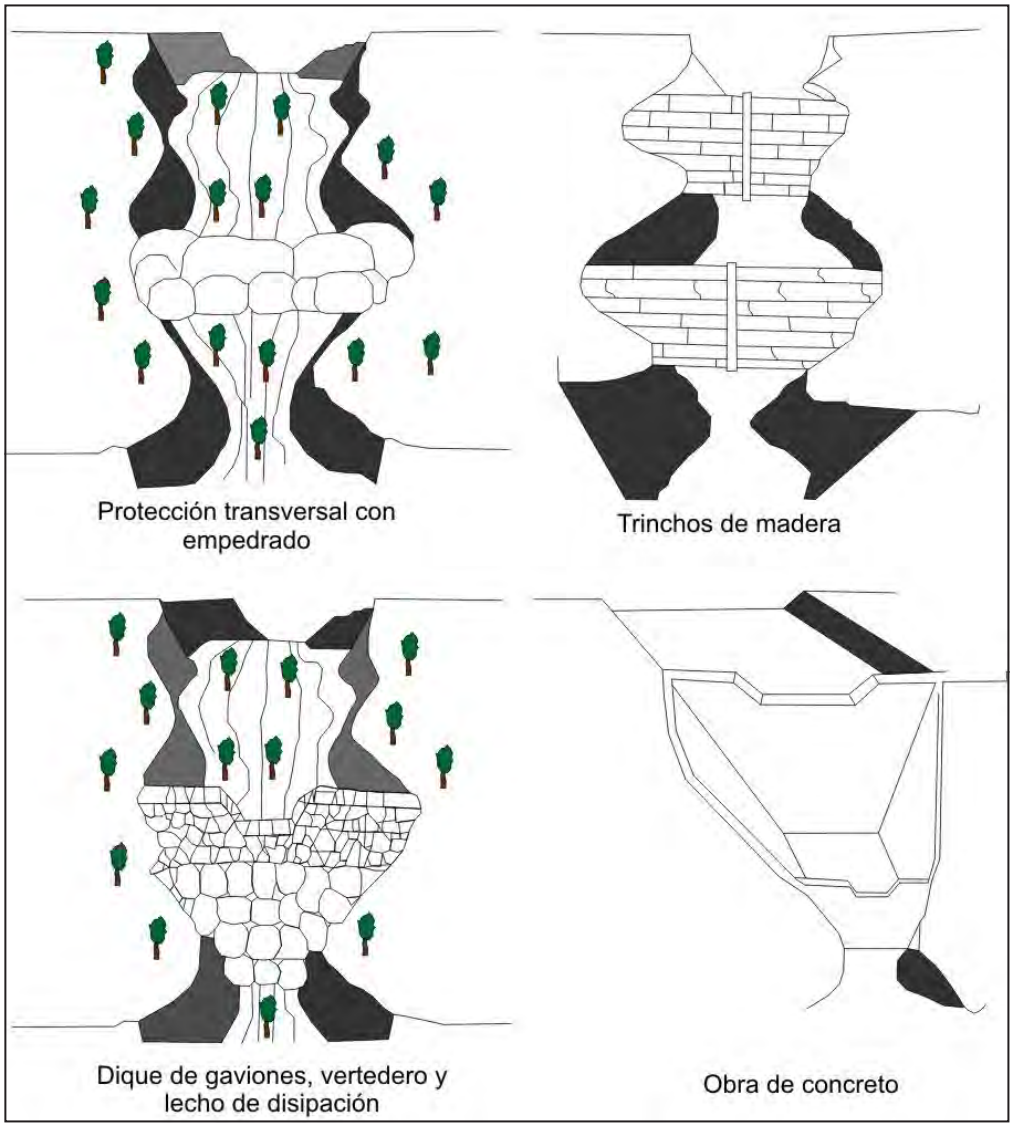


Figura 9.24 Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.

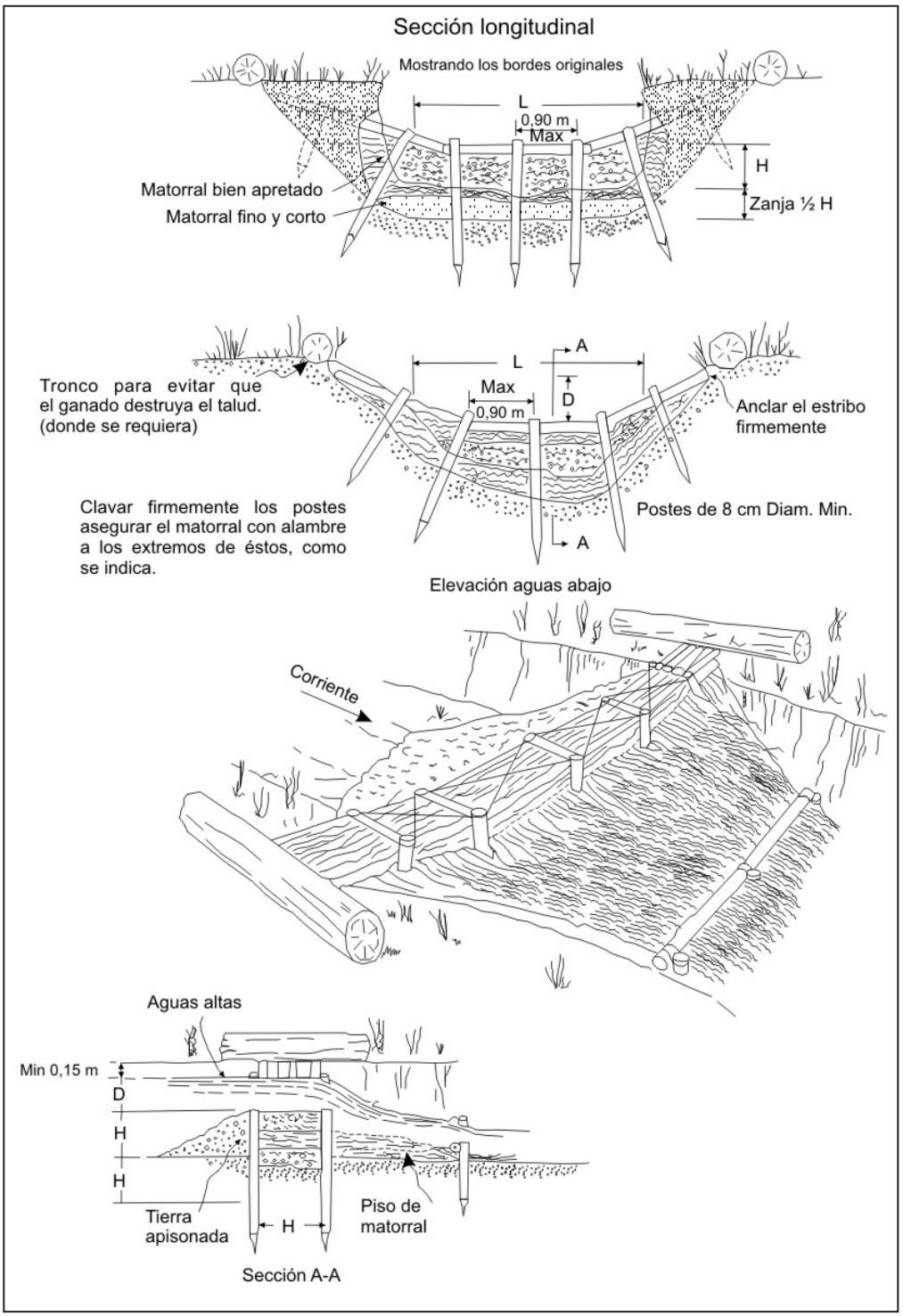


Figura 9.25 Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al*., 1964).

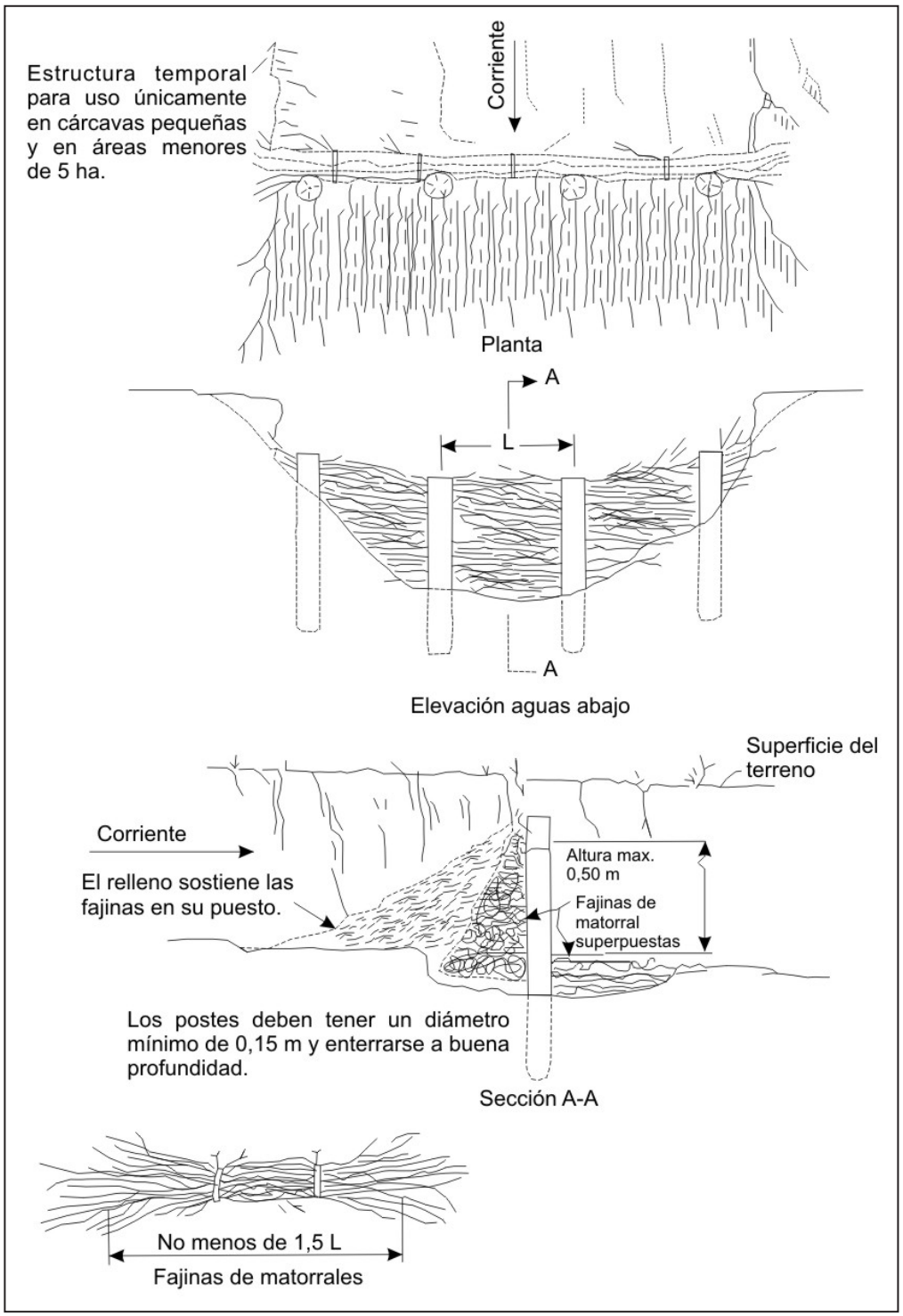


Figura 9.26 Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al*., 1964).

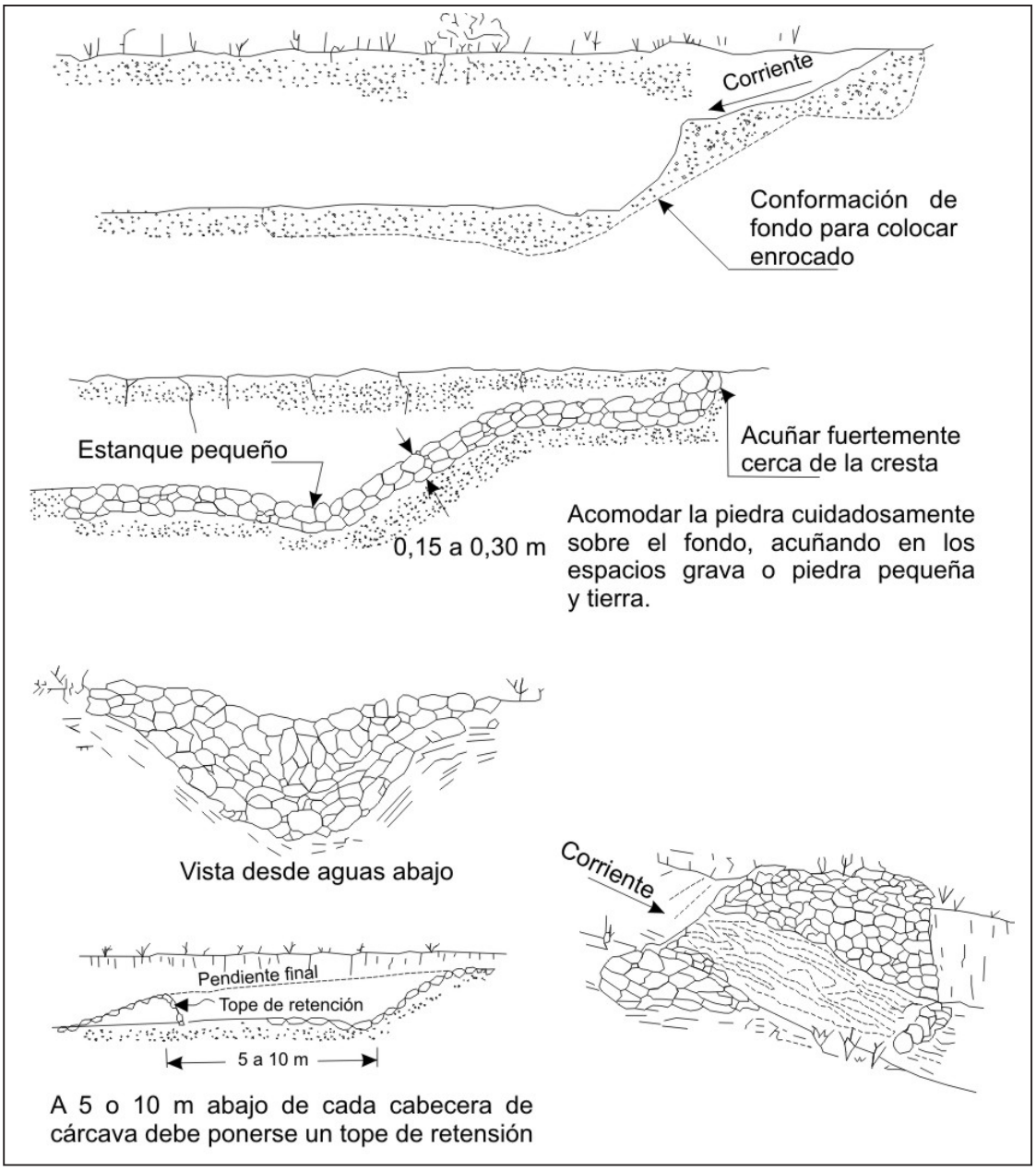


Figura 9.27 Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama *et al*., 1964).

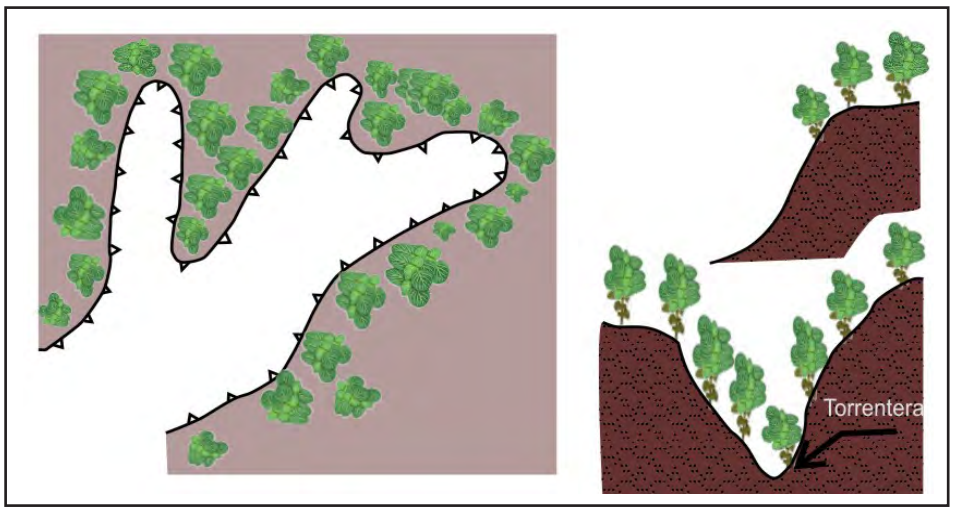


Figura 9.28 Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

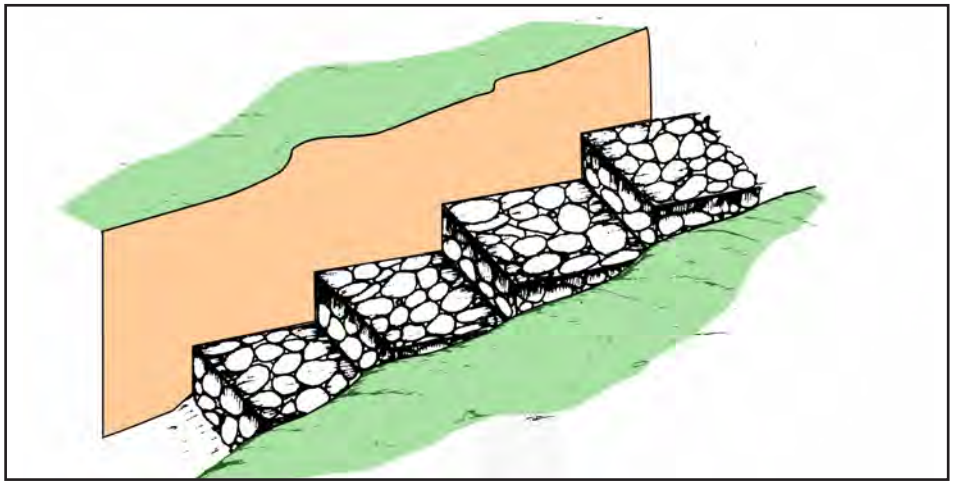


Figura 9.29 Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado.

9.2.3 Medidas correctivas para erosión fluvial e inundaciones

En las áreas de llanuras aluviales, los ríos poseen un régimen erosivo horizontal (hacia los lados) y no tanto vertical. Este proceso causa divagación de los sistemas fluviales, provocando que el desarrollo agrícola, residencial, industrial, etc., sea difícil de planificar sin que alcance costos elevados.

Por tratarse de área con pendiente muy baja, la corriente es muy lenta, por lo que los sistemas fluviales adquieren un patrón de drenaje meándrico (caso ríos amazónicos) que se caracteriza por abandonar secciones del cauce, que posteriormente pueden retomar. Por ello, algunas zonas de influencia fluvial son ocupadas por asentamientos o utilizadas para prácticas agrícolas, sin percibir que son terrenos que en algún momento pertenecieron al río.

Las recomendaciones para las zonas susceptibles a los procesos de erosión fluvial son:

- Realizar estudios hidrológicos y de las formas del terreno (geomorfológicos) para establecer las zonas de influencia fluvial y prohibir el desarrollo de viviendas sobre estas áreas.
- Donde ya existe la problemática, implementar sistemas de alerta temprana.
- Eliminar los factores que facilitan los deslizamientos en los cauces, como la saturación por mal manejo de las aguas pluviales y servidas, y la ausencia de cunetas en calles y caminos.

CONCLUSIONES

La litología en la cuenca está conformada principalmente por rocas volcánicas con 53 %; le sigue en orden de importancia los depósitos inconsolidados (depositados en el Pleistoceno y Cuaternario Reciente) con 21 %; luego, las rocas intrusivas con 10 %, rocas sedimentarias con 7 %, rocas volcánico-sedimentarias con 6 % y, finalmente, las rocas metamórficas con 3 %.

Los peligros geológicos por procesos de movimientos en masa (caídas, deslizamientos, flujos, movimientos complejos y reptación de suelos) representan el mayor número de ocurrencias de la cuenca con 70.39 %, seguidos por otros peligros (erosión de ladera o cárcava, hundimientos y arenamientos) con 26.89 %, y peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) con 2.72 %.

En la cuenca del río Ocoña se ha inventariado un total de 662 ocurrencias, de las cuales, 303 han sido comprobados en campo y 359 mediante la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Además, según la estadística porcentual, el 41.7 % corresponde a flujos, 24.5 % a erosión de ladera, 16.9 % a caídas, 8.8 % a deslizamientos, 2.9 % a movimientos complejos, 1.8 % a arenamientos, 1.5 % a erosión fluvial, 1.2 % a inundación fluvial y 0.6 % a hundimientos y 0.2 % a reptación de suelos.

Se identificó 22 zonas críticas a peligros geológicos y geohidrológicos, de los cuales, 1 se ubica en el distrito de Ocoña, 2 en Mariano Nicolás Valcárcel, 1 en Río Grande, 1 en San Juan de Chorunga, 1 en Yanaquihua, 4 en Chichas, 1 en Quechualla, 1 en Charcana, 1 Pampamarca, 1 en Toro, 3 en Cotahuasi, 1 en Puyca, 1 en Coronel Castañeda, 1 en Pacapausa y 2 en Pausa.

Se ha reconocido “megaeventos” antiguos de movimientos en masa. Como un ejemplo se puede citar la avalancha de escombros en Cotahuasi, ubicado en la provincia de La Unión.

En el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa, se consideró cinco categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Las susceptibilidades alta y muy alta ocupan el 20 % y 4 % de área, respectivamente. Estas áras se ubican principalmente en las laderas y afluentes de los ríos Ocoña, Chichas, Cotahuasi, Huarcaya, Pampamarca, Marán, Huanca Huanca, Pacapausa, Calpamayo y Pallancata.

Se ha identificado un total de 22 zonas críticas, de las cuales 1 se ubica en el distrito de Ocoña, 2 en Mariano Nicolás Valcárcel, 1 en Río Grande, 1 en San Juan de Chorunga, 1 en Yanaquihua, 4 en Chichas, 1 en Quechualla, 1 en Charcana, 1 Pampamarca, 1 en Toro, 3 en Cotahuasi, 1 en Puyca, 1 en Coronel Castañeda, 1 en Pacapausa y 2 en Pausa.

El análisis hidroquímico para las estaciones inventariadas en la temporada de avenida en la cuenca del río Ocoña muestra que hay facies bicarbonatadas alumínicas, cálcicas y sódicas y, en menor proporción, fuentes sulfatadas cálcicas. La temporada de estiaje se caracteriza por presentar estaciones de composiciones variadas, por lo que se tiene fuentes de facies bicarbonatadas cálcicas y sódicas, sulfatadas cálcicas y sódicas, y cloruradas sódicas. Las variaciones químicas están condicionadas por las precipitaciones y sequías, que condicionan los procesos de oxidación y reducción del agua. Este aspecto lo podemos observar en el analito Al, el cual solo está presente para la temporada de avenida como elemento mayoritario.

El análisis del coeficiente de riesgo de contaminación o grado de mineralización del agua en un determinado analito muestra que la cuenca del río Ocoña, para la temporada de avenida, presenta algunas estaciones de muestreo superando el límite de 1 unidad para el parámetro pH tanto límite inferior y superior, así mismo en los elementos Al, Cu, Fe, Mn y Hg. Por otro lado, para la temporada de estiaje, hay estaciones que superan en los parámetros fisicoquímicos de pH y conductividad eléctrica, así como en los analitos de Cl, SO_4, Al, As, Fe y Mn.

RECOMENDACIONES

Con el fin de contribuir con la creación de una cultura de prevención de desastres, es fundamental que las autoridades de los distritos asentados en la cuenca del río Ocoña difundan los resultados de este trabajo entre la población.

Las áreas cubiertas por depósitos de flujos, deslizamientos y derrumbres no son recomendables para la construcción de viviendas o desarrollo de expansión urbana. Antes de que se asiente un poblado o cuando se planifique una expansión urbana, se debe realizar estudios geológicos y geotécnicos detallados.

Para zonas caracterizadas como susceptibilidad muy baja de movimientos en masa, se recomienda evaluar los procesos geohidrológicos circundantes (inundación y erosión fluvial).

En las zonas de bajas susceptibilidad, se recomienda permitir el desarrollo de infraestructura siempre y cuando sean incorporadas las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto, o adaptarse a las condiciones del terreno.

En zonas de alta susceptibilidad, se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana o de instalaciones para una alta concentración de población. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se debe de realizar estudios geotécnicos en detalle.

Se debe prohibir el desarrollo de toda infraestructura en zonas de muy alta susceptibilidad, sin el conocimiento geológico detallado previo. Son necesarios los estudios geológico-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción de infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puentes, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana.

Las recomendaciones planteadas en el Capítulo IX son de carácter orientativo. Se debe realizar estudios geológico-geotécnicos detallados y especializados para cada zona crítica y peligro identificado en el presente trabajo.

Se recomienda realizar monitoreos de calidad de aguas superficiales en toda la cuenca del río Ocoña con una red de monitoreo más densa que la usada.

Es muy importante socializar las conclusiones y recomendaciones de estos importantes estudios, para lo cual se recomienda realizar talleres de difusión y trabajo con las principales autoridades de las poblaciones de la cuenca del río Ocoña, en la que participen también autoridades regionales que permitan darle continuidad a estos estudios.

Se recomienda realizar un proyecto piloto en coordinación con las autoridades locales y regionales, que permita concientizarlos en la gestión del riesgo y en la utilidad de este tipo de trabajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, V. & Mendoza, D. (2002) - *Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el eje cafetero, Colombia* (en línea). Tesis Ingeniero Civil, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Cali, 214 p. https://www.osso.org.co/docu/tesis/2002/aproximacion/tesisdividocfinal.pdf

Alva, J. & Chang L. (1987) - *Mapa de áreas de deslizamientos por sismos en el Perú* (en línea). En: Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 5, Lima, 1987, 11 p. http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis18_a.pdf

Alva, J.; Meneses, J. & Guzmán, V. (1984) - *Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú* (en línea). Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 5, Tacna, 11 p. http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf

Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible (2005) - *Área natural protegida Reserva Paisajista subcuenca del Cotahuasi Arequipa-Perú: Expediente técnico*. Lima: AEDES, 99 p.

Asociación LAGESA-CFGS. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña. Hojas: 28-ñ, 28-o, 29-o, 30-o. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 70, 185 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/193

Ayala, F.J. (2003) - Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, funciones, problemática y límites. En: Ayala, F.J. & Corominas, J., eds. *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas S.I.G.* Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, Medio Ambiente, 4, p. 7-20.

Ayala, F.J. & Andreu, F.J. (2006) - *Manual de ingeniería de taludes*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 456 p. Guías y Manuales, 3.

Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E & Audin, L. (2017) - Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en La región Arequipa. *Ingemmet. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 64, 390 p., 1 mapa. https://hdl.handle.net/20.500.12544/1223

Benítez, A. (1972) - *Captación de aguas subterráneas: nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales*. Madrid: Dossat, 619 p.

Cahill, T.A. & Isacks, B.L. (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth,* 97(B12): 17503-17529. https://doi.org/10.1029/92JB00493

Carpio, J. & Tavera, H. (2002) - Estructura de un catálogo de tsunamis para el Perú basado en el Catálogo de Gusiakov. *Boletín Sociedad Geológica del Perú,* (94): 45-59.

Casaverde, L. & Vargas, J. (1980) - *Zonificación sísmica del Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 32 p., PUCP Serie Difusión. Trabajo presentado en el II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente, Lima, 1980.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslide types and processes. En: Turner, A.K. & Schuster, R.L., eds. *Landslides: investigation and mitigation*. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, p. 36-75.

Custodio, E. & Llamas, M. (2001) - *Hidrología subterránea*. 2. ed. corr. Barcelona: Omega, 2350 p., 2 vol.

Dávila, D. (1991) - Geología del cuadrángulo de Pacapausa, hoja 30-p. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 41, 75 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/161

Davis, S.N. (1969) - Porosity and permeability of natural materials. En: De Wiest, R.J.M. *Flow through porous media*. New York: Academic Press, p. 53-89.

Davis, S.N. (1988) - Sandstones and shales. En: Back, W.; Rosenshein, J.S. & Seaber, P.R., eds. *Hydrogeology: The geology of North America*. Boulder, CO: Geological Society of América, p. 323–332.

Densmore, A.L. & Hovius, N. (2000) - Topographic fingerprints of bedrock landslides. *Geology,* 28(4): 371-374. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28%3C371:TFOBL%3E2.0.CO;2

Díaz, G. & Milla, D. (2003) - *Revisión y actualización de los cuadrángulos de Jaqui (31-ñ), Coracora (31-o), Chala (32-ñ) y Chaparra (32-o)*, Escala 1:100 000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 57 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2058

Domenico, P. A. & Schwartz, F. W. (1998) - *Physical and chemical hydrogeology.* 2 ed. New York: Wiley, 506 p.

Duque, G. (2003) - *Manual de geología para ingenieros* (en línea). Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 487 p. (consulta: abril 2009). Disponible en: <https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Manual_de_Geologia_Gonzalo_Duque.compressed.pdf>< http://www.galeon.com/manualgeo/>

Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009) - *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres.* Ginebra: Naciones Unidas, UNISDR, 38 p. https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Force, E.R.; Eidel, J.J. & Maynard, J.B., eds. (1991) - *Sedimentary and diagenetic mineral deposits: a basin analysis approach to exploration.* Texas: Society of Economic Geologists, 208 p. Reviews in Economic Geology, 5. https://doi.org/10.5382/Rev.05

Gregory, J.K. & Walling, E.D. (1985) - *Drainage bassin analysis.* Victoria: The Bath Press, 451 p.

Hoek, E. & Bray, J. (1981) - *Rocks slope engineering*. 3. ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 358 p.

Hungr, O.; Evans, S.G.; Bovis, M.J. & Hutchinson, J.N. (2001) - A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience,* 7(3): 221-238. https://doi.org/10.2113/gseegeosci.7.3.221

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 1. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica,* 23, 330 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/312

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2002) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N" 2. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 27, 368 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/261

Instituto Nacional de Defensa Civil (1997) - *Descripción de las emergencias producidas en el Perú por departamentos - 1997*. Lima: INDECI, 180 p. Disponible en: <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/5_descrip.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2008) - *Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda*: sistema de consulta de resultados censales (en línea). Lima: INEI (consulta: agosto 2016). Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/>

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1995) - *Mapa ecológico del Perú: guía explicativa*. Lima: INRENA, 202 p. Mapa a escala 1:1.000.000.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (2007) – *Evaluación de recursos hídricos de la cuenca del río Ocoña: estudio hidrológico. Informe Final*. Lima: INRENA, vol. 1, 163 p. https://hdl.handle.net/20.500.12543/3886

Johnson, A.I. & Morris, D.A. (1962) - *Physical and hydrologic properties of water-bearing deposits from core holes in the Los Banos-Kettleman City area, California.* Denver, CO: Hydrologic Laboratory, 182 p. U.S. Geological Survey, Open-File Report. Disponible en: <https://cutt.ly/BvrElDL>

León W.; Palacios, O. & Torrres, V. (2000) - *Sinopsis sobre la revisión de la geología de los cuadrángulos de Atico, Ocoña, Camaná, La Yesera, Aplao y Mollendo,* Escala 1:100,000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 8 p., 6 mapas. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2038

Martín, A.; Salazar, A.; Nozal, F. & Suárez, A. (2005) - *Mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000: Guía para su elaboración.* Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 128 p.

Martínez, W. & Cervantes, J. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Pausa (31-p), Escala 1:100,000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero Y Metalúrgico, 19 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2067

McGuire, R.K. (1976) - Fortran computer program for seismic risk analysis. *U.S. Geological Survey, Open-File Report 76-67*, 90 p. https://doi.org/10.3133/ofr7667

Medina, L.; Luque, G. & Pari, W. (2012) - Riesgo geológico en la región La Libertad. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica,* 50, 238 p., 9 mapas. https://hdl.handle.net/20.500.12544/290

Mendívil, S. & Castillo, W. (1960) - Geología del cuadrángulo de Ocoña (Hoja 33-p). *Comisión Carta Geológica Nacional,* 3, 54 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/33

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1975) - *Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la Costa: Cuencas de los ríos Atico, Caravelí y Ocoña.* Lima: ONERN, vol. 1, 440 p. https://hdl.handle.net/20.500.12543/977

Ojeda, J.; Castro, E.; Valencia, A. & Fonseca, S. (2001) - *Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica.* Bogotá INGEOMINAS, CVC, Escuela Colombiana de Ingeniería, 166 p.

Olchauski, E. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, Hojas 31-ñ, 31-o, 32-ñ, 32-o. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 34, 69 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/153

Olchauski, E. & Dávila, D. (1994) - Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, Hojas: 32-q, 31-q. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional,* 50, 52 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/171

Pecho, V. (1983) - Geología de los cuadrángulos de Pausa y Caravelí, Hojas: 31-p y 32-p. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional,* 37, 125 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/156

Peña, F.; Sánchez, M. & Pari, W. (2010) - Hidrogeología de la cuenca del río Ica. Regiones Ica y Huancavelica. *INGEMMET. Boletín. Serie H: Hidrogeología,* 3, 349 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/370

Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016) - Decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 "Diseño Sismoresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-VIVIENDA. *El Peruano*, Separata especial, 24 enero 2016, 32 p.

Perú. Ministerio del Ambiente (2012) - *Memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del Perú.* Lima: MINAM, 76 p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830

Quispesivana, L. & Navarro, P. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (33-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p), Escala 1:100 000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 42 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2052

Robinson, E.S. (1990) - *Geología física básica.* México: Limusa, 699 p.

Salas, G.; Chávez, A.; Aguilar, E.; Chávez, E.; Lajo, J., et al. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Chulca (30-q), Cayarani (30-r), Cotahuasi (31-q) y Orcopampa (31-r), Escala 1:100 000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 67 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2054

Sánchez, J.; Lagos, A. & Surco, C. (2003) - *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Puquio (30-ñ), Santa Ana (29-ñ), Chaviña (30-o) y Querobamba (29-o), Escala 1:100 000*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 68 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2070

Sanders, L.L. (1998) - *A manual of field hydrogeology*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 381 p.

Silgado, E. (1978) - Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). *Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 3, 130 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/251

Smith, L. & Wheatcraft, S.J. (1993) - Groundwater Flow. En: Maidment, D.R., ed. *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill, Chapter 6.

Snyder, M.J. & Kalyoncu, R.S. (1977) - Characterization and analysis of Devonian shales as related to release of gaseous hydrocarbons. *Quarterly technical Progress Report*, March 19770 - May 1977, 35 p. https://doi.org/10.2172/7318344

Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995) - *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend*. Hannover: International Association of Hydrogeologists, 193 p. International Contributions to Hydrogeology, 17.

Suárez, J. (1998) - *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda, 548 p. Disponible en: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>

Tavera, H. & Buforn, E. (2001) - Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology,* 5(4): 519-539. https://doi.org/10.1023/A:1012027430555

Tóth, J. (1980) - Cross-Formational Gravity-Flow of Groundwater: A Mechanism of the Transport and Accumulation of Petroleum (The Generalized Hydraulic Theory of Petroleum Migration). En: Roberts, W.H. & Cordell, R.J. *Problems of Petroleum Migration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, AAPG Studies in Geology, 10, p.121-167. https://doi.org/10.1306/St10411C8

Tóth, J. (2009) - *Gravitational Systems of Groundwater Flow: Theory, Evaluation, Utilization.* Cambridge: Cambridge University Press, 310 p. https://doi.org/10.1017/CBO9780511576546

Varnes, D.J. (1978) - Slope movement types and processes. En: Schuster, R.L. & Krizek, R.J., eds., *Landslides: analysis and control.* Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 176, p. 11-33.

Vilchez, M.; Luque, G. & Rosado, M. (2013) - Riesgo geológico en la Región Tumbes. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería. Geológica*, 51, 188 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/292

Villota, H. (2005) - *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras.* 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

Zamudio, Y. & Tavera, H. (2004) - Análisis temporal de la actividad sísmica en el sur del Perú y sus implicancias tectónicas. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 328-331.

Zavala, B.; Vílchez, M.; Rosado, M; Pari, W. & Peña, F. (2014) - Estudio geoambiental en la cuenca del río Colca. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica,* 57, 236 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/293

ANEXOS

Anexo I	Balance iónico, temporada de avenida
Anexo II	Balance iónico, temporada de estiaje
Anexo III	Facies químicas de aguas, temporada de avenida
Anexo IV	Facies químicas de aguas, temporada de estiaje
Anexo V	Riego de vegetales para la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida
Anexo VI	Bebida de animales para la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida
Anexo VII	Riego de vegetales para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje
Anexo VIII	Bebida de animales para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje
Anexo IX	Informe de análisis N°015-2012-INGEMMET/DL/LQ
Anexo X	Informe de análisis N°016-2012-INGEMMET/DL/LQ
Anexo XI	Informe de análisis N°034 -2012-INGEMMET/DL/LQ
Anexo XII	Informe de análisis N°046 -2012-INGEMMET/DL/LQ

Los anexos están dispoibles en formato digital desde el Repositorio Institucional del Ingemmet en la siguiente dirección: https://hdl.handle.net/20.500.12544/3167

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

Mapa 1 Litológico
Mapa 2 Pendiente de los Terrenos
Mapa 3 Geomorfológico
Mapa 4 Hidrogeológico
Mapa 5 Inventario de los Peligros Geológicos
Mapa 6 Zonas críticas
Mapa 7 Susceptibilidad a Movimientos en Masa
Mapa 8 Susceptibilidad a Inundaciones y Erosiones Fluviales
Mapa 9 Ubicación de subcuencas hidrográficas
Mapa 10 Inventario de aguas superficiales_Avenidas 2012
Mapa 11 Inventario de aguas superficiales_Estiaje 2012
Mapa 12 Variación de pH RV_Avenidas 2012
Mapa 13 Variación de pH RV_Estiaje 2012
Mapa 14 Variación de pH BA_Avenidas 2012
Mapa 15 Variación de pH BA_Estiaje 2012
Mapa 16 Variación de CE RV_Avenidas 2012
Mapa 17 Variación de CE RV_Estiaje 2012
Mapa 18 Variación de CE BA_Avenidas 2012
Mapa 19 Variación de CE BA_Estiaje 2012
Mapa 20 Hidroquímico_Avenidas 2012
Mapa 21 Hidroquímico_Estiaje 2012

Figuras

Figura 2.1 Ubicación de la cuenca del río Ocoña.
Figura 2.2 Distribución de la precipitación total mensual (mm). Año promedio histórico 1965 – 2005. Fuente: Inrena, 2007.
Figura 2.3 Temperatura media mensual por estaciones. Fuente: Inrena, 2007.
Figura 2.4 Distribución total media mensual de la evaporación. Fuente: Inrena, 2007.
Figura 2.5 Caudales medios mensuales corregidos de la estación Puente Ocoña. Fuente: Inrena, 2007.
Figura 2.6 Áreas naturales protegida de la cuenca del río Cotahuasi. Fuente SENANP.
Figura 2.7 Unidades ecológicas de la Cuenca del río Ocoña.

Figura 2.8 Unidades de cobertura vegetal.

Figura 4.1 Mapa morfoestructural de la cuenca del río Ocoña.

Figura 4.2 Se observa las sub unidades de Domos volcánicos (Do-v) ubicados en los cerros Auquihuato y Huanipaco respectivamente, y Ladera con flujo de lava (L-fl) ubicado en el sector Lomada Huallachiglla. Norte del poblado de Oyolo. Fuente: Google Earth Pro.

Figura 4.3 En la imagen satelital del 2014, se observan las subunidades de abanico aluvial (Ab) y terraza fluvial (T-fl), ubicados en el centro poblado Secocha. Fuente: Google Earth Pro.

Figura 4.4 Imagen satelital donde se observa el relieve conformado por mantos de arena ubicado al noreste de la localidad de Ocoña. Fuente: Google Earth Pro.

Figura 5.1 Sección hidrogeológica A – A'.

Figura 5.2 Sección hidrogeológica B – B'.

Figura 5.3 Sección hidrogeológica C – C'.

Figura 5.4 Sección hidrogeológica D – D'.

Figura 5.5 Sección hidrogeológica E – E'.

Figura 6.1 Distribución de los peligros naturales en la Cuenca del río Ocoña.

Figura 6.2 Estadística porcentual de los peligros naturales a nivel de la cuenca.

Figura 6.3 Estadística porcentual de los peligros naturales a nivel provincial, jurisdicción de la cuenca del río Ocoña.

Figura 6.4 Principales tipos de ocurrencia de movimientos en masa: deslizamiento, flujo de detritos, caída de rocas, derrumbe, etc. Fuente: Medina *et al*., 2012.

Figura 6.5 Distribución porcentual de movimientos en masa en la cuenca del Río Ocoña.

Figura 6.6 Esquema de la caída de rocas. Fuente: PMA: GCA, 2007.

Figura 6.7 Imagen satelital de la carretera de acceso (Km. 8) al pueblo de Cotahuasi, capital de la provincia de La Unión, afectada por derrumbe. Distrito de Cotahuasi.

Figura 6.8 Porcentaje de ocurrencia de caídas por provincias en la cuenca del río Ocoña.

Figura 6.9 Porcentaje de ocurrencia de deslizamientos por provincias en la cuenca del río Ocoña

Figura 6.10 Esquemas de deslizamientos traslacionales. Fuente: PMA: GCA, 2007.

Figura 6.11 Esquema de un deslizamiento en cuña. Fuente: PMA: GCA, 2007.

Figura 6.12 Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos. Fuente: PMA: GCA, 2007.

Figura 6.13 Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996). Fuente: PMA: GCA, 2007.

Figura 6.14 Porcentaje de ocurrencia de flujo por provincias en la cuenca del río Ocoña.

Figura 6.15 Delimitada con líneas amarillas discontinuas sobre la imagen satelital, se observa el depósito de avalancha y las flechas de color negro indican la trayectoria del flujo. Se ubica en la confluencia de los ríos Pampamarca y Huancay; distrito Cotahuasi.

Figura 6.16 Esquemas de reptación y solifluxión, según Corominas Dulcet y García Yagué, 1997. Fuente: PMA: GCA, 2007.

Figura 6. 17 Porcentaje de ocurrencia de movimientos complejos por provincias en la cuenca del río Ocoña.

Figura 6.18 Porcentaje de ocurrencias de peligros geohidrológicos (erosión e inundación fluvial) en la cuenca del río Ocoña.

Figura 6.19 Porcentaje de ocurrencias de otros peligros naturales (arenamiento y erosión de ladera) en la cuenca del río Ocoña.

Figura 6.20 Mapa de Isosistas del Sismo del 24 de noviembre de 1604 – Arequipa.

Figura 6.21 Mapa de Isosistas del Sismo del 23 de junio de 2001 – Arequipa.

Figura 6.22 Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas. Fuente: Alva, *et al*., 1984).

Figura 6.23 Distribución espacial de los Sismos en los alrededores de la cuenca de río Ocoña. Fuente: Instituto Geofísico del Perú, 2010.

Figura 6.24 Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 20años.

Figura 6.25 Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50años.

Figura 6.26 Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años.

Figura 6.27 Zonificación Sísmica del Perú.

Figura 6.28 Curva de Peligro Anual para el poblado de Ocoña – Arequipa. Fuente: IGP, 2015.

Figura 6.29 Curva de Peligro Anual para el poblado de Cotahuasi. Fuente: IGP, 2015

Figura 6.30 Curva de Peligro Anual para el poblado de Pausa – Arequipa. Fuente: IGP, 2015.

Figura 6.31 Mapa neotectónico de la cuenca del río Ocoña, jurisdicción de la región Arequipa. Fuente: Benavente *et al*., 2017.

Figura 6.32 Con flechas rojas se indica la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos en el sector Pueblo Viejo. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.33 Con flechas rojas se indican la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos ubicadas en la localidad de Urasqui, capital del distrito Mariano Nicolás Valcárcel. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.34 En las imágenes se observa el crecimiento urbanístico de Secocha sobre depósitos de antiguas ocurrencias de flujos de detritos. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.35 Con flechas rojas se indican la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos y caídas de rocas ubicadas en la localidad de Iquipí, capital del distrito Río Grande. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.36 Con flechas rojas se indican la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos ubicadas en la localidad de San Juan de Chorunga. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.37 Con flechas rojas se indican la dirección de antiguas ocurrencias de flujos de detritos ubicadas en la localidad de Barrera. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.38 Se observa ladera inestable susceptible a las ocurrencias de flujos y derrumbes. Además, se observa inicio de procesos de erosión en cárcava. Sector Vilcane. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.39 Se observa procesos de erosión fluvial que podría afectar viviendas y tierras de cultivo del sector Yachanguillo. Además, se observa ocurrencias de flujos de detritos. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.40 Se observa a la población de Chichas asentada sobre depósitos de flujos antiguos provenientes de la quebrada Añavilca. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.41 Se observa que la población de Allancay, está asentada entre el río Sañucanta y quebrada Challallauca. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.42 Poblado de Huarhua asentada sobre depósito coluvio-deluvial susceptible a proceso de erosión en cárcava y deslizamientos. También se observa carreta de acceso que podría ser afectada por derrumbes. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.43 Carretera de acceso entre Cotahuasi y Chuquibamba (Km 8+100) afectada y susceptible a derrumbes por corte de talud para su construcción. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.44 Población de la Urbanización Pampa de Aymaña III Etapa, ubicada en la margen izquierda de río Cotahua; además se observa la ribera del río, susceptible a pequeños derrumbes, erosión en cárcava y fluvial. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.45 En sector de Chacaylla se observan viviendas sobre antiguos depósitos de flujos de detritos. También se observa ladera afectada por erosión en cárcava. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.46 Tramo de carretera de acceso al poblado Puyca con muy alta susceptibilidad a derrumbes y caídas de rocas. Imagen Google Earth Pro.

Figura 6.47 Delimitado con línea roja se observan depósitos de movimientos en masa antiguos que rodean la localidad de Aniso, capital del distrito de Coronel Castañeda. Imagen Google Earth Pro.
Figura 8.1 Diagrama de flujo de trabajos en campo referente a la recolección de muestras de aguas superficiales.
Figura 8.2 Variación del pH para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).
Figura 8.3 Variación de la CE para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).
Figura 8.4 Variación de temperatura para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).
Figura 8.5 Error del Balance Iónico para la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje y avenidas (2012).
Figura 8.6 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).
Figura 8.7 Índice de riesgo de contaminación ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).
Figura 8.8 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).
Figura 8.9 Índice de riesgo de contaminación ECA cateogría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012).
Figura 8.10 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012).
Figura 8.11 Índice de riesgo de contaminación ECA categoría 3, riego de vegetales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012).
Figura 8.12 Estaciones de muestreo que superaron el ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012).
Figura 8.13 Índice de riesgo de contaminación ECA categoría 3, bebida de animales, en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012) .
Figura 9.1 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.2 Colocación de escollera (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.3 Esquema de un talud con bermas intermedias (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.4 Detalle de una canaleta de drenaje superficial (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.5 Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.6 Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos (López García, 1984).
Figura 9.7 Posición óptima de una galería de drenaje (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.8 Drenaje de la superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.9 Disposición de zanjas de drenaje en un talud (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.10 Zanjas de talud (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.11 Drenaje tipo espina de pescado (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.12 Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.13 Contención de un deslizamiento mediante un muro (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.14 Relleno estabilizador sostenido por el muro (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.15 Tipos de muros: a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.16 Muros de gravedad de piedra argamasada (tomado de Ingemmet, 2000).

Figura 9. 17 Muros de gravedad de concreto ciclópeo (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.18 Muros de espesor máximo (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.19 Muros en L (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.20 Muros de concreto armado tipo flexión (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.21 Muro de gavión.
Figura 9.22 Ejemplo de muros con pilotes (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.23 Ejemplo de muros de pantalla (tomado de Ingemmet, 2000).
Figura 9.24 Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.
Figura 9.25 Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).
Figura 9.26 Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).
Figura 9.27 Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).
Figura 9.28 Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.
Figura 9.29 Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado.

Fotografías

Fotografía 1.1 Toma de muestra de agua superficial en el río Breamayo.
Fotografía 2.1 Se observa, el Cañón y la Catarata de Sipia ubicados en el río Cotahuasi, distrito de Quechualla.
Fotografía 2.2 Fuentes de aguas termales de Luicho. Ubicado en la margen derecha de río Huarcaya, distrito de Huaynacotas. Fuente. Gualberto Valderrama, Google Earth pro.
Fotografía 3.1 Se observan los depositos fluviales, aluviales y eolicos en la zona del poblado de Ocoña.
Fotografía 3.2 Depósitos aluviales (Q-al) ocupados por tierras de cultivos y viviendas de la localidad de Tomepampa (río Huarcaya).
Fotografía 3.3 Se observa depósito coluvial (I-6), ubicado en flanco suroeste del cerro Huañahuy-Maycz; margen izquierda del río Huarcaya, norte del poblado Alca.
Fotografía 3.4 Depósitos glaciar (I-8) ubicado en el sector Huambo, distrito de Cotahuasi.
Fotografía 3.5 Depósito eólico ubicado en la margen izquierda del río Ocoña, al este del sector Surita, distrito Mariano Nicolas Valcarcel.
Fotografía 3.6 Afloramiento rocoso intrusivo compuesto principalmente por diorita ubicado en el flanco este del cerro Mal Paso (margen derecha del río Ocoña).
Fotografía 3.7 Afloramiento rocoso intrusivo compuesto por tonalitas ubicado en el flanco este del cerro Teneray (margen derecha del río Ocoña).
Fotografía 3.8 Afloramientos rocosos volcánicos de las formaciones Tacaza y Alpabamba ubicados en cerro Tarhuara (margen derecha del río Huarcaya).
Fotografía 3.9 Tobas de la Formación Alpabamba ubicado en el cerro Allahuay (sur del caserío Cachana).
Fotografía 3.10 Roca volcánico-sedimentaria de la Formación Aniso ubicado en el cerro Ishurutuna (norte del caserío Uchuy Huasi).
Fotografía 3.11 Rocas sedimentarias de la Formaciones Labras, Hualhuani y Murco ubicado en el flaco sur del Cerro Sanquimocco (margen izquierda del río Cotahuasi).
Fotografía 3.12 Estratos de calizas de la Formación Arcurquina ubicado entre las quebrada Toro y Alluay (margen izquierda del río Cotahuasi).

Fotografía 3.13 Afloramiento rocoso del Complejo Basal de la Costa compuesto por Gneis, ubicado al oeste de la localidad de Urasqui (margen derecha del río Ocoña).

Fotografía 4.1 Ladera de montaña modelada en roca volcánica de la Formación Alpabamba, ubicada en el cerro al norte del poblado Pampamarca.

Fotografía 4.2 Ladera de montaña modelada en roca sedimentaria compuesta de lutitas intercaladas con estratos de areniscas. Margen derecha del río Cotahuasi.

Fotografía 4.3 Ladera de montaña modelada en roca metamórfica, se encuentra intensamente afectada por los procesos de erosión de ladera. Se ubica en la margen derecha del río Arma, flanco suroeste del cerro Anchachani.

Fotografía 4.4 Relieve de lomadas modeladas en rocas metamórficas ubicadas en el sector Lomas de Ocoña.

Fotografía 4.5 Complejo volcánico (estrato-volcán y domos) del Coropuna. Vista del flanco noreste.

Fotografía 4.6 Flanco sur del Estrato volcán Solimana.

Fotografía 4.7 Flanco noreste del volcán Sara Sara.

Fotografía 4.8 Vertiente Volcano-clástica ubicado en la Pampa Cuno Cuno, sureste del poblado Iquipi.

Fotografía 4.9 Vertiente de detritos ubicado en el flanco sureste del cerro Teneccacca, margen derecha del río Huarcaya.

Fotografía 4.10 Vertiente de detritos ubicado en el flanco este del cerro Escalera, cerca al caserío Chincayllapa.

Fotografía 4.11 Subunidad de vertiente aluvio-torrencial que represó el río Cotahuasi.

Fotografía 4.12 Subunidad de piedemonte aluvial, ubicado en las riveras de la Laguna Parinacochas.

Fotografía 4.13 Altiplanicie aluvial sedimentaria ubicada en sector Nuevo Ocoña.

Fotografía 4.14 Terraza aluvial cubierta por cultivos, ubicada en el fondo de valle del río Ocoña.

Fotografía 4.15 Acuífero Arcurquina, compuesto por estratos de calizas grises masivas en el sector de la laguna Matucocha. Nótese la surgencia de aguas subterráneas procedentes del acuífero, que forman el manantial San Gabriel 4, con un caudal alto de 25 l/s.

Fotografía 4.16 Terraza fluvial ubicada en el fondo de valle del río Ocoña.

Fotografía 5.1 Acuífero Arcurquina, compuesto por estratos de calizas grises masivas en el sector de la laguna Matucocha. Nótese la surgencia de aguas subterráneas procedentes del acuífero, las mismas que forman el manantial San Gabriel 4, con un caudal alto de 25 l/s.

Fotografía 6.1 Caída de roca en talud superior del caserío de Huallgua, distrito de San Javier de Alpabamba.

Fotografía 6.2 Caída de rocas ubicada en talud superior y norte de la zona urbana del distrito de Pampamarca.

Fotografía 6.3 Depósito de ocurrencia de derrumbe ubicado en la margen izquierda del río Cotahuasi, distrito de Cotahuasi.

Fotografía 6.4 Se observa deslizamiento traslacional que represó parcialmente el río Pacapausa en el sector del distrito de Upahuacho.

Fotografía 6.5 Reptación de suelos ubicado entre los caseríos de Naguapampa y Nagua Alta, en el distrito de Lampa. Se observa árboles inclinados que indican la actividad del movimiento y su dirección.

Fotografía 6.6 Erosión fluvial o socavamiento del pie de talud en la margen izquierda del río Cotahuasi, distrito de Cotahuasi.

Fotografía 6.7 Depósitos de derrumbes ocurridos a causa de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Cotahuasi, distrito de Cotahuasi.

Fotografía 6.8 Terrenos de cultivos ubicados en la margen izquierda del río Ocoña (subcuenca Ocoña Bajo) susceptibles por inundaciones (vista aguas arriba), distrito Mariano Nicolás Valcárcel.

Fotografía 6.9 Se observa procesos de erosión en cárcava en talud de pendiente muy escarpado (>60°), ubicada en el talud de la margen izquierda del valle cañón del río Cotahuasi y a 50 m de la urbanización Pampa de Aymaña III Etapa, (Cotahuasi), distrito de Cotahuasi.

Fotografía 6.10 Ocurrencias de derrumbes y erosión en cárcava que afecta a la carretera de acceso al poblado de Chichas. Se

observa depósitos inconsolidados.

Fotografía 6.11 Talud de pendiente muy escarpada con sustrato rocoso muy fracturado y meteorizado, susceptible a la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes.

Fotografía 6.12 Tramo de carretera de acceso entre los poblados de Cotahuasi y Velinga susceptible a la ocurrencia de derrumbes, flujos y cárcavas en periodo lluvioso.

Fotografía 6.13 El talud donde se asienta el caserío Ampi se encuentra afectado por erosión en cárcava. Además, se observa viviendas construidas en cauce de cárcava.

Fotografía 6.14 Talud inferior del caserío Huancara afectado por deslizamiento retrogresivo.

Fotografía 6.15 Escarpa de deslizamiento activo ubicada en el cerro Potrero.

Cuadros

Cuadro 2.1 División política de la cuenca del río Ocoña

Cuadro 2.2 Población total, superficie y densidad poblacional, según provincia

Cuadro 2.3 Población según provincias, área y sexo

Cuadro 2.4 Viviendas con acceso de agua por la red pública

Cuadro 2.5 Viviendas con acceso al sistema de alcantarillado por la red pública

Cuadro 2.6 Alumbrado eléctrico por la red pública

Cuadro 2.7 Lista de Establecimientos de salud estratégicos

Cuadro 2.8 Instituciones Educativas de los distritos de la jurisdicción de la cuenca del río Ocoña

Cuadro 2.9 Yacimientos mineros de la cuenca del río Ocoña

Cuadro 2.10 Recursos naturales y turísticos, por tipo, según provincia y distritos

Cuadro 2.11 Estaciones Meteorológicas

Cuadro 2.12 Precipitación total mensual (mm) en la cuenca del río Ocoña. Año promedio histórico 1995 – 2005

Cuadro 2.13 Temperatura media mensual por estaciones en la cuenca Ocoña

Cuadro 2.14 Distribución de la evaporación total mensual (mm)

Cuadro 2.15 Caudales medios mensuales en m3/s corregidos de la estación Puente Ocoña

Cuadro 2.16 Categorías y Áreas naturales protegidas en la cuenca del río Ocoña

Cuadro 5.1 Unidades hidrogeológicas, según el tipo de roca

Cuadro 5.2 Descripción litológica, parámetros hidrogeológicos y clasificación hidrogeológica de las formaciones litoestratigráficas en la cuenca del Río Ocoña

Cuadro 5.3 Descripción litológica, parámetros hidrogeológicos y clasificación hidrogeológica de los cuerpos intrusivos y depósitos subvolcánicos en la cuenca del Río Ocoña

Cuadro 5.4 Descripción litológica, parámetros hidrogeológicos y clasificación hidrogeológica de los cuerpos volcánicos en la cuenca del Río Ocoña

Cuadro 6.1 Peligros naturales ocurridos en el ámbito de la cuenca

Cuadro 6.2 Principales lugares afectados por caídas

Cuadro 6.3 Principales lugares afectados por deslizamientos

Cuadro 6.4 Principales lugares afectados por flujos

Cuadro 6.5 Principales lugrares afectados por movimientos complejos

Cuadro 6.6 Principales lugares afectados por erosión fluvial
Cuadro 6.7 Principales lugares a ser afectados por inundación fluvial
Cuadro 6.8 Principales lugares afectados por arenamiento
Cuadro 6.9 Principales lugares afectados por erosión de ladera
Cuadro 6.10 Descripción de macro sismos ocurridos en la zona de estudio entre 1555 y 1725
Cuadro 6.11 Descripción de macro sismos ocurridos en la zona de estudio entre 1784 y 1917
Cuadro 6.12 Descripción de macro sismos ocurridos en la zona de estudio entre 1920 y 1948
Cuadro 6.13 Descripción de macro sismos ocurridos en la zona de estudio entre 1955 y 2001
Cuadro 6.14 Zonas costeras afectadas por tsunamis que incluye la costa de la cuenca del río Ocoña.
Cuadro 6.15 Factores de zona Z
Cuadro 6.16 Clasificación del factor detonante (sismicidad)
Cuadro 6.17 Zonas críticas a peligros geológicos por procesos de movimientos en masa
Cuadro 7.1 Variables y porcentajes
Cuadro 7.2 Valoración de las unidades litológicas
Cuadro 7.3 Valoración del tipo de pendiente
Cuadro 7.4 Valoración de las unidades geomorfológicas
Cuadro 7.5 Valoración de las unidades hidrogeológicas
Cuadro 7.6 Valoración de las unidades de cobertura vegetal y uso del suelo
Cuadro 7.7 Ponderación de variables en el análisis de la susceptibilidad a las inundaciones
Cuadro 7.8 Valoración del tipo de pendiente
Cuadro 7.9 Valoración de las unidades geomorfológicas a la inundación
Cuadro 7.10 Grados de susceptibilidad a las inundaciones en la cuenca del río Ocoña
Cuadro 8.1 Cantidad de estaciones de muestreo evaluadas en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida y estiaje
Cuadro 8.2 Resumen de los parámetros físico-químicos para la cuenca Ocoña (avenida y estiaje, 2012)
Cuadro 8.3 Resumen de los parámetros físico-químicos de las subcuencas del río Ocoña (avenida y estiaje, 2012)
Cuadro 8.4 Clasificación facies hidroquímicas y tipo de aguas
Cuadro 8.5 Muestras de agua que superan el ECA 3 Cat. Riego de vegetales en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012)
Cuadro 8. 6 Muestras de agua que superan el ECA 3 Cat. Bebida de animales en la cuenca del río Ocoña, temporada de avenida (2012)
Cuadro 8.7 Muestras de agua que superan el ECA 3 Cat. Riego de vegetales en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012)
Cuadro 8.8 Muestras de agua que superan el ECA 3 Cat. Bebida de animales en la cuenca del río Ocoña, temporada de estiaje (2012)

INGEMMET

Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú
Teléfono: 051 - 1- 618 9800
Fax: 051-1-225-3063 I 051-1-225-4540
www.gob.pe/ingemmet
comunicacion@ingemmet.gob.pe