



Peligro geológico en la región Madre de Dios

**Lima, Perú
2022**



**INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica
N° 87**

Peligro geológico en la región Madre de Dios

**Dirección de Geología Ambiental y Riesgo
Geológico**

Equipo de Investigación

**Manuel Vilchez Mata
Dulio Gomez Velazques
Griselda Luque Poma
Lucio Medina Allcca
Walter Pari Pinto**

**Lima, Perú
2022**

INGEMMET, Boletín Serie C: Geología e Ingeniería Geológica
N° 87

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022 - 01108

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

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú
Primera Edición, INGGEMMET 2022
Se terminó de imprimir el 07 de febrero del 2022 en los talleres de INGGEMMET
Tiraje: 25

© INGGEMMET

Presidente Ejecutivo: Víctor Manuel Díaz Yosa.

Gerente General: Luis Panizo Uriarte.

Comité Editor: Lionel Fidel Smoll, Yorri Carrasco Pinares.

Dirección encargada del estudio

Dirección de Geología Ambiental: Lionel Fidel Smoll.

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Yorri Carrasco Pinares.

Revisión Técnica: Lucio Medina Allcca.

Revisor Externo: Iván Santos Paredes.

Corrección gramatical y de estilo: Ana Bravo Hernández.

Diagramación: Daniel Chiroque Linares

Fotografía de la carátula: Erosión fluvial en el Puerto Laberinto, ocasionó el colapso de local de venta de combustible

Referencia bibliográfica

Vilchez, M.; Gomez, D.; Luque, G.; Medina, L. & Pari, W. (2022) - Peligro geológico en la región Madre de Dios. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 87, 151 p, 9 mapas.

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

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

Contenido

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	7
CAPÍTULO I.....	9
INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 PRESENTACIÓN.....	9
1.2 ANTECEDENTES.....	9
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	9
1.4 PARTICIPACIÓN.....	10
1.5 OBJETIVOS.....	10
1.6 METODOLOGÍA.....	10
1.7 AGRADECIMIENTOS.....	10
CAPÍTULO II.....	11
ASPECTOS GENERALES.....	11
2.1 SITUACIÓN DE LA REGIÓN.....	11
2.2 OCUPACIÓN ANTRÓPICA.....	13
2.2.1 Densidad poblacional.....	13
2.2.2 Crecimiento poblacional.....	15
2.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS.....	16
2.3.1 Indicadores de pobreza.....	16
2.3.2 Indicadores de viviendas.....	17
2.3.3 Indicadores de educación.....	18
2.3.4 Indicadores de Salud.....	19
2.3.5 Indicadores de economía.....	20
2.4 INFRAESTRUCTURA MAYOR.....	21
2.4.1 Infraestructura de transporte.....	21
2.5 CLIMA.....	22
2.6 HIDROGRAFÍA.....	22
2.7 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS.....	23
2.8 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO.....	24
2.8.1 Bosques de zonas húmedas y zonas pluviales.....	24
2.8.2 Herbazales de zonas húmedas y zonas pluviales.....	26
2.8.3 Otras formaciones vegetales.....	26
CAPÍTULO III.....	27
CONTEXTO LITOLÓGICO ESTRUCTURAL.....	27
3.1 GENERALIDADES.....	27
3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS.....	27
3.2.1 Unidad I: Depósitos inconsolidados.....	27
3.2.2 Substrato rocoso.....	30

CAPÍTULO IV	35
CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	35
4.1 GENERALIDADES.....	35
4.2 PENDIENTE DE LOS TERRENOS.....	35
4.2.1 Terrenos llanos (<1°).....	35
4.2.2 Terrenos inclinados con pendiente suave (1°-5°).....	36
4.2.3 Terrenos con pendiente moderada (5° -15°).....	36
4.2.4 Terrenos con pendiente fuerte (15° – 25°).....	36
4.2.5 Terrenos con pendiente escarpada (25° - 45°).....	36
4.2.6 Terrenos con pendiente muy escarpado (> 45°).....	36
4.3 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	36
4.3.1 Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional.....	37
4.3.2 Geoformas de carácter deposicional y agradacional.....	42
4.3.3 Unidad de geoformas particulares.....	49
CAPÍTULO V	55
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	55
5.1 GENERALIDADES.....	55
5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REGIÓN MADRE DE DIOS.....	55
5.2.1 Acuíferos.....	55
5.2.2 Acuitardos (AT).....	56
5.2.3 Acuícludos (ACM).....	57
CAPÍTULO VI	59
PELIGROS DE ORIGEN NATURAL.....	59
6.1 GENERALIDADES.....	59
6.2 REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS DESASTROSOS EN LA REGIÓN.....	60
6.3 EL PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN.....	62
6.3.1 Movimientos en masa.....	63
6.3.2 Peligros geohidrológicos.....	76
6.3.3 Otros peligros geológicos.....	85
6.4 PELIGRO SÍSMICO DE LA REGIÓN MADRE DE DIOS.....	86
6.5 SISMICIDAD HISTÓRICA.....	86
6.6 DISTRIBUCIÓN DE MÁXIMAS INTENSIDADES SÍSMICAS.....	88
6.7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISMOS.....	89
6.8 ESTUDIO SÍSMICO PROBABILÍSTICO.....	91
6.9 ZONIFICACIÓN Y ACELERACIONES MÁXIMAS.....	91
6.10 MOVIMIENTOS EN MASA DETONADOS POR SISMOS.....	97
6.11 LICUACIÓN DE SUELOS Y DEFORMACIONES SUPERFICIALES.....	97
6.12 ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA.....	97
6.12.1 Zona de Fallas del Vilcanota.....	98
6.12.2 Sinclinal de Salvación.....	98
6.12.3 Pliegue de Mazuko.....	98
CAPÍTULO VII	99
ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS.....	99
7.1 GENERALIDADES.....	99
7.2 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS.....	99

CAPÍTULO VIII	117
ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS.....	117
8.1 GENERALIDADES	117
8.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS.....	117
8.3 OTRAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA DESLIZAMIENTOS, DERRUMBES, CAÍDA DE ROCAS.....	118
8.4 MEDIDAS PARA ZONAS DE FLUJOS Y CÁRCAVAS	131
8.5 OTRAS MEDIDAS PARA DESLIZAMIENTOS Y CÁRCAVAS.....	132
8.6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS PARA INUNDACIONES Y FLUJOS RÁPIDOS	136
8.7 MEDIDAS PARA EL MANEJO DE SUBCUENCAS CON LECHOS FLUVIALES SECOS	137
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
ANEXOS	145
RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES	147

RESUMEN

El presente estudio se realizó con la finalidad de contribuir con el desarrollo sostenible de la región y brindar a los tomadores de decisiones, a la población en general e instituciones involucradas, información geo científica útil para la planificación territorial de dicha región. Por ese motivo, se ha incidido principalmente en la identificación de los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres.

La investigación se ha basado en la revisión de publicaciones científicas, la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, mapas de cartografiado de peligros geológicos a escala 1:50 000 en la región Madre de Dios, los cuales integran una base de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG). De este modo, ha sido posible realizar un análisis espacial con el fin de interpretar la evolución de los paisajes geomorfológicos, detectar los procesos que pueden causar desastres y proponer medidas para su prevención y mitigación.

La cobertura vegetal cubre el 98 % del territorio de la región, formando zonas de selva alta y selva baja, también está comprendida por boques vírgenes, sin embargo, conforma la zona tropical. Para la clasificación se consideró las características de densidad o ausencia de vegetación forestal donde con mayor extensión se tiene los bosques húmedos de colinas bajas y lomadas, seguidos de boques húmedo de terraza alta, bloque húmedo de terraza baja y media, bosque húmedo de montaña, bosque húmedo de colina alta, aguajal, pajonal alto andino, sabana hidrofítica y Cochás. También se consideraron las áreas urbanas y aquellas ocupadas por la minería.

La región está cubierta por sustrato rocoso (82 % de la superficie total de la región), constituida por rocas sedimentarias en gran porcentaje, principalmente en la parte suroeste de la región, intrusivos dispersos en sectores de la parte suroeste de la región. Los materiales más recientes están constituidos por depósitos inconsolidados de origen fluvial, aluvial, coluvial-aluvial y químico (18 %) conforman el relleno de los fondos de valle, así como laderas y vertientes, y la extensa planicie.

El reconocimiento geomorfológico de la región incluye variadas formas de relieve. En algunos casos, se trata de formas antiguas como los relieves aislados, lomadas, colinas y alineaciones montañosas, su origen está ligado a procesos sismo-tectónicos y

erosivos ocurridos a lo largo de su historia geológica y con mayor distribución dentro de la región. También se observan unidades más recientes, como piedemontes, valles fluviales, terrazas aluviales, planicie aluvial sobre los que se asientan algunas ciudades, llanura o planicie inundable, laguna y cuerpos de agua, cochás, barra de arena que recubren sectores de la región.

Las unidades hidrogeológicas se identificaron mediante un análisis de lito-permeabilidades, con el fin de zonificar las formaciones geológicas más favorables al almacenamiento y circulación de aguas subterráneas que afloran en la región Madre de Dios. Se distinguen cinco tipos: acuíferos porosos no consolidados, acuíferos fisurados sedimentarios, acuitardos (intrusivo y sedimentario) y acuícludos.

Los peligros naturales analizados para la región se basan en un análisis histórico, inventario y comprobación de campo. Se tratan en este apartado los peligros geológicos, donde se han identificado e inventariado 225 eventos, según su origen: por movimientos en masa (33.3 %), peligros geohidrológicos (66.2 %) y otros peligros geológicos (0.4 %) y 14 zonas críticas susceptibles a dichos procesos.

Probablemente fueron detonados por lluvias periódicas y/o extraordinarias o como las producidas por el fenómeno El Niño. El inventario indica que en la región son más frecuentes los peligros geohidrológicos como erosión fluvial (40.44 % del total de procesos inventariados), inundación fluvial (25.78 %). En menor proporción también destacan los procesos por movimientos en masa como: flujo de detritos y derrumbes con 15.56 % cada uno, seguido por deslizamientos rotacional y traslacional) y erosión de ladera.

Para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa (deslizamientos, flujos, derrumbes, entre otros), se prepararon mapas temáticos de litología, pendientes, geomorfología, hidrogeología y cobertura vegetal. Luego, se aplicó el método de ponderación de factores (método heurístico) para obtener los rangos de susceptibilidad. Se consideraron cinco categorías: alta y muy alta susceptibilidad (8.1 %), moderada susceptibilidad (14.8 %), baja susceptibilidad (63.9 %) y muy baja susceptibilidad (13.2 %).

De acuerdo con el análisis de susceptibilidad a inundaciones, el 41.1 % de la región Madre de Dios se localiza en áreas con media y alta susceptibilidad a dichos procesos. Las inundaciones, combinadas con la erosión fluvial, son las que afectan principalmente a la población que se encuentra en la vertiente

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

ABSTRACT

This study was carried out in order to contribute to the sustainable development of the region and provides useful geoscientific information for territorial planning in said region to the decision makers, the general population and institutions involved. For this reason, the main focus has been on identifying geological and geohydrological hazards that can cause disasters.

The research has been based on the review of scientific publications, the interpretation of aerial photographs and satellite images, mapping maps of geological hazards at a 1:50 000 scale in Madre de Dios, which integrates a database in a Geographic Information System (GIS). In this way, it has been possible to carry out a spatial analysis with the aim to interpret the evolution of geomorphological landscapes, detect the processes that can cause disasters and propose measures for their prevention and mitigation.

The vegetation coverage includes 98 % of the territory of the region, which forms high jungle and low jungle areas. It is also comprised of virgin forests; however, it forms the tropical zone. For the classification, the characteristics of density or absence of forest vegetation were considered where the humid forests of low hills and hills are found to a greater extent. They are followed by humid forests of high terrace, humid forest of low and medium terrace, humid mountain forest, forest humid of high hill, aguajal, high Andean grassland, hydrophytic savanna and Cochas. Urban areas and those occupied by mining were also considered.

The region is covered by rocky substratum (82 % of the total area of the region), constituted by sedimentary rocks in a large percentage, mainly in the southwestern part of the region, intrusive scattered in sectors of the southwestern part of the region. The most recent materials are made up of unconsolidated deposits of fluvial, alluvial, colluvial-alluvial and chemical origin (18 %) that make up the fill of the valley bottoms, as well as hillsides and slopes, and the extensive plain.

The geomorphological recognition of the region includes several landforms. In some cases, they are ancient forms such as isolated reliefs, hills and mountain alignments, their origin is linked to seismic-tectonic and erosive processes that occurred throughout its geological history and with greater distribution within the region. More recent units are also observed, such as foothills, river valleys, alluvial terraces, alluvial plain on which

some cities are located, plain or floodplain, lagoon and bodies of water, lakes, sand bars that cover sectors of the region.

The hydrogeological units were identified through a litho-permeability analysis, in order to zoning the geological formations more favorable to the storage and circulation of groundwater that emerge in Madre de Dios. Thus, five types are distinguished: unconsolidated porous aquifers, sedimentary fissured aquifers, aquitards (intrusive and sedimentary) and aquiclude.

The natural hazards analyzed for the region are based on historical analysis, inventory, and field testing. This section deals with geological hazards, where 225 events have been identified and inventoried, according to their origin: due to mass movements (33.3%), geohydrological hazards (66.2%) and other geological hazards (0.4%) and 14 susceptible critical areas to these processes.

They were probably triggered by periodic and / or extraordinary rains or like those produced by the El Niño phenomenon. Likewise, the inventory indicates that geohydrological hazards such as river erosion (40.44 % of the total inventoried processes), river flooding (25.78 %) is more frequent in the region. Then, to a lesser extent, processes by mass movements also stand out, such as: debris flow and landslides with 15.56 % each, followed by rotational and translational landslides) and slope erosion.

For the analysis of susceptibility to mass movements (landslides, flows, among others), thematic maps of lithology, slopes, geomorphology, hydrogeology and vegetation cover were prepared. Then, the factor weighting method (heuristic method) was applied in order to obtain the susceptibility ranges. Five categories were considered: high and very high susceptibility (8.1 %), moderate susceptibility (14.8 %), low susceptibility (63.9 %) and very low susceptibility (13.2 %).

According to the flood susceptibility analysis, 41.1 % of Madre de Dios is in areas with medium and high susceptibility to these processes. Thus, floods, combined with river erosion, are those that mainly affect the population that is found on the hydrographic slope of the Pacific, low terraces, and plateaus in the wetlands area. Finally, some alternatives are proposed for handling the problems generated by mass movements in the region.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN

Los movimientos en masa y los peligros geohidrológicos son considerados eventos importantes que ocasionan desastres en cualquier región. Afecta poblaciones, vías de comunicación e infraestructura hidráulica, entre otros. Esto genera altos costos en los trabajos de recuperación de las zonas afectadas. Se suman a estas consecuencias la pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas, así como la interrupción de las actividades socioeconómicas y comerciales. Por esta razón, se considera muy importantes su reconocimiento y evaluación.

El Ingemmet, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), es el ente encargado de la elaboración de estudios de peligros geológicos que afectan el territorio nacional y su incidencia sobre la seguridad física de centros poblados y obras de infraestructura, así como de realizar estudios hidrogeológicos y brindar apoyo a las comunidades. En el marco de estas funciones, en el 2014, se realizó el estudio "Peligros Geológicos en la región Madre de Dios", el cual busca evaluar los problemas de geodinámica externa (peligros geológicos por movimientos en masa y peligros geohidrológicos) que afectan a la región en mención.

La presente memoria es el resultado de los trabajos de gabinete y campo realizados por profesionales de la DGAR. Se pone a consideración de la comunidad científica, profesionales técnicos de la región y autoridades del Gobierno Regional y Gobiernos Locales implicados en temas de prevención de desastres. Además, contribuye al conocimiento de los aspectos físicos, la ubicación de zonas críticas y la susceptibilidad de tener los peligros geológicos por procesos de movimientos en masa a los que se encuentran expuestos los centros poblados y obras de infraestructura. Estos conocimientos, permitirán proponer políticas, programas y acciones de prevención base para la planificación territorial.

1.2 ANTECEDENTES

Existen numerosos estudios e investigaciones que demuestran la recurrencia de procesos por movimientos en masa e inundaciones que han afectado a centros poblados y sectores productivos del departamento de Madre de Dios.

Como parte de los estudios e investigaciones que se utilizaron para la confección del presente boletín, se tienen los estudios de geología regional efectuados por el Ingemmet en esta región entre los años 1963-1993 (boletines Serie A, números 81 106,

107, 113, 121 y 123), que caracterizan la región y determinan los tipos de rocas, sus edades y las potencialidades como recursos minerales. Desde el punto de vista geodinámico, la base de datos sobre peligros de geodinámica externa preparada por la antigua Dirección de Geotecnia del Ingemmet (1997), utilizó información de diversos estudios técnicos, tesis de universidades, información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, reportes periodísticos, etc.

Algunos trabajos anteriores han estudiado la geodinámica y prevención de desastres en la región Madre de Dios, destacando algunas publicaciones del Ingemmet como: el "Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 3 y 4 (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2002 y 2006), así como el reporte de "Zonas críticas por peligro geológico en la región Madre de Dios" (Vilchez, M., Luque, G. & Rosado, S., 2014). Otros estudios que merecen especial atención son los reportes elaborados por otras instituciones como los reportes de Indeci. A continuación, se describen brevemente algunos de estos estudios:

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet) programó para el año 2014 la elaboración del estudio denominado "Peligros Geológicos de la región Madre de Dios" y logró identificar y evaluar la mayor cantidad de problemas de carácter geodinámico (peligros geológicos y geohidrológicos) que afectan a su población, infraestructura, y servicios.

- En el "Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 3" (Ingemmet, 2000), que refiere los sectores críticos por peligros entre los paralelos 12° 00' y 14° 00' de latitud sur, se analizó a escala regional la problemática de los peligros geológicos y 15 poblados fueron señalados en zonas críticas por este tipo de procesos en la región Madre de Dios.
- En el "Estudio de riesgos geológicos del Perú: Franja N° 4" (Ingemmet, 2000), que refiere los sectores críticos por peligros entre los paralelos 10° 00' y 12° 00' de latitud sur, se analizó a escala regional la problemática de los peligros geológicos en la región Madre de Dios.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El alcance principal de este estudio es la evaluación de la susceptibilidad de los peligros geológicos y geohidrológicos en la región Madre de Dios. Esta información es básica y útil en los trabajos de prevención de desastres por fenómenos de origen natural y para el ordenamiento territorial.

La información hidrometeorológica ha sido limitada. Sin embargo, los datos a los que se tuvo acceso los consideramos suficientes para el análisis de precipitaciones y caudales, parámetros importantes en el cálculo de la amenaza a inundaciones y por movimientos en masa.

1.4 PARTICIPACIÓN

En el presente estudio participaron los siguientes profesionales de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo (DGAR) del Ingemmet: Manuel Vilchez, Griselda Luque y Dulio Gómez, en el inventario y evaluación de peligros geológicos, y Walter Parí, encargado del estudio de peligros sísmicos. Todos estos trabajos fueron realizados con el apoyo de Samuel Lu, de la Dirección de Sistemas de Información del Ingemmet.

1.5 OBJETIVOS

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

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Contribuir al conocimiento de los peligros geológicos y geohidrológicos en la región Madre de Dios.
- Complementar el inventario de los peligros geológicos, geohidrológicos y otros peligros de origen natural en la región Madre de Dios (trabajo iniciado con los estudios de riesgos geológicos del Perú: franjas I, II y III).
- Establecer las zonas críticas que puedan ser afectadas por peligros de origen natural.
- Evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa e inundación fluvial.
- Proponer medidas correctivas a tomar para la prevención de desastres.

1.6 METODOLOGÍA

La metodología empleada en el presente estudio consta de tres etapas de trabajo: gabinete I, campo I y gabinete II.

Gabinete I:

Los trabajos de gabinete I o preliminares consistieron en:

- Recopilación y evaluación de información bibliográfica, topográfica, hidrometeorológica, geológica, sísmica, hidrogeológica, uso de suelo, información sobre obras de infraestructura y registro histórico de los desastres.
- Generación de la cartografía básica: utilizando cartas topográficas actualizadas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Preparación de modelo digital de terreno (MDT) con apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y mapa de pendientes.

- Generación de mapas preliminares (litológico, geomorfológico) para su respectiva verificación con los trabajos en campo.
- Interpretación y cartografiado de peligros geológicos, de imágenes satelitales Landsat (TM y ETM), imágenes Google Earth y fotografías aéreas de las regiones.
- Composición del mapa litológico a escala 1:300 000 a partir de la carta geológica actualizada por Ingemmet al 2009.

Campo:

Los trabajos de campo se han efectuado en dos comisiones durante el año 2014, haciendo un total 69 días de trabajo de campo. En dichas salidas se realizaron las siguientes actividades.

- Inventario, caracterización de los peligros geológicos, geohidrológicos y otros peligros de origen natural.
- Identificación y caracterización y definición precisa de las áreas afectadas por antiguos eventos o que se presentan afectadas por movimientos en masa y procesos erosivos e inundación fluvial.
- Evaluación preliminar de la seguridad física de centros poblados, obras de ingeniería no lineal y zonas críticas.
- Caracterización de unidades litológicas.
- Realizar la cartografía para elaborar el mapa geomorfológico.

Gabinete II:

Los trabajos de gabinete II consistieron 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 e geohidrológicos, que permita su incorporación a los SIG.
- Elaboración de mapas temáticos finales: geomorfológicos, litológicos, pendiente, cobertura vegetal, hidrogeología y la composición de mapa de inventario de peligros geológicos.
- Integración de mapas temáticos con apoyo del SIG y análisis de susceptibilidad de los movimientos en masa e inundaciones.
- Determinación de zonas críticas.
- Análisis del peligro sísmico.
- Preparación y redacción del informe final.

1.7 AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los gobiernos locales y provinciales de la región Madre de Dios, a las instituciones públicas (Indeci, ANA, entre otras) y a todos los profesionales que realizaron estudios anteriores en la región Madre de Dios, cuya información ha sido valiosa en la elaboración de este trabajo.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES

2.1 SITUACIÓN DE LA REGIÓN

La región Madre de Dios está situada en la zona surenoriental del territorio peruano, teniendo como puntos extremos las coordenadas geográficas siguientes: norte 09°55'33" y 70°37'59"; este 12°30'11" y 68°39'27"; sur 13°20'04" y 69°38'38"; oeste 11°56'59" y 77°22'27" latitud sur. El territorio comprende zonas de selva alta y selva baja, con alturas que varían alrededor de los 160 m s. n. m., (cerro La Merced, distrito Manu, provincia Manu).

El territorio de Madre de Dios abarca una superficie 85 300,54 km², extensión que representa el 6.64 % del territorio nacional. Sus límites son por el norte con Ucayali y la República de Brasil; por el este con la República de Bolivia; por el sur con Puno y por el oeste con Cusco. Políticamente está dividida en tres provincias: a) Tambopata, formada por cuatro distritos y que tiene como capital la ciudad de Puerto Maldonado (205 m s. n. m.), que es también la capital del departamento; b) Manu, que se subdivide en cuatro distritos y su capital es Salvación. Y Tahuamanu, que posee tres distritos y tiene por capital Iñapari. Según el Censo XII de Población, VII de Vivienda y III de comunidades Indígenas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017), la región cuenta con 141 070 habitantes.

Morfológicamente la provincia constituye un gran bloque depresionado que corresponde a la llanura amazónica (llanura de Madre de Dios), la cual ha estado condicionada por la dinámica de los eventos tectónicos que se desarrollaban en la cordillera subandina. Estos eventos han originado una diversidad de relieves conformados por los sistemas de colinas, planicies aluviales disectadas, llanuras de inundación, que se formaron en diferentes períodos geológicos. A consecuencia del levantamiento andino, se originó una gran zona depresionada o llamada también mega cuenca de sedimentación, la cual era rellena por la acumulación de sedimentos provenientes de las zonas cordilleranas, producto de las fuerzas exógenas (erosión y meteorización) que actuaban con gran intensidad. El resultado de estos procesos ha generado variadas geoformas (Palacio, Molina, Galloso & Reyna, 1996).

Dentro del territorio de Madre de Dios se puede diferenciar la selva alta y la selva baja. Sus climas también varían de acuerdo con estas alturas, pero en el caso de esta región no existen diferencias importantes. La temperatura media anual de la región de Madre de Dios es 25.6 °C. Para el año 2009 se pronosticó un descenso de las temperaturas a causa de friaje, con temperaturas incluso menores a los 11 °C, un fenómeno inusual en la región. Generalmente, la región goza de un clima tropical cálido y con alto grado de humedad. La época de lluvias se da desde noviembre hasta abril.

Debido a los contrafuertes de la cordillera de Carabaya, su territorio se torna accidentado en el sector meridional. Mientras que por las zonas centro y norte, ya dominio de la selva baja, encontramos un relieve conformado en su mayoría por llanuras sin accidentes de consideración. Son llanuras que, formadas por la erosión de la lluvia, presentan hasta cuatro niveles de terrazas. Aquellas de los niveles más bajos son generalmente pantanosas, debido a las inundaciones a las que son sometidas anualmente. En la zona donde se encuentran las nacientes del río Manu, hacia el oeste de la región, aparecen colinas de poca elevación que sirven como límites de agua entre los ríos Madre de Dios y Urubamba. En estas colinas está el Istmo de Fitzcarrald, denominado así en homenaje a su descubridor.

El territorio íntegro de la región es atravesado por una densa red hidrográfica que posee como eje principal al río Madre de Dios, apto para la navegación y cercado por una importante riqueza forestal. Otros ríos importantes de la zona son el Manu, el Tahuamanu, el Tambopata, el Inambari y el Heath.

Hermosos lagos decoran la geografía de esta región. Entre estos destaca el lago de Sandoval, lugar excepcional para observar una gran diversidad de fauna salvaje, ubicado a una hora de la ciudad de Puerto Maldonado. A 60 km de la capital se encuentra el lago Valencia, el más grande de la región y uno de los más importantes puntos de concentración de fauna en la zona. Entre otros lagos resaltan el de las tres Chimbadas, el Chorrillos y el Túpac Amaru.

2.2 OCUPACIÓN ANTRÓPICA

Madre de Dios es la única región de la amazonía peruana que aún mantiene territorios inexplorados y selva vírgenes, en particular dentro de las reservas naturales que se han creado para la mejor conservación y protección del patrimonio ecológico. Entre estas se encuentran la famosa Reserva del Manu, la Zona Reservada Tambopata- Candamo, el Santuario de las Pampas del Heath y el Parque Nacional Bahuaja-Sonene. De otro lado, cabe destacar la presencia de algunas civilizaciones que lograron notables avances culturales como aquella que produjo los sorprendentes petroglifos de Pusharo.

No hay duda de que la historia de la ocupación cultural de Madre de Dios es de las menos conocidas del país. Parece haber fundadas razones para sostener que gran parte del territorio de esta región fue ocupado, por cuestiones militares, agrícolas y exploratorias, por continuas avanzadas de exploradores incas. Se sabe que los incas decidieron incluir a Madre de Dios dentro del nuevo territorio económico, al cual denominaron Antisuyo, que hasta entonces había sido habitado por algunos pueblos primitivos de procedencia étnica variada, a los que en lengua quechua se los empezó a conocer como "chunchos".

2.2.1 Densidad poblacional

El departamento de Madre de Dios tiene el territorio menos habitado del Perú, de acuerdo con el XII Censo Nacional

de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017; suman 141 070 personas, que equivalen al 0.4 % en el ámbito nacional, cantidad que equivale a un crecimiento promedio anual de 7.6 % con respecto al censo del 2007).

Según el Censo Nacional 2017, en el departamento de Madre de Dios el 47.7 % son mujeres y el 52.3 % hombres. La provincia más habitada es Tambopata, donde se ubica la capital, que alberga el 79.0 % de la población con 111 474 habitantes, seguida de la provincia Manu con 18 549 habitantes (13.1 %) y, finalmente, la provincia Tahuamanu, con 11 047 habitantes (7.8 %), según se muestra en el cuadro 2.1.

La densidad poblacional de Madre de Dios es 1.3 Hab/km², ocupa el último puesto en el país y es inferior al promedio nacional (24.3 Hab/km²). En el departamento el incremento de la densidad de la población, desde 1940 al 2017, es de 5.1 número de veces. El 82.8 % vive en áreas urbanas y el 17.2 % en áreas rurales (cuadro 2.2). Las provincias que agrupan la mayor población del área urbana del departamento es Tambopata (91.6 %) y las provincias con menor población urbana es Manu (49.1 %). En el área rural, la provincia Manu (50.9 %) concentra la mayor población rural y Tambopata (8.4%) la menor población rural; mientras que la provincia de Tahuamanu mantiene una equidad entre población urbana y rural.

Cuadro 2.1
Provincias y distritos de la región Madre de Dios

Distritos	Población	Superficie (km ²)	Hombre	Mujer
Madre de Dios	141 070	85 300.54	73 828	67 242
Tambopata	111 474	36 268.49	57 632	53 842
Tambopata	81 925		4 2182	39 743
Las Piedras	12 644		6595	6049
Inambari	11 570		6071	5499
Laberinto	5335		2784	2551
Manu	18 549	27 835.17	10 058	8491
Manu	2356		1274	1082
Fitzcarrald	1402		725	677
Madre de Dios	6217		3319	2898
Huaypetuhe	8574		4740	3834
Tahuamanu	11 047	21 196.88	6138	4909
Iñapari	2391		1389	1002
Iberia	5791		3159	2632
Tahuamanu	2865		1590	1275

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas

Cuadro 2.2
Población censada urbana y rural, según provincia, 2017

Provincia	Total	Urbana		Rural	
		Población censada	%	Población censada	%
Total	141 070	116 743	82.8	24 327	17.2
Tambopata	111 474	102 117	91.6	9357	8.4
Manu	18 549	9105	49.1	9444	50.9
Tahuamanu	11 047	5521	50	5526	50

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas

Del gráfico 2.1 se puede analizar la evolución de la población. Se refleja en la forma de una pirámide poblacional. En décadas anteriores, esta población presentaba una base ancha y un vértice angosto. Desde el censo 2007, la base se ha ido reduciendo y mostrando un ensanchamiento progresivo hacia el vértice. El censo 2017 presenta una base más reducida y un ensanchamiento progresivo en los centros, que da cuenta de un menor número de nacimientos y mayor población en edad activa. Asimismo, se observa mayor proporción en la población adulta mayor. Al comparar los censos 2007 y 2017, se observa que decrece la población comprendida en los grupos de 0 a 4 y

de 10 a 24 años que muestran un comportamiento decreciente tanto para hombres como para mujeres.

Asimismo, se observa un incremento considerable en los grupos de edad de 5 a 9 y de 30 a 34 años en ambos sexos; y en los grupos comprendidos de 25 a 29 y de 35 a 49 años, el crecimiento se dio solamente en la población femenina.

A partir del grupo de 50 a 54 años, se observa un incremento progresivo de la población lo que indica que existe un aumento de las personas adultas, este aumento es tanto de hombres como de mujeres.

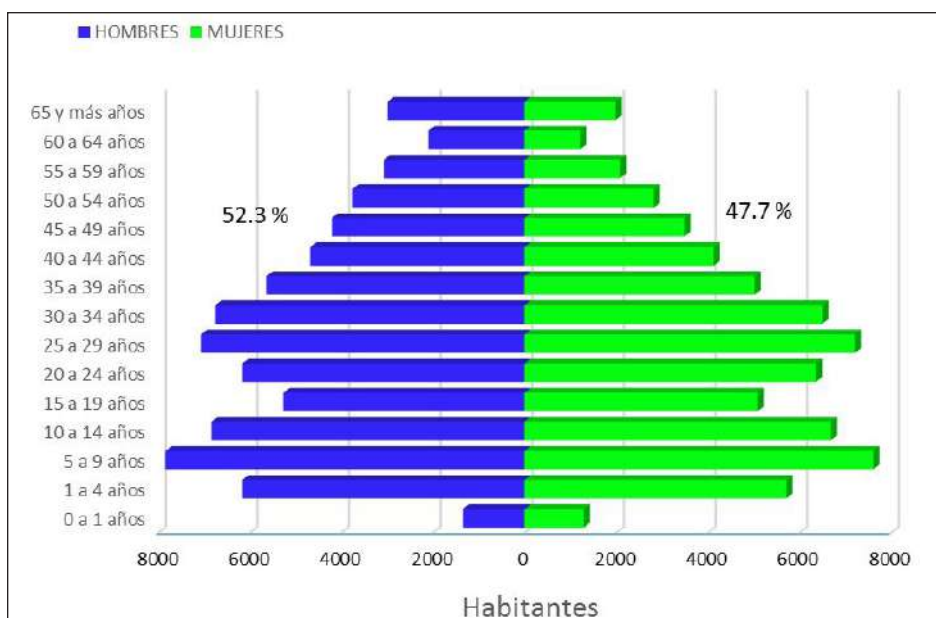


Gráfico 2.1 Edad en grupo quinquenales, según sexo, del departamento de Madre de Dios
Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas

2.2.2 Crecimiento poblacional

De acuerdo con el Censo Nacional 2017, en el cuadro 2.3 se muestra que la provincia que concentra la mayor cantidad de habitantes es Tambopata, con 111 474 personas, agrupa la mayor cantidad de habitantes del departamento (79.0 %). Le sigue la provincia de Manu, que alberga a 18 549 habitantes (13.1 %), mientras que la provincia Tahuamanu es la menos poblada, con 11 047 habitantes (7.8 %).

En el periodo intercensal 2007-2017, se observa que la tasa de crecimiento promedio anual es mayor en la provincia Tambopata, con aumento de la población de 42.0 %, que crece a un ritmo promedio anual de 4.2 % y en la provincia de Tahuamanu el incremento es de 2.8 % y una tasa de crecimiento anual de 0.3 %. Por el contrario, la provincia de Manu registró un incremento intercensal negativo (8.6 %) y una tasa de crecimiento también negativo (-0.9 %).

Cuadro 2.3
Crecimiento Poblacional, según provincia, 2017

Provincia	2007		2017		Variación Intercensal 2007-2017		Tasa de crecimiento promedio anual
	Población censada	%	Población censada	%	Absoluto	%	
Tambopata	78 523	71.7	111 474	79	32 951	42	4.2
Manu	20 290	18.5	18 549	13.1	-1741	-8.6	-0.9
Tahuamanu	10 742	9.8	11 047	7.8	305	2.8	0.3

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas

Al observar el comportamiento de la población censada en el 2007 y 2017, en el gráfico 2.2 se tiene un aumento de población

de 28.8 %, que es equivalente a 31 515 habitantes. Ha crecido a un ritmo anual de 2.9 %.



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

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

En los últimos setenta años, la población rural ha mostrado una tendencia a disminuir (1940-2017). Sin embargo, mediante las proyecciones realizadas de acuerdo con el censo (gráfico 2.3), se ha confirmado la tendencia creciente y decreciente para la parte

urbana y rural, respectivamente. Es así que para el año 2017 se muestra una población mayoritariamente urbana con 82.8 % y solo el 17.2 % corresponde a la población rural.

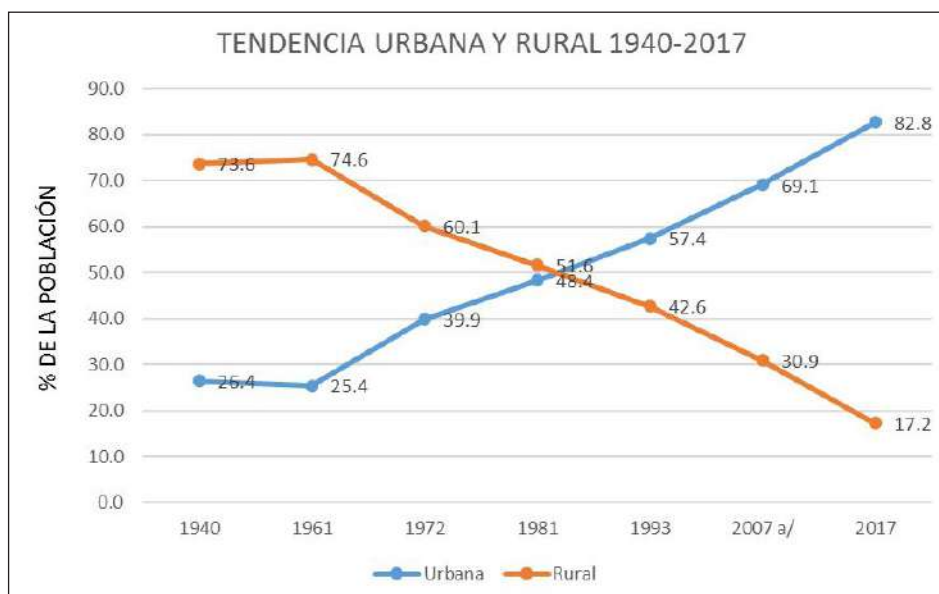


Gráfico 2.3 Tendencia urbana y rural de la región Madre de Dios

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

2.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS

2.3.1 Indicadores de pobreza

Las tasas de pobreza monetaria en el departamento de Madre de Dios en el año 2017 fluctúan entre 2.1 % y 14.6 %, es decir, tenía un nivel de gasto inferior al costo de la canasta básica de consumo compuesto por alimentos y no alimentos.

Madre de Dios se encuentra en el quinto grupo, de acuerdo con la distribución realizada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática 2018^a) en la evolución de la pobreza monetaria 2007-2017 (cuadro 2.4). En el primer nivel, con incidencia de pobreza más alta, que fluctúa entre 43.1 % y 52.0 %, se

encuentra el departamento de Cajamarca. En el segundo grupo, con tasas de pobreza que se ubican entre 33.3 % y 36.8 %, están ocho departamentos: Amazonas, Apurímac, Ayacucho, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Pasco y Puno. En el tercer grupo de departamentos, con incidencia de pobreza entre 23.0 % y 26.2 %, se encuentran seis departamentos: Áncash, Cusco, Junín, La Libertad, Piura y San Martín. En el cuarto grupo, con tasas de pobreza que se ubican entre 12.1 % y 14.6 %, se encuentran los departamentos de Arequipa, Lambayeque, Moquegua, Provincia Constitucional del Callao, Provincia de Lima, Región Lima, Tacna, Tumbes y Ucayali. En el último grupo, con las tasas de pobreza más baja de 2.1 % y 4.8 %, se encuentran Ica y Madre de Dios.

Cuadro 2.4

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

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

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

Fuente: INEI, Encuesta Nacional de Hogares, 2007-2017

En el año 2017 la pobreza extrema afectó al 3.8 % de la población del país. Para la pobreza extrema se determinó cinco grupos de departamentos con niveles de pobreza extrema semejantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018a), donde Madre de Dios se encuentra en el quinto grupo, con una de las tasas más bajas de pobreza extrema (cuadro 2.5). El primer grupo lo integra Cajamarca, con tasa de pobreza extrema entre 13.5 % y 20.5 %. El segundo grupo de departamentos, con tasas de pobreza extrema entre 7.4 % y 10.2 %, se encuentran: Amazonas, Huancavelica, Loreto y Puno. En el tercer grupo de departamentos, con tasas de pobreza extrema, que se ubican entre 4.7 % y 6.5 %, se encuentran: Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Junín, Pasco y Piura. El cuarto grupo de departamentos, con tasas de pobreza extrema entre 2.9 % y 4.4 %, lo integran: Áncash, Cusco, La Libertad, San Martín y Ucayali. Finalmente, el quinto grupo de departamentos, conformado por Arequipa, Ica, Lambayeque, Madre de Dios, Moquegua, Provincia Constitucional del Callao, Provincia Lima, Región Lima, Tacna y Tumbes, tienen las más bajas tasas de pobreza extrema. Del análisis precedente, se plantea que los espacios provinciales y distritales con mayor incidencia de pobreza requieren ser incluidos con prioridad en los planes de desarrollo y asistencia, con el propósito de que mejoren sus condiciones de vida mediante el acceso a los mercados y su participación en las actividades productivas y de servicios. Ello significa que, para superar gradualmente la pobreza localizada, se precisa contar con vías de comunicación terrestre en mejor estado.

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

2.3.2 Indicadores de viviendas

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda del año 2017, existen 51 498 viviendas particulares. De este total, el mayor porcentaje se registra en las casas independientes con 83.0 % (42 720) con menor porcentaje, las viviendas en casa de vecindad con 8.3 % (4295), viviendas en quintas con 5.1 % (2629); mientras que las chozas o cabañas, viviendas en departamentos en edificio, vivienda improvisada y locales no destinados para habitación humana representan en conjunto el 3.6 %. Al comparar los censos 2007 y 2017, se observa un incremento intercensal significativo a nivel porcentual de las viviendas que son departamentos en edificios (177.5 %) y las viviendas en quinta (167.7 %) con una tasa de crecimiento promedio anual de 10.7 y 10.3 respectivamente. En tanto que, las viviendas de otro tipo y las chozas o cabañas tuvieron una variación intercensal negativa de 100.0 % y 66.9 %, respectivamente.

Cuadro 2.5
Vivienda y tipo de vivienda en el departamento de Madre de Dios, 2017

Tipo de vivienda	Total	Urbana		Rural	
		Viviendas	%	Viviendas	%
Casa independiente	42 720	33 624	78.7	9096	21.3
Departamento en edificio	505	498	98.6	7	1.4
Vivienda en quinta	2629	2586	98.4	43	1.6
Vivienda en casa de vecindad	4295	4230	98.5	65	1.5
Choza o cabaña	775	--	0	775	100
Vivienda improvisada 1/	460	445	96.7	15	3.3
Local no destinado para habitación humana	114	95	83.3	19	16.7

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

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas

2.3.3 Indicadores de educación

Los resultados del censo 2017, según el nivel educativo (cuadro 2.6), muestran que el mayor porcentaje de la población de 15 y más años alcanzó a estudiar algún año de educación secundaria (48.7 %) seguido de aquellos que lograron estudiar algún año de educación superior (29.9 %). Al comparar los censos 2007 y 2017, se aprecia que la proporción de personas con nivel de educación secundaria ha mejorado en el 2017 con respecto al 2007. Así, la población que alcanzó a estudiar algún año de educación secundaria pasó de 33 224 personas en el 2007 a 47 536 en el 2017. De otro lado, el porcentaje de la población que estudió algún año o grado de educación primaria disminuyó de 18.5 % en 2007 a 18.3 % en el 2017. Asimismo, también decreció la población con estudio superior (no universitaria y universitaria) de 32.6 % a 29.9 %.

En el censo 2007, la población sin nivel educativo y la que estudió por lo menos algún año de educación inicial y primaria representó el 23.3 %, mientras que en el censo 2017, esta población constituyó el 21.4 %. Por área de residencia, la población de 15 y más años del área urbana obtuvo mayor acceso a la educación superior que los habitantes del área rural. Así, el 32.6 % de la población del área urbana alcanzó algún año de educación superior, mientras que en el área rural solo el 16.8 % logró este nivel educativo. Asimismo, el 48.2 % de los habitantes del área urbana estudió algún año de educación secundaria, en tanto que, en el área rural el 51.4 % alcanzó este nivel. Con relación a la población sin nivel de educación, en el área urbana representó el 2.3 % y en el área rural el 5.3 %.

Cuadro 2.6
Población censada de 15 y más años, según nivel educativo alcanzado 2017

Nivel educativo	Total	%	Urbana		Rural	
			Población censada	%	Población censada	%
Total	97 580	100	80 856	100	16 724	100
Sin nivel	2735	2.8	1845	2.3	890	5.3
Inicial	293	0.3	264	0.3	29	0.2
Primaria 1/	17 825	18.3	13 433	16.6	4392	26.3
Secundaria	47 536	48.7	38 931	48.1	8605	51.5
Superior	29 191	29.9	26 383	32.6	2808	16.8
Superior No Universitaria	12 730	13	11 110	13.7	1620	9.7
Superior Universitaria 2/	16 461	16.9	15 273	18.9	1188	7.1

1/ Incluye educación básica especial

2/ Incluye maestría y doctorado

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas

2.3.4 Indicadores de Salud

Uno de los principales indicadores de la oferta de la salud son los recursos humanos (médicos, obstetras y enfermeras) y de

infraestructura. En el 2018, los recursos humanos del sector salud en el departamento de Madre de Dios fue como se puede ver en el cuadro 2.7.

Cuadro 2.7

Profesionales de la salud en el departamento de Madre de Dios

Departamento	Total	Medico	Enfermera/o	Obstetra	Odontólogo	Otros Profesionales de la Salud	Técnicos especializados
Perú	138 564	43 805	50 099	17 190	61 51	20 852	467
Madre de Dios	797	161	303	138	49	145	1
%	100	20.2	38	17.3	6.1	18.2	0.1

Fuente: Base Datos Nacional de recursos humanos del MINSA y Gobiernos Regionales 2013-2018

A pesar de que Madre de Dios no cuenta con una buena infraestructura en salud, algo menos de la mitad de su población carece de este seguro, 31.97 % que equivale a 45 100 personas. El 68.03 % de la población de la región de Madre de Dios cuenta con algún tipo de seguro, es decir, 95 970 personas. En

el periodo entre el 2007-2017, la cobertura de seguro de salud en Madre de Dios se incrementó en 140.9 %, que equivale a 56 136 personas, con una tasa de crecimiento anual de 14.1 % (cuadro 2.8).

Cuadro 2.8

Población censada del departamento de Madre de Dios con seguro, 2007-2017

Departamento	Censo 2007			Censo 2017			Valor intercensal 2007-2017	%	Tasa de Crecimiento promedio anual
	Población Total	Población con seguro	%	Población Total	Población con seguro	%			
Madre de Dios	109 555	39 834	36.4	141 070	95 970	68	56 136	140.9	14.1

Fuente: INEI Censos Nacionales de población y vivienda 2007 y 2017

En Madre de Dios el 48.1 % está afiliado al Seguro Integral de Salud (SIS), el 17.7 % al Seguro Social de Salud del Perú

(EsSalud), el 1.1 % al Seguro de las Fuerzas Armadas o Policiales, y el 1.4 % a otros seguros (cuadro 2.9).

Cuadro 2.9

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

Departamento	Total	Tipo de seguro de salud									
		Seguro Integral de Salud (SIS)	%	EsSalud	%	Seguro de fuerzas armadas o policiales	%	Otros Seguros	%	Ninguno	%
Madre de Dios	141 070	67 907	48.1	25 001	17.7	1549	1.1	1992	1.4	45 100	32

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas

2.3.5 INDICADORES DE ECONOMÍA

Las actividades primarias reportaron resultados mixtos en enero de 2020. El sector minería disminuyó 34.2 % y el sector pesca 13.2 %. Sin embargo, el sector agropecuario aumentó 8.7 %. En otros indicadores de la actividad económica del departamento, la inversión pública mostró un crecimiento de 163.3 % y el crédito se incrementó en 7.1 %, debido a la expansión de los créditos a personas (8.9 %) y a empresas (6.1 %).

El sector agropecuario mejoró 8.7 % interanual en enero del año 2020, explicado por una mayor producción de yuca, papaya, plátano y maíz amarillo duro.

El sector pesca decreció 13.2 % interanual en enero de 2020, resultado de un menor desembarque de yahuarachi, zúngaro y paco. En cambio, hubo una mayor producción de boquichico.

La actividad minera se contrajo en 34.2 % interanual en enero asociado a los menores niveles de extracción de oro.

Sector agropecuario

La producción agropecuaria se expandió 8.7 % en enero, explicado por una mayor producción del subsector agrícola (14.7 %).

La expansión del subsector agrícola (14.7 %) se debió a la mayor producción de cultivos orientados al mercado interno (20.3 %) y, al mercado externo y agroindustria (5.0 %). En el primer grupo, se registró una mayor producción de yuca (25.3 %), papaya (16.9 %) y plátano (13.0 %); y en el segundo grupo aumentó la producción de cacao (13.6 %) y maíz amarillo duro (4.5 %).

Contrariamente, el subsector pecuario disminuyó levemente (-0.5 %).

Cuadro 2.10
Sector agropecuario 1/

Subsectores	Estructura Porcentual 2018 2/	Enero			
		2019	2020	Var. %	Contribución al crecimiento 3/
Agrícola	59.6			14.7	8.9
Orientada al mercado externo y agroindustria 2/	12.7			5	1.1
Maíz amarillo duro	8.5	4.4	4.6	4.5	1
Cacao	3.6	0	0	13.8	0.1
Caña de azúcar	0.1	0.1	0.2	103.3	0
Achiote	0	0	0		
Café	0	0	0		
Mango	0.1	0	0		
Palta	0.4	0	0		
Orientada al mercado interno 2/	46.9			20.3	7.8
Brachiaria	20.6	62.7	82.1	30.9	5
Yuca	3.3	1.3	1.7	25.3	0.8
Plátano	6.6	2.2	2.5	13	0.7
Papaya	8.5	1.9	2.2	16.9	0.7
Piña	1.4	0.4	0.4	23.4	0.2
Pasto yaragua	0.4	1.4	2.3	57.2	0.2
Uncucha	0.2	0	0.1	106.1	0.1
Arroz cáscara	3.8	1.1	1.1	-2	-0.1
Pecuario	40.4			-0.5	-0.2
Sector Agropecuario	100			8.7	8.7

1/ Cifras preliminares

2/ Estimado a precios del 2007

3/ Con base en la estructura similar periodo 2019

Fuente: Minagri

Elaborado BCRP, Sucursal Cusco, Departamento de Estudios Económicos

Las siembras de la campaña agrícola 2019/2020 alcanzaron 11 191 hectáreas, extensión mayor en 6.7 % respecto a similar periodo de la campaña anterior. El incremento estuvo asociado a una mayor superficie sembrada de cultivos transitorios como: yuca (27.6 %) y maíz amarillo duro (7.1 %). Asimismo, en los cultivos permanentes y semipermanentes hubo un incremento de la instalación de plátano y brachiaria (645.9 %).

Sector pesca

La actividad pesquera decreció 13.2 % interanual en enero, como consecuencia de un menor desembarque de yahuarachi (-47.4 %), zúngaro (-36.3 %) y paco (-11.5 %), y fue contrarrestada en parte por una mayor producción de boquichico (115.8 %).

Cuadro 2.11
Sector Pesca 1/

Subsectores	Enero		
	2019	2020	Va. %
Consumo Humano Directo (CHD)			
Fresco	45	39	-11.8
Sector Pesca 2/			-13.2

1/ Cifras preliminares

2/ Estimado al precio de 2017

Fuente: PRODUCE

Elaboración: BCRP, Sucursal Cusco, Departamento de Estudios Económicos

Sector minería

La producción minera se contrajo en 34.2 % interanual en enero. La producción de oro descendió de 24 830 onzas troy en

enero de 2019 a 16 343 onzas troy en enero de 2020. El precio promedio mensual del oro se ubicó en US\$/oz.tr. 1 558.7; mayor en 5.4 % respecto al mes previo (US\$/oz.tr. 1 478,6).

Cuadro 2.12
Sector Minería 1/

Mineral	Estructura porcentual 2018 2/	Enero			
		2019	2020	Var. %	Contribución 3/
Oro (Onza troy)	100	24 830.0	16 343.0	-34.2	-34.2
Sector Minería 2/	100			-34.2	-34.2

1/ Cifras preliminares

2/ Estimado a precios de 2007

3/ Con base en la estructura de similar periodo de 2019

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

Elaboración: BCRP, Sucursal Cusco, Departamento de Estudios Económicos

2.4 INFRAESTRUCTURA MAYOR

2.4.1 Infraestructura de transporte

La infraestructura se relaciona directamente con la producción. Estimula el crecimiento económico porque se trata de un factor fundamental para la realización de las actividades privadas, dado que mejora la productividad del capital, que resulta ser más importante cuanto mayor sea la complementariedad entre la infraestructura y la inversión productiva de las empresas.

Según reporta el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), a 2017, en infraestructura destaca lo siguiente:

- Infraestructura vial comprende: 399.3 kilómetros de carreteras de la red vial nacional (100.0 % pavimentada); 208.8 kilómetros de carreteras de red vial departamental (1.8 % pavimentadas); y 1 383.5 kilómetros de la red vial vecinal (1.7 % pavimentadas).
- Infraestructura aérea: está constituida por el aeropuerto "Padre Aldamiz", ubicado en la ciudad de Puerto Maldonado

(concesionado), y el aeródromo de Iñapari administrado por la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC).

- Infraestructura portuaria: un puerto fluvial, ubicado en la ribera del río Madre de Dios, en la ciudad de Puerto Maldonado, administrado por la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU).
- Infraestructura en telecomunicaciones: cuenta con 6886 líneas en servicio de telefonía fija, 155 746 líneas en servicio de telefonía móvil y 388 líneas en servicios de telefonía pública en 2017. La densidad de líneas en servicio de telefonía fija fue de 4.8 líneas por cada 100 habitantes, en servicio de telefonía móvil fue de 108.4 líneas y en servicios de telefonía pública fue de 0.3 líneas.

2.5 CLIMA

El período más lluvioso ocurre entre los meses de diciembre-marzo, con un promedio mensual de 200 a 300 mm para el sector nororiental y de 850 a 900 mm para el sector suroccidental.

La temperatura presenta incremento de suroeste a noreste. Así, en el sector suroccidental, correspondiente a las estribaciones de la sierra de Carabaya, la temperatura promedio anual es de unos 23 °C, mientras que en el sector nororiental la temperatura se eleva a unos 26 °C como promedio anual. Estas características estarían obedeciendo a factores de orden topográfico y de altitud.

La humedad relativa, al igual que la precipitación pluvial, se incrementa de noreste a suroeste. Así, en el sector nororiental es alrededor de 72 % promedio anual, mientras que, en el sector suroccidental, dicho promedio es alrededor de 79 %. La relación con la precipitación pluvial es directa. En las estribaciones de la cordillera de Carabaya, al haber una alta precipitación pluvial, la humedad es también relativamente alta.

Los vientos predominantes en Puerto Maldonado provienen del norte y alcanzan su máxima intensidad en las estaciones de verano y primavera. Asimismo, hay vientos de dirección este que en otoño alcanzan una regular intensidad. En esta zona, estos vientos empujan las masas de aire cálido y vientos generados por fuerte evaporación hasta producir las lluvias que se incrementan conforme ascienden por las estribaciones de la sierra de Carabaya. En Quincemil los vientos predominantes provienen del este y alcanzan su máxima intensidad en otoño y su mínima en primavera (Chávez, Salas, Cuadros & Gutiérrez, 1998; Romero, Morales & Carpio, 1998).

Clima subhúmedo y cálido

Este tipo de clima es deficiente en lluvias tanto en invierno como en otoño y sin cambio térmico invernal bien definido. En

la zona de estudio se presenta en una pequeña área, ubicada en el extremo nororiental de la localidad de Puerto Maldonado. Se caracteriza por su baja pluviosidad (1700 mm promedio), con una temperatura tropical de 26 °C promedio, así como una humedad relativa que oscila de 70 a 75 % promedio anual. Los vientos predominantes son del norte y este.

Entre los meses de mayo y septiembre se pueden presentar uno o más días con temperaturas mínimas extremas que oscilan entre 6 °C y 12 °C. Estas temperaturas frías se deben a la presencia de vientos procedentes del Atlántico Sur.

Clima húmedo y cálido

Este clima tiene influencia en el sector nororiental del área de trabajo, principalmente en la denominada llanura. Comprende los poblados de Colorado, Laberinto y parte de los poblados de Puerto Luz, Puerto Maldonado, Astillero y Tambopata. Las características más saltantes son su regular pluviosidad (2500 – 3000 mm promedio) y una temperatura tropical promedio del orden de los 25 °C; la humedad relativa varía entre 75 y 78 %, y los vientos predominantes procederían del norte y este, principalmente.

Clima muy húmedo y semicálido

Este tipo de clima carece de una estación seca bien definida y más bien ocurre en un invierno benigno. Afecta al sector suroccidental, en las estribaciones de la cordillera oriental y faja Subandina, a manera de una faja de dirección sureste-noroeste. Comprende los sectores del poblado de Quincemil y Masuco, así como la parte sur de los poblados de Astillero, Tambopata, Puerto Luz y el extremo suroccidental de Colorado.

Sus características más importantes son su alta pluviosidad (4000 mm promedio) y una temperatura tropical de 23 °C en promedio; la humedad relativa varía entre 78 y 80 % y los vientos predominantes provienen del noreste y este.

2.6 HIDROGRAFÍA

El área que corresponde a este estudio se ubica en la cuenca hidrográfica del río Madre de Dios, el mismo que se constituye en el principal colector de la región. Sus principales tributarios son los ríos Colorado, Inambari y Tambopata por la margen derecha, y los ríos de Los Amigos y Heath por la margen izquierda.

Río Madre de Dios

El río Madre de Dios discurre paralelo a las estructuras regionales que conforman las sierras de Carabaya y Marcapata. Se origina aguas arriba por la confluencia de los ríos Inambari y Colorado en las alturas del Manu y Alto Madre de Dios. Este no sigue una dirección predominante de oeste a este, sino que

se desplaza por la llanura donde forma una sucesión de curvas que conforman los meandros, los mismos que por efecto de la erosión se van estrangulando y dejan una serie de aguajales y meandros abandonados, los que se constituyen en áreas inundables.

La ciudad de Puerto Maldonado se ubica en la margen derecha y cerca de la confluencia de otro gran río y colector de aguas que es el río Tambopata. Luego, el río Madre de Dios se prolonga hasta las fronteras con Brasil y Bolivia, con prescindencia cada vez mayor de los meandros abandonados y la formación de islas.

Este río tiene en territorio peruano un recorrido longitudinal de aproximadamente 400 km, apropiado para la navegación de embarcaciones de 1 a 15 pies de calado, con motores fuera de borda.

El sistema de drenaje que se forma entre el río Madre de Dios y sus tributarios es un patrón rectangular. Estos son en su mayoría del tipo consecuente, es decir, noreste-suroeste. Los tributarios de la margen derecha están próximos a la faja Subandina, de donde se inicia una topografía abrupta, por lo que no han alcanzado una mayor evolución en su desarrollo. Descienden con velocidad y fuerte erosión. En cambio, los tributarios de la margen izquierda discurren en una topografía de penillanura, constituida por colinas y sobre un terreno arcilloso; su desarrollo es amplio, con baja velocidad y escaso poder de erosión. Estos forman meandros.

Las características generales de los principales tributarios del río Madre de Dios son:

Tributarios por la margen derecha

- **Río Colorado.** Este río nace en las alturas de Atalaya y Pilcopata. Recibe más abajo las aguas del río Puquiri, el que a su vez baja desde las alturas de Huepetuhe, en un recorrido de sureste a noreste. Se caracteriza por tener un cauce trenzado con canales que forman islas alargadas en el mismo sentido. Aguas abajo de la Boca de Puquiri, el río Colorado se hace navegable hasta su desembocadura en el río Madre de Dios, donde se ubica la localidad de Colorado.
- **Río Inambari.** Es uno de los principales afluentes por la margen derecha del río Madre de Dios. Nace en la sierra de Carabaya y primero sigue un alineamiento de sureste a noroeste. A partir de su unión con el río Marcapata, toma un rumbo primero norte-sur para luego hacer una curva y enrumbar al este, hasta la desembocadura en el río Madre de Dios. Es en esta parte baja donde alcanza su mayor desarrollo. En el tramo medio y alto de este río las direcciones de su recorrido obedecen a alineamientos de fallas que condicionan el emplazamiento del cauce.

- **Río Tambopata.** Es el mayor afluente por la margen derecha. Se origina en la sierra de Sandía y Carabaya. Se alinea primero con un rumbo sur-norte, coincidente al alineamiento de fallas, y rumbo suroeste-noreste hasta su desembocadura en el río Madre de Dios a la altura de Puerto Maldonado. En este tramo, el río discurre a través de una penillanura con grandes curvas que forman meandros. Este río es navegable entre Puerto Maldonado y Astillero, con embarcaciones pequeñas, lanchas y otras.
- **Río Heath.** Por la margen derecha, este río es de los últimos afluentes en el territorio peruano. Nace en las estribaciones bajas de la sierra de Sandía y San Juan del Oro. Se constituye más abajo en el límite internacional entre Perú y Bolivia. Discurre con una dirección norte-sur a través de una penillanura en un terreno arcilloso que forma meandros.

Tributarios por la margen izquierda

- **Río de Los Amigos.** Este río discurre en una penillanura con una característica fuertemente meandriforme y toma un rumbo noroeste-sureste. Tiene a su vez como principal afluente por su margen derecha al río Masheo. El río de Los Amigos forma también meandros. Alcanza su desembocadura en el río Madre de Dios, aguas abajo de la localidad de Puerto Tahuantinsuyo.
- **Río de las Piedras.** Es el principal afluente por la margen izquierda del río Madre de Dios, que desemboca a la altura de Puerto Maldonado. Su recorrido es predominantemente noroeste-sureste y va formando meandros; discurre en un terreno areno-arcilloso. Es navegable sobre todo en época de lluvias.

2.7 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Entre las áreas naturales se encuentran las siguientes:

Parque Nacional Bahuaja-Sonene. Localizado a 90 km de la ciudad de Puerto Maldonado (4 a 5 horas en bote). Este parque nacional fue establecido para proteger la única sabana húmeda tropical existente en el Perú. El parque se ubica entre las regiones Madre de Dios y Puno, en las provincias de Tambopata, Carabaya y Sandía. Tiene una extensión de 1 091 416 hectáreas. Entre los animales más importantes que pueden encontrarse destacan el lobo de crin, el ciervo de los pantanos, el oso hormiguero gigante, el lobo de río o nutria gigante, el perro de monte, el lagarto negro y el águila arpía.

Reserva Nacional de Tambopata. Localizada a 45 km al sur de la ciudad de Puerto Maldonado (2 horas en bote a motor). Se encuentra entre las cuencas del río Tambopata y del río Heath. La reserva tiene una extensión de 274 690 hectáreas y abarca las regiones de Madre de Dios y Puno. Cuenta con una

incalculable riqueza en biodiversidad, pues se han registrado 632 especies de aves, 1200 de mariposas y 169 de mamíferos, 205 de peces, 103 de anfibios y 67 de reptiles. Presenta la flora típica de las regiones tropicales.

Dentro de la Reserva Nacional de Tambopata y a 150 km de la ciudad de Puerto Maldonado (12 horas en bote), se encuentra la colpa de Guacamayos de Colorado.

La colpa es un punto de reunión de guacamayos formada en las riberas del río gracias a los procesos de erosión, que permitieron el surgimiento de suelos ricos en sales minerales. En esta zona se encuentran seis diferentes especies de guacamayos, loros y pericos. Ocasionalmente, acuden también sachavacas, ronsocos y ardillas. En las copas de los árboles puede observarse también diversas especies de monos como el coto mono, el capuchino, el tití y maquisapas.

Parque Nacional del Manu. Ubicado a 280 km de la ciudad del Cusco. Por la carretera Cusco-Paucartambo (12 horas en camioneta 4 x 4) se llega hasta la localidad de Atalaya y se continúa por el río hasta la localidad de Boca Manu (7 horas en bote). Allí se navega nuevamente por el río Madre de Dios hasta llegar al Parque Nacional del Manu.

El Parque Nacional del Manu abarca las regiones de Cusco y Madre de Dios. Cuenta con una extensión de 1 692 137 hectáreas. Desde 1977 el Parque Nacional del Manu constituye la Zona Núcleo de la reserva de la Biósfera del Manu, la misma que fue declarada Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO en 1987. Aunque el ingreso no está permitido, los visitantes pueden acceder a varios albergues autorizados en la Zona Reservada y la Zona Cultural adyacentes al parque.

En dichas circunstancias la diversidad biológica que alberga el Parque Nacional del Manu se manifiesta en todo su potencial en un paisaje único en el planeta. Los bosques tropicales del Manu han permitido que los procesos ecológicos y evolutivos se realicen casi sin la presencia del hombre. No obstante, en la zona existe también una enorme riqueza cultural, representada por las actuales poblaciones indígenas en diferentes niveles de contacto con el exterior, y un patrimonio arqueológico aún no revelado en toda su magnitud.

2.8 COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

Al tomar como base el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: Memoria descriptiva (Perú, Ministerio del Ambiente, 2015), a escala 1:100 000 y considerando la necesidad de contar con información referente a que un área determinada sea susceptible de la ocurrencia de movimientos en masa en función del factor de cobertura vegetal existente, se preparó el mapa de distribución de cobertura vegetal dominante, considerándose

las características de densidad o ausencia de vegetación forestales (mapa 1).

En la región Madre de Dios, la cobertura vegetal abarca el 98 % íntegramente selvático, con zonas de selva alta y selva baja. Está comprendida por bosques vírgenes; sin embargo, conforma la zona tropical. Por sus características es considerada como una de las más difíciles para la construcción de caminos y carreteras, pues los Andes se precipitan hacia la selva formando abismos.

2.8.1 Bosques de zonas húmedas y zonas pluviales

En esta macro provincia de humedad se desarrollan bosques densos y lluviosos ubicados en un amplio rango altitudinal, que va desde el nivel de los grandes ríos amazónicos, hasta el límite con los herbazales altoandinos de la vertiente oriental de los andes, es decir, hasta aproximadamente 4000 m s. n. m., De acuerdo con el Diagrama Bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, 1976), presenta valores de precipitaciones pluviales anuales mayores de 500 mm y temperaturas medias anuales mayores a 6 °C. Aquí se identificó siete tipos de cobertura vegetal.

Bosque húmedo de terraza baja y media (BHTbm)

Este tipo de cobertura vegetal comprende al bosque húmedo ubicado en la llanura aluvial de la selva amazónica, tanto en las terrazas bajas como en las terrazas medias y que, debido a la escala de interpretación y al tipo de imagen satelital utilizado, no fueron diferenciados estos dos niveles de terraza. Ocupa una superficie de 1 559 416.48 ha, que representan el 1.2 % del total nacional.

La cobertura boscosa de la terraza baja se encuentra ubicada por debajo de los 5 m de altura respecto al nivel de las aguas, con pendiente de 0 a 2 % y está conformado por sedimentos aluviónicos recientes, provenientes de los materiales arrastrados por los ríos y quebradas que discurren, y que fueron depositados en el Cuaternario. Debido a la inundación de la terraza baja durante el periodo de crecimiento de los ríos, origina sedimentación progresiva por la pérdida de velocidad de flujo formándose una serie de barras de aspecto semilunar ubicadas en la parte convexa de los ríos. Asimismo, al formarse diques naturales a lo largo de la terraza, estos impiden el escurrimiento de las aguas ubicadas en las depresiones.

Aguajal (Ag)

El aguajal es un ecosistema ubicado en la gran llanura de la selva amazónica, desde el nivel más bajo de los grandes ríos hasta aproximadamente los 750 m s. n. m., con una gran concentración en la depresión grande, en el departamento de Madre de Dios.

Ocupa una superficie de 176 811.07 ha, que representa el 0.14 % del total nacional.

El aguajal se encuentra inundado en forma permanente durante el año, producto de las inundaciones que generan los ríos durante su creciente y por la precipitación pluvial. Los suelos presentan un pobre drenaje y abundante materia orgánica con lenta descomposición.

Bosque húmedo de terraza alta (BHTa)

Este bosque se encuentra ubicado en una plataforma compuesta por acumulación fluvial antigua con pendiente de 0-15 % y aproximadamente sobre los 10 m de altura respecto al nivel de las aguas. También existen terrazas de origen tectónico, muchas de ellas alejadas de los ríos y pueden ser planas, onduladas o disectadas. Esta última, representa el segundo proceso erosivo originado por la precipitación pluvial, la cual produce disecciones en diferentes grados de intensidad traduciéndose en cauces desde superficiales hasta profundos. Se extiende en 1 585 325.7 ha que representa el 1.23 % de la superficie nacional.

Este bosque presenta un gran potencial de recursos forestales maderables y no maderables, así como de servicios ambientales. Debido a la cercanía de algunas áreas, éstas están más expuestas a las actividades de deforestación.

Bosque húmedo de colina bajas y lomada (BHCbl)

Este tipo de cobertura vegetal involucra a los bosques desarrollados en dos tipos de geoformas (lomada y colina baja) y que debido a la escala de trabajo y a la resolución espacial de las imágenes satelitales utilizadas no se pudo hacer su discriminación. En su conjunto se extienden en 4 794 044.98 ha, que representa el 3.8 % de la superficie nacional.

El bosque ubicado en las lomadas, cuya superficie es menor, se ubica en aquellas formas de tierra originadas por acumulación fluvial antigua, presentando una superficie ondulada con pendiente de 8 a 15 % y una elevación topográfica menor de 20 m de altura con respecto a su base.

En cuanto al bosque ubicado en las colinas bajas, cuya superficie es mucho mayor que el de las lomadas, se desarrolla en tierras originadas por acumulación fluvial muy antigua y que se presenta con diferentes grados de disección o erosión, cuya pendiente varía de 15-75 % y una elevación topográfica menor de 80 m de altura con respecto a su base.

Bosque húmedo de colina alta (BHCa)

Este bosque se desarrolla en el paisaje dominado por colinas altas, comprendida por debajo de los 300 m de altura respecto al nivel de su base y con pendiente generalmente superior a

50 %. Ha sido originada por erosión de la antigua acumulación aluvial (anteriores niveles de terraza) y se extiende en 2 746 267.28 ha, que representa el 2.1 % de la superficie nacional.

Este bosque reporta un buen potencial forestal. Sin embargo, la fuerte pendiente del terreno y la alta pluviosidad le hace altamente vulnerable a los procesos de erosión del suelo y que existan fuertes limitaciones para el aprovechamiento forestal maderable. Se puede aprovechar los recursos forestales diferentes a la madera. Además, presenta un buen potencial de servicios ecosistémicos (hidrológico, carbono, conservación del suelo, biodiversidad, etc.)

Bosque húmedo de superficie plana inclinada (BHSpi)

Este bosque se encuentra ubicado en planicies inclinadas muy antiguas que forman parte del macizo montañoso andino comprendido en el ámbito de la cuenca del río Inambari. Se extiende en 27 488.95 ha que representa el 0.02 % de la superficie nacional.

Esta superficie inclinada antigua presenta una cubierta coluvial con pendiente entre 25 % y 50 %. La naturaleza propia de su litología le hace resistente a los procesos erosivos causado por la fuerte precipitación pluvial.

En esta superficie inclinada se presenta una densa cobertura arbórea que, debido a su limitación topográfica y ubicación geográfica poco accesible, no es adecuado desarrollar actividades de aprovechamiento forestal maderable.

Bosque húmedo de montaña (BHM)

Este bosque húmedo de montaña se extiende a través de todo el flanco oriental andino desde el pie de montaña hasta aproximadamente 3800 m s. n. m., en las zonas central y sur del país (límite del pajonal altoandino) y hasta los 3000 m s. n. m., en la zona norte del país (límite del páramo). Ocupa una superficie de 2 746 267.28 ha, que representa el 2.13 % del área nacional.

Está conformada por una serie de cerros cuyas laderas están cubiertas de material coluvial, con pendiente desde 25 % hasta más de 50 % y en donde se origina, producto de la erosión ocasionada por la alta precipitación pluvial, una red de quebradas que forman muchos valles estrechos en los niveles inferiores. En determinadas zonas de esta montaña existen condiciones climáticas especiales y de exposición que origina lo que se conoce como "bosque nublado", caracterizado por la presencia de una cubierta casi permanente de nubes, que provoca una frecuente garúa o llovizna.

2.8.2 Herbazales de zonas húmedas y zonas pluviales

Estos herbazales se encuentran ubicados en la porción superior de la Cordillera de los Andes, arriba de los bosques amazónicos y de los matorrales andinos, es decir, sobre los 3800 o 4000 m s. n. m., en la zona central y sur; y sobre los 3500 o 3000 m s. n. m., en la zona norte, extendiendo sus límites hasta las áreas de periglaciares y glaciares.

En esta macro provincia de humedad predominan comunidades de herbáceas. De acuerdo con el Diagrama Bioclimático del Mapa Ecológico del Perú (Onern, 1976), contemplan valores de evapotranspiración potencial entre 1.00 y 0.0635 precipitaciones pluviales anuales mayores desde 62.5 hasta 4000 m s. n. m., y temperaturas medias anuales entre 6 °C y 1.5 °C, lo que propicia el dominio de comunidades de hierbas con inclusión de ciertos arbustos de hojas duras. El relieve del terreno es muy variado, desde altiplanicies hasta cerros con pendiente muy empinada.

A continuación, se hace una breve descripción de los tipos de herbazales existentes en estas zonas geográficas.

Pajonal altoandino (Pj)

Este tipo de cobertura está conformado por herbazales ubicados en la porción superior de la Cordillera de los Andes, aproximadamente entre 3800 y 4800 m s. n. m., en la zona sur y central, y arriba de los 3000 m s. n. m., en la zona norte del país. 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 16 911 989.7 ha, que representa el 13.16 % del total nacional.

El pajonal está conformado por asociaciones de hierbas con dos estratos bien definidos en su perfil vertical. El estrato dominante está conformado por matas de gramíneas de hasta

1 m de alto, cuyas hojas son de consistencia rígida, enrolladas y punzantes “tipo paja”, que toman el nombre colectivo de “ichu”, y se encuentran distribuidas bajo un patrón regular de distribución espacial, con grados de cobertura que varían entre 30-70 %. 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.

Cochas (Co)

Las cochas o humedales constituyen un ecosistema que alberga alta diversidad biológica, son clave para diversos procesos ecológicos y brindan servicios ambientales a las poblaciones locales. Abarcan una superficie de 2682.66 ha, que representa el 0.002 % del total nacional.

Ocupan las planicies depresionadas y cubetas, con sustratos fangosos con alto contenido de materia orgánica vegetal en diferentes estados de descomposición. Se interpreta que son originadas por procesos de eutrofización y colmatación de pequeñas lagunas o cochas abandonadas entre los meandros de los ríos de aguas blancas, localizadas próximas a los ríos.

2.8.3 Otras formaciones vegetales

Sabana hidrofílica

La sabana hidrofílica se encuentra ubicada en la parte suroriental del país, en el departamento de Madre de Dios y se extiende al este de Bolivia, oeste de Paraguay y norte de Argentina, conocida también como “chaco” o “pampa” Comprende el ámbito del Parque Nacional Bahuaja Sonene. Esta terraza antigua soporta suelos con escasa materia orgánica, mal drenaje y muy ácida. Se inunda completamente en la corta temporada de lluvias y se seca totalmente el largo periodo seco. Ocupa una superficie de 6315.88 ha, que representa menos del 0.004 % del total nacional.

CAPÍTULO III

CONTEXTO LITOLÓGICO

3.1 GENERALIDADES

En la evaluación y agrupación de las unidades litológicas se ha usado la información geológica disponible en los boletines de la serie A, números: 81, 106, 107, 108, 113, 116, 123, 121, 125, 128 de la Carta Geológica Nacional, a escala 1:100 000 (Palacios *et al.*, 1996; Chávez *et al.*, 1998; Carlotto *et al.*, 1998; Lipa *et al.*, 1998; Fidel *et al.*, 1998; Vargas & Hipólito, 1998; Romero *et al.*, 1998; De la Cruz *et al.*, 1998; Zárate *et al.*, 1998; Salas *et al.*, 1999), los estudios de riesgos geológicos del Perú, Franja no 3 (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2003) y Franja no 4 (Fidel *et al.*, 2006), acompañado de trabajos de revisión en campo, que sirvieron para caracterizar las rocas.

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

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

3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

La delimitación de unidades litológicas se basó en el predominio de la litología dominante de las formaciones geológicas existentes sin considerar su edad. Se dio énfasis en las características geotécnicas como intensidad de fracturamiento, grado de meteorización, resistencia a la erosión y, en general, características de susceptibilidad de que ocurran movimientos en masa. Los principales grupos de suelo y rocas se han agrupado en dos grandes unidades de clasificación:

3.2.1 Unidad I: Depósitos inconsolidados

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

En la región Madre de Dios se han diferenciado cuatro tipos de materiales no consolidados, que son producto de la meteorización, erosión, transporte y posterior acumulación, así como de precipitación química. Están compuestos por depósitos pertenecientes a terrazas y cauces de los ríos actuales.

Ocupan el 16.02 % del área total de la región. Presentan morfologías que van desde planas y plano-onduladas hasta acumulaciones de piedemonte con cierto declive. De acuerdo con su origen se clasifican en:

Depósitos fluviales (I-2)

Los depósitos fluviales constituyen los materiales del cauce o lecho de los ríos y quebradas tributarias, terrazas bajas inundables y llanura de inundación. Son depósitos heterométricos constituidos por gravas, arenas y arcillas, que están en proceso de transporte y deposición por los ríos actuales como Madre de Dios, Tambopata, Inambari, Las Piedras, Tahuamanu, Yaverija, Acre, Alto Madre de Dios, Manu y en las quebradas afluentes. Durante las avenidas, parte de estos terrenos, que corresponden al piso del valle, son a veces parcialmente inundados por el río, renovándose el transporte y la sedimentación, quedando expuestos estos depósitos en periodos cuando baja el nivel de las aguas. Generalmente, por encontrarse en constante dinámica, son depósitos inconsolidados hasta sueltos, fácilmente removibles y su permeabilidad es muy alta. Se forman islotes en el cauce del río.

Geomorfológicamente están asociados principalmente a las llanuras de inundación, y son susceptibles a erosión e inundación fluvial. Abarcan un área de 3029.94 km² que equivale al 3.63 % del área total de la región (fotografías 3.1 y 3.2).



Fotografía 3.1 Depósito fluvial constituido por bolones, grava y arena en la margen izquierda del río Madre de Dios



Fotografía 3.1 Depósito fluvial constituido por bolones, grava y arena en la margen izquierda del río Madre de Dios

Depósitos aluviales (I-3)

Son depósitos semiconsolidados con cierto grado de consolidación, erosionados por las corrientes actuales. Están constituidos por una mezcla heterogénea de gravas y arenas mal seleccionadas en matriz limo arenosa, que han sido acumuladas por la combinación de procesos aluvionales y fluviales (fotografías 3.3 y 3.4). Tienen regular a buena

selección, presentándose estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Están ubicados principalmente en las márgenes de ríos y quebradas principales formando llanuras aluviales antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes a los valles principales y tributarios mayores, utilizadas como terrenos de cultivo.

En las llanuras donde se forman los meandros, los depósitos están formados por arenas y limos y en los meandros (o meandros abandonados) se tienen limos, arcillas y arenas con buenos contenidos auríferos. Estos depósitos corresponden a playas de río, lagunas, así como terrazas, un tanto más lejos de los meandros. Estos depósitos se encuentran a lo largo de los ríos Colorado, Inambari, Madre de Dios y Tambopata, especialmente en las partes bajas. Allí la agradación fluvial es activa y en la carga de los ríos, constituida de arenas, limos

y arcillas, se asientan especialmente los depósitos más finos en las áreas inundables y los menos finos a lo largo del canal.

Estos depósitos están ampliamente distribuidos en la región, abarcando un área de 10 261.01 km² equivalente al 12.30 %. Son susceptibles de recibir flujos de detritos y tener erosión fluvial (socavamiento en el pie de terrazas), ya que se producen algunos derrumbes y hasta deslizamientos pequeños en los márgenes de ríos y quebradas.



Fotografía 3.3 Depósito aluvial formado por gravas, arena y arcilla en la margen derecha del río Madre de Dios



Fotografía 3.4 Vista de depósito aluvial formado por arenas limoarcillosas en la margen izquierda del río Tambopata

Las terrazas están compuestas por arenas cuarzosas que proceden de anteriores depósitos ya retrabajados en diferentes épocas, dando una buena clasificación y selección de los mismos. Se trata de una serie de depósitos constituidos por gravas, arenas y limos que se han depositado por acción de los ríos actuales. Dentro de ellos se tiene los pertenecientes a las terrazas 1, 2 y cauce actual de los ríos.

Terraza 1, desarrollada en ambas márgenes del río Madre de Dios con una altura de 12 a 18 m sobre el nivel del río Madre de Dios. Esta terraza es poco accesible debido a que se encuentra alejada del río Madre de Dios y a la densa cubierta vegetal, que es un obstáculo. Sin embargo, en un corte por el río blanco se puede ver que su litología está compuesta por 3 a 4 m de arenas cuarzosas de grano medio a fino cubierta por 0.80 a 1.0 m de limos de color rojizo, donde se desarrolla el suelo actual y está instalada una densa vegetación.

Terraza 2, tiene una altura 5 a 7 m sobre el nivel del río Madre de Dios, y puede ser inundada en crecidas excepcionales del río, de manera que aún recibe sedimentos.

Depósito coluvio-aluvial (I-6)

Depósitos de grava con matriz arenosa, semiconsolidados. Esta subunidad agrupa depósitos de piedemonte de diferente origen (gravitacional y fluviogravitacional), que se acumulan en vertientes o márgenes de los valles como también en laderas superiores. En muchos casos son resultado de una mezcla de ambos, constituyendo escombros de laderas. Ocupa el 0.03 % del área total de la región.

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

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

Son susceptibles a la erosión de laderas, remoción y generación de flujos de detritos o reactivaciones cuando se altera la estabilidad de sus taludes naturales.

Depósito químico (I-11)

Constituido por travertinos y sinters asociados a aguas termales. Su distribución se restringe en la margen derecha del río Inambari, al sur de la región. Suelen presentarse en la zona, por disolución de algunas grutas y cavernas, así como también por procesos de hundimientos locales, que han afectado terrenos de cultivo. Ocupa el 51.40 km² del área total de la región.

3.2.2 Substrato rocoso

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

a) Unidad II: Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran en la región Madre de Dios tienen una notable presencia ocupando el 0.16 % del área total de la región.

Granitos (II-1)

Afloramientos de topografía moderada a fuerte conformada por granitos de Hatun Quico y granitos gneisificados de Cadenas. Los granitos tienen una distribución muy reducida, en la margen derecha del río San Juan, límite con la región Cusco, al oeste de Quincemil.

Estas rocas se presentan meteorizadas, fácilmente disgregables y fracturadas. Esta subunidad ocupa el 0.16 % de la superficie total de la región equivalente a 129.47 km².

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

b) Unidad V: Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias mantienen una gran distribución al ocupar un importante porcentaje en la región (82.59 %). Esta unidad ha sido dividida en cuatro subunidades tomando en cuenta la litología predominante de cada una de ellas, las cuales son:

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

Sus afloramientos son muy restringidos en el sector occidental de la región. Está constituida por calizas micríticas y bioclásticas intercaladas con margas, limoarcillitas y lutitas de la Formación Chonta, calizas micríticas y bioclásticas intercaladas con lutitas y limolitas, areniscas blancas en los niveles superiores, con presencia de fauna fósil del Grupo Copacabana y areniscas de grano medio a grueso, calizas micríticas de color gris claro con intercalaciones de margas, lutitas, gris oscuras y niveles de

limoarcillitas del Grupo Tarma. Ocupa 846.75 km², equivalente al 1.01 % del área de la región.

Areniscas, lutitas y limoarcillitas (V-2)

Esta subunidad aflora en el sector oeste de la región abarcando 0.49 % del total, equivalente a 410.95 km². Está constituida por areniscas cuarzosas blancas amarillentas de grano medio a grueso con estratificación cruzada de la Formación Vivian, lodolitas rojas abigarradas, limolitas y areniscas del Grupo Huayabamba, Formación Pozo, lutitas intercaladas con areniscas cuarzosas gris claras de la Formación Ananea, areniscas gris rojizas, limolitas y limoarcillitas siempre de color rojizo de la Formación Río Tambo.

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

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

Esta pequeña subunidad está conformada por limoarcillitas y limolitas gris claras pizarrosas de la Formación Purumpata del Grupo San José, secuencias de pelitas limoarcillosas gris oscuras, areniscas de grano medio a fino con intercalaciones de limolitas y con presencia de lutitas negras a marrones del Grupo Cabanillas.

Presenta un relieve suave debido a su poca resistencia a los agentes erosivos en contraste con las rocas que lo albergan. Ocupa el 1.57 % del área total, equivalente a 1 309.98 km².

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

Esta subunidad aflora extensamente en la región Madre de Dios, conformada por areniscas masivas, cuarzosas blancas a marrones, mal seleccionadas, estratos delgados de conglomerados e intercalaciones de limolitas, limoarcillitas grises a gris oscuras, lodolitas y niveles de caliza del Grupo Oriente, areniscas cuarzosas en estratos gruesos con estratificación sesgada, intercaladas con limolitas y lutitas que poseen regular contenido de materia orgánica y en el tope lentes delgados de conglomerados del Grupo Ambo, areniscas en estratos gruesos a medianos, marrón rojizo claro intercalado con limoarcillitas, púrpura rojizas, en parte abigarradas, conglomerados de la Formación Yahuarango, conglomerados, areniscas claras a marrones de grano medio a fino, con niveles de arcillita, lodolitas y limoarcillitas de la Formación Ipururo, gravas, conglomerados, areniscas poco consolidadas de grano medio a fino y arcillas pardo rojizas de la Formación Madre de Dios Superior, areniscas grises y marrones, de grano medio a grueso, en estratos gruesos a medianos con contenidos de materia orgánica, intercalaciones de limoarcillitas marrones a parduzca, arcillosas, capas de arenisca conglomerádicas de la Formación Chambira y gravas, conglomerados, arenas de grano medio a fino de la Formación Madre de Dios Inferior (fotografías 3.5 al 3.9). Ocupa el 79.52 % del área total, equivalente a 66 350.5 km².

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



Fotografía 3.5 Imagen tomada con dirección norte. Se observa niveles de lutitas, lodolitas y limoarcillitas de la Formación Ipururo, en el sector Santa Rosa, km 287+800 de la carretera Interoceánica Masuco-Santa Rosa. El depósito inconsolidado obstruye las cunetas.



Fotografía 3.6 Imagen tomada con dirección oeste. Se observa niveles de arenisca con lutitas y limolitas de la Formación Ipururo en la carretera Mazuco-Santa Rosa (carretera Interoceánica km 286+700)



Fotografía 3.7 Vista tomado con dirección suroeste. Se observa niveles de arenisca con presencia de humedad, intercalada con lutitas y limolitas de la Formación Ipururo, en la carretera Mazuco-Santa Rosa (carretera Interoceánica km 286+400).



Fotografía 3.8 Vista tomada con dirección noreste. Se observa afloramiento de areniscas de la Formación Ipururo en la carretera Mazuco-Santa Rosa, km 284



Fotografía 3.9 Vista tomada con dirección sureste. Se observa afloramiento de areniscas grises y marrones, de grano medio, en estratos medianos con contenidos de materia orgánica con intercalaciones de limoarcillitas marrones a parduzcas, arcillosas, de la Formación Chambira, en el sector Puente Tazón, confluencia de las quebradas Palmera y río Inambari.

c) Unidad VI: Rocas metamórficas

Se exponen en forma muy reducida en la región. Según su litología dominante, se agrupan en dos unidades: gneis y esquistos que corresponden al Complejo Iscaybamba, y Formación Sandia, ocupando un porcentaje de 1.23 % en la región.

Gneis (VI-2)

Conformado por rocas metamórficas, metavolcánicas, anfíbolita, granitos, y gneis del Complejo Iscaybamba. Aflora al oeste de la región, límite con la región Cusco.

El gneis se comporta como roca compacta, con estructuras ondeadas bien definidas. Ocupa el 0.31 % (257.99 km²) del área de la región.

Mármol y cuarcita (VI-4)

Constituida por cuarcitas, metareniscas, lutitas grises oscuras pizarrosas y limolitas gris oscuras de la Formación Sandia, al oeste de la región, límite con la región Cusco. Abarca 770.05 km² de la superficie de la región (0.92 %).

CAPÍTULO IV

CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

4.1 GENERALIDADES

La geomorfología pasó de ser una disciplina académica a una ciencia con aplicación pragmática en las últimas décadas. Sirve para resolver problemas de peligros naturales, potencialidad de aguas subterráneas, caracterización del sustrato para la construcción de obras de infraestructura, etc., que sirve como apoyo a la toma de decisiones relacionadas con la planificación del territorio y el mejoramiento de la calidad de vida del hombre sin el deterioro del medio ambiente (Villota, 2005). Se independiza de la ciencia geológica a finales del siglo XIX y se consolida en el siglo XX. En la década de los 70 incorporó los problemas relacionados a los procesos formadores del paisaje, incluyendo movimientos en masa, procesos costeros y procesos hidrológicos, todos los cuales afectan a las poblaciones e infraestructura diversa, por lo que es fundamental la determinación de las geoformas existentes en un área o región (Zavala, 2011).

En el contexto nacional, las investigaciones sobre geomorfología han tenido poco desarrollo y su interés hasta hace dos décadas estuvo centrado en el estudio de cuencas hidrográficas (publicaciones de Onern, Inrena e Ingemmet, a escalas entre 1:500 000 a 1:100 000). En los boletines de la carta geológica nacional generalmente se muestra un contexto geomorfológico, diferenciando unidades morfoestructurales relacionadas a macro unidades de rango regional (Zavala, 2011).

Para la delimitación del sustrato rocoso y depósitos superficiales, se tuvo en cuenta los límites de las unidades geológicas. Sin embargo, se dio énfasis en la diferenciación de depósitos de acumulación reciente, sobre todo de movimientos en masa.

4.2 PENDIENTE DE LOS TERRENOS

Uno de los aspectos importantes en la clasificación de las unidades geomorfológicas, aparte del relieve, es la 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 (> 30°). También es más alta la erosión de laderas (laminar, surcos y cárcavas) en colinas o montañas, ya que a

mayor pendiente se facilita el escurrimiento superficial y por ende, la erosión hídrica o pluvial. Vilchez, *et al.* 2013.

Sin embargo, algunos procesos 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 en terrenos de suave pendiente. Vilchez, *et al.* 2013.

El mapa de pendientes de la región Madre de Dios fue elaborado en base a los planos topográficos del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), a escala 1:100 000, con espaciamiento de curvas de nivel cada 50 m, las cuales fueron procesadas con ayuda del software ArcGIS 10.3. Para ello se obtuvo un modelo de elevación digital y a la vez polígonos que presentan la pendiente o inclinación en diferentes sectores de la región. Para la clasificación del rango de pendientes (mapa 1 y cuadro 1.1) se consideró y adaptó como base la propuesta realizada por Martín-Serrano, *et al.* (2004).

Se tomaron en consideración seis rangos o grados de pendiente: terrenos llanos (<1°, muy baja), inclinados con pendiente suave (1°-5°, baja), pendiente moderada (5°-15, media), pendiente fuerte (15°-25°), pendiente muy fuerte o escarpado (25°-45°) y pendiente muy escarpada (>45°, abrupta). Estos se describen a continuación:

4.2.1 Terrenos llanos (<1°)

Comprende terrenos planos de zonas de la llanura amazónica, pantanos, aguajales, diferentes niveles de terrazas aluviales, llanuras de inundación, laderas de baja pendiente de lomadas, altiplanicies sedimentarias, fondos de valles, meandros abandonados, barras de arena fluvial y lagunas. Ocupan el 72.55 % del área total de la región. Estas áreas generalmente están sujetas a inundaciones de tipo fluvial y pluvial por anegamientos, principalmente cuando se presentan lluvias estacionales de carácter extraordinario. Los principales peligros que se pueden presentar son flujos de detritos y de lodo, generados en terrenos más elevados y que discurren por torrenteras, cuyos materiales se movilizan y depositan al alcanzar estas zonas planas.

Dentro de esta zona se han asentado los poblados Puerto Maldonado, Puerto Rosario de Laberinto, Iberia, Iñapari, Boca Colorado, Boca Manu, entre otros.

4.2.2 Terrenos inclinados con pendiente suave (1°-5°)

Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de llanura amazónica, en ondulamientos y lomadas de baja altura, también en terrazas y abanicos aluviales, depósitos de piedemonte de pendiente suave que bajan desde las quebradas tributarias hacia los ríos principales, como son los ríos Tambopata, Inambari, Madre de Dios y Manu, que vierten sus aguas a la Intercuenca del Alto Madre de Dios. Ocupan el 15.70 % del área total de la región.

4.2.3 Terrenos con pendiente moderada (5° -15°)

Los terrenos de pendiente moderada presentan buena distribución en la zona de montañas, colinas y lomadas; también en las vertientes aluvio-torrenciales y vertientes coluvio-deluviales. Ocupan el 6.80 % del área total de la región. En este rango de pendiente se podrían registrar fenómenos de movimientos en masa de tipo reptación de suelos, deslizamientos, derrumbes o caídas de rocas en los cortes de taludes.

4.2.4 Terrenos con pendiente fuerte (15° – 25°)

Pendientes con distribución restringida a la zona de montañas, colinas, bordes de mesetas que forman acantilados y laderas de vertientes de valles. Ocupan el 3.10 % del área total de la región. Se distribuyen indistintamente en las laderas de la cordillera Oriental.

4.2.5 Terrenos con pendiente escarpada (25° - 45°)

Los terrenos con pendiente muy fuerte ocupan una superficie muy reducida, 1.70 % del área total de la región, distribuida principalmente en las laderas de montañas de la Cordillera Oriental.

4.2.6 Terrenos con pendiente muy escarpado (> 45°)

Presentan una distribución muy reducida a lo largo de cumbres de montaña y vertientes de valles encañonados ubicados en la faja subandina. Ocupan menos del 1 % del área total de la región.

Cuadro 4.1

Rango de pendientes del terreno en grados

Rango	Superficie topográfica	Área estimada (%)
<1°	Terrenos llanos	72.55
1° – 5°	Terrenos inclinados con pendiente suave	15.7
5° – 15°	Terrenos con pendiente moderada	6.8
15° – 25°	Terrenos con pendiente fuerte	3.1
25° – 45°	Terrenos con pendiente escarpado	1.7
>45°	Terrenos con pendiente muy escarpado	1

4.3 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Morfológicamente la zona constituye un gran bloque depresionado que corresponde a la llanura amazónica (llanura de Madre de Dios), la cual ha estado condicionada por la dinámica de los eventos tectónicos que se desarrollaban en la cordillera Subandina. Estos eventos han originado una diversidad de relieves conformados por los sistemas de colinas, planicies aluviales disectadas, llanuras de inundación, que se

formaron en diferentes períodos geológicos. A consecuencia del levantamiento andino, se originó una gran zona depresionada o llamada también mega cuenca de sedimentación, la cual era rellenada por la acumulación de sedimentos provenientes de las zonas cordilleranas, producto de las fuerzas exógenas (erosión y meteorización) que actuaban con gran intensidad. El resultado de estos procesos ha generado variadas geoformas. Palacio, *et al.*, 1996.

Desde el punto de vista morfoestructural, el área de la región Madre de Dios corresponde a la Cordillera Oriental, la faja Subandina, el Arco de Fitzcarrald y la Llanura Amazónica.

La faja Subandina se ubica entre la Cordillera Oriental y la Llanura Amazónica, a manera de una estrecha cadena de cerros y colas, cuyas elevaciones van desde 400 m s. n. m., a 2240 m s. n. m., constituyendo las estribaciones orientales de los Andes. Los afloramientos rocosos son mayormente sedimentarios cretáceos y capas rojas cenozoicas, las cuales han sido afectadas por sobre escurrimiento de grandes magnitudes entre el Mioceno y el Pleistoceno. León *et al.*, 2000.

La Llanura Amazónica, de clima cálido y húmedo, conforma una extensa planicie de amplio desarrollo, cubierta por una exuberante y densa vegetación selvática y surcada por grandes ríos de aspectos meandriformes, anastomosados y entrelazados. La llanura se caracteriza por estar formada de una cobertura con sedimentos aluviales cuaternarios, extendidos a manera de una extensa sabana, que cubre a las capas rojas suavemente plegadas y falladas, y caracteriza el estilo estructural de bloques compresivos. León *et al.*, 2000.

Las unidades geomorfológicas diferenciadas en la región han sido producidas por agentes tectónicos, erosionales y depositacionales, ocurridos a lo largo de su historia geológica.

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

Geoformas de carácter tectónico-degradacional y denudacional
Geoformas de carácter deposicional o agradacional

En función de la escala del presente trabajo (1:250 000), la diferenciación de unidades considera 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 lomadas o lomeríos, 2) piedemontes y 3) planicies. La descripción de cada una de ellas permite conocer la pendiente del terreno, la asociación litológica y el control estructural. Esto la diferencia de otras regiones del país que tienen influencia volcánica, así como procesos tectónicos y fluvio-glaciares.

A continuación se describen las unidades geomorfológicas, detallando su ubicación y distribución geográfica (ver mapa 4), acompañados de algunas fotografías ilustrativas de las geoformas características.

4.3.1 Geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional

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

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

Unidades de montañas

Las montañas presentan muy poca ocupación de área en la región (6.91 %), geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, 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 metamórfico, sedimentario e intrusivo con un intenso estado de meteorización superficial y de erosión.

Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

Relieve de montaña en roca intrusiva (RM-ri)

Se ubica en la Cordillera Oriental en el límite entre los departamentos de Madre de Dios y Cusco. Localmente la zona se le conoce con el nombre de cerro Marcachepunta. Su ocupación de área en la región es muy reducida.

Las montañas están compuestas en gran parte por granito gneisificado y granito de la unidad Hatun Quico. La altura respecto al nivel de base local varía de 700 m hasta los 1150 m y alcanza altitudes máximas de 2950 m s. n. m., Su superficie presenta drenaje dendrítico y sus cimas son ligeramente redondeadas. Por su ubicación presenta valles en forma de V con escasos sectores encañonados.

Relieve de montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Morfoestructuralmente se ubica en la Cordillera Oriental y la faja Subandina. Está compuesta por rocas sedimentarias de los Grupos Cabanillas, Ambo y las formaciones Ananea, Ipururo y Chambira.

Esta subunidad geomorfológica es cortada o erosionada por los ríos Maestrón, Piñipiñi, Callanga, Dahuene, Colorado, Cupodnor y sus quebradas tributarias. Presenta principalmente drenaje de tipo paralelo y subdendrítico.

Es difícil observar el tipo de movimientos en masa que existe en la zona debido a la densa vegetación en la zona.

Relieve de montaña en roca metamórfica (RM-rm)

Corresponde a cadenas montañosas antiguas (Paleozoico) expuestas en la Cordillera Oriental. Se ubica en el límite con el departamento de Cusco. Litológicamente corresponde a afloramientos de rocas metamórficas compuestas por pizarras grises, pizarras limolíticas, con base de pizarras con esquistosidad del Grupo San José; cuarcitas, metareniscas, lutitas y pizarras en estratos delgados a gruesos de la Formación Sandia; en el cerro Marcachapunta presenta gneis en su lado noreste y pertenece al Complejo Iscaybamba.

Presentan laderas con pendientes escarpadas a muy escarpadas, de cumbres redondeadas y alargadas cubiertas por una densa vegetación típica de la región. Se caracteriza por presentar sistemas de drenajes dendríticos y subparalelos.

Geodinámicamente son montañas susceptibles a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa como pequeños derrumbes dispersos, flujos de detritos, entre otros.

Relieve de montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

Su asociación litológica es principalmente sedimentaria. Estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos

compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con el buzamiento de las capas de roca que controlan la pendiente de las laderas. Se encuentran conformando anticlinales, sinclinales, cuestas y espinazos, que le dan una característica particular en las imágenes satelitales. Tienen un alineamiento de dirección suroeste-noreste. Varían en pendiente desde moderada a muy abruptas.

Subunidad geomorfológica cortada por los ríos más importantes como Manu, Sotileja, Providencia, Rinconadera, Porotoa, Porotoa Chico, Colorado, Huasoroco, Coriri y Puquiri. El drenaje es principalmente de tipo paralelo y subdendrítico, su disposición está controlada por la estructura geológica conformada por pliegues y fallas.

La pendiente de sus laderas varía bruscamente desde moderada a muy abrupta. Están cubiertas por abundante vegetación; sin embargo, existen pequeños sectores deforestados donde se observan las estructuras de macizo rocoso (fotografías 4.1 y 4.2).

Geodinámicamente en áreas deforestadas, son susceptibles de que ocurran procesos de movimientos en masa como las caídas de rocas, vuelcos, derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas y flujo de detritos.



Fotografía 4.1 Montaña estructural modelada en rocas sedimentarias con ladera de pendiente muy escarpada, superior a 50°



Fotografía 4.2 Se observa el rumbo y buzamiento de las secuencias sedimentarias. Sector río Inambari.

Unidad de colinas y lomadas

Las colinas y lomadas son de menor altura que las montañas, generalmente no superan los 300 m desde la base hasta la cima. Se puede subdividir según su naturaleza litológica, morfología estructural y grado de erosión o disección. La inclinación de sus laderas en promedio es superior al 16 % (FAO, 1968).

Los relieves de colinas pueden ser el resultado de fallas tectónicas o procesos erosivos intensos ocurridos durante el Cuaternario, que dieron origen a unas elevaciones de terreno con formas elongadas, cimas estrechas y agudas, más altas y de pendiente mayor que las lomadas.

Las lomadas, a diferencia de las colinas, se caracterizan por ser una superficie que está alcanzando la etapa final del ciclo erosivo. Constituye una fase intermedia entre las geoformas de planicie y colina. Las alturas del relieve de lomadas en algunos casos son similares a las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas y alargadas, y con pendiente mayor a 7°.

Estas unidades se ubican principalmente en la Llanura Amazónica, Alto de Fitzcarrald y próximas a los relieves de

montañas de la faja Subandina. Ocupan un área aproximada de 55,41 % dentro de la región.

Colina en roca sedimentaria (RC-rs)

Subunidad geomorfológica asociada a rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados polimícticos, limolitas) de las formaciones Chambira e Ipururo. Su morfología es suave, con desniveles de hasta 300 m.

La subunidad se ubica morfoestructuralmente en la Faja Subandina y se encuentra cubierta por abundante vegetación (fotografías 4.3 y 4.4).

El sistema de drenaje que presenta la subunidad es de forma dendrítica a subdendrítica y está constituida principalmente por los ríos Inambari, Shilive, Azul, Colorado, Cupodnoe, Huasoroco, Puquiri, Shachuaca, Shamesho, Cueipasi, entre otros.

Debido a sus características litológicas, esta subunidad es susceptible de derrumbes y flujos en zonas donde intervino la actividad antrópica (fotografía 4.5).



Fotografía 4.3 Colina en roca sedimentaria, cubierta con abundante vegetación. Vista desde Quebrada Avispa.



Fotografía 4.4 Colinas en roca sedimentaria, cubiertas por abundante vegetación. Vista en la ruta carretera Inambari, saliendo del Cp. Villa Santiago, tomada con dirección este.



Fotografía 4.5 Corte de carretera, en donde se puede ver la composición sedimentaria de la Formación Ipururo del Neógeno. Vista en corte de carretera, sector Centro Poblado Santa Rosa, tomada con dirección noroeste.

Colina estructural en roca sedimentaria (RCE-rs)

Se ubica en la faja Subandina, dentro de la jurisdicción del distrito de Inambari. Corresponde a relieves modelados en afloramientos de rocas sedimentarias. En la zona de estudio se presentan en alineamientos de dirección sureste-noroeste. El drenaje de esta subunidad geomorfológica es paralelo y su disposición está controlada por la estructura geológica conformada por pliegues y fallas. La inclinación de las laderas es controlada por el buzamiento de las capas. También se presentan espinazos.

La litología está compuesta por rocas de las formaciones Ipururo (areniscas, areniscas conglomerádicas intercalados de limolitas abigarradas) y Madre de Dios superior (limos y arcilla con lentes de conglomerados y arenas).

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

Subunidad geomorfológica cubierta por abundante vegetación donde se tienen asociaciones de colinas y lomadas modeladas

en rocas sedimentarias que han sufrido una intensa denudación, encontrándose con un alto grado de disección producidos por quebradas, que configuran un drenaje subdendrítico y subparalelo (figura 4.1). Esta fue diferenciada principalmente en la zona noroeste de la región Madre de Dios, en los distritos de Iñapari, Iberia, Tahuamanu, Las Piedras, Tambopata y Fitzcarrald, haciendo parte de la Llanura Amazónica y el Alto de Fitzcarrald. También se ha identificado en la zona suroeste de la región, entre los límites de Puno y Cusco.

Litológicamente, la subunidad está compuesta por rocas de las formaciones Ipururo (areniscas, areniscas conglomerádicas intercaladas de limolitas abigarradas), Madre de Dios superior e inferior (limos y arcilla con lentes de conglomerados y arenas), Chambira (areniscas) y Yahuarango (areniscas).

Por sus características morfológicas y litológicas, el relieve de colinas y lomadas modeladas en rocas sedimentarias en la región Madre de Dios es susceptible de las ocurrencias de erosión de ladera (cárcavas y surcos), flujos de lodo y reptación de suelos.



Figura 4.1 Colina y lomada disectada en roca sedimentaria por los ríos de la zona, Cerro Salvación, margen derecha del río Madre de Dios

Fuente: Lansat 5

Lomada en roca sedimentaria (RL-rs)

Se caracterizan por ser una superficie que está alcanzando la etapa final del ciclo erosivo y son cerros que presentan superficies amplias, redondeadas a suaves. Sus laderas tienen pendientes moderadas, entre 4° y 8°. Morfoestructuralmente se encuentran distribuidas en la Llanura Amazónica, el Alto de Fitzcarrald y en la faja Subandina.

A nivel litológico están asociadas a formaciones rocosas sedimentarias poco litificadas que pertenecen a la Formación Madre de Dios del Cuaternario, Formación Ipururo del Neógeno, Formación Chambira del Neógeno-Paleógeno y la Formación Yahuarango, que corresponde al Paleógeno.

Esta subunidad, por sus características litológicas, es susceptible de la ocurrencia de reptación de suelos y pequeños flujos de lodo.

Unidad de planicies o altiplanicies

Son superficies planas que no presentan un claro direccionamiento, ya sea que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales.

Altiplanicie sedimentaria (AP-s)

Es una superficie casi plana que se presenta en las alturas tomando el nombre de altiplanicie. Son terrenos extensos a poco extensos, llanos. Presentan material sedimentario depositado por el arrastre de las aguas fluviales.

Por lo general la subunidad es aprovechada para el desarrollo de la agricultura, favorecida por la pendiente llana y suelos de espesores adecuados para esta actividad. Sin embargo, en la región Madre de Dios, por su ubicación y pocas áreas, no es aprovechada en ningún uso.

4.3.2 Geformas de carácter deposicional y agradacional

Estas geformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos determinados tanto por fuerzas de desplazamiento como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía. Ambos tienden a nivelar la superficie de la tierra mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Unidad de piedemonte

Superficie inclinada al pie de los sistemas montañosos, formada por caídas de rocas o por el acarreo de material aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional y, de carácter excepcional.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Es una planicie inclinada a ligeramente inclinada y extendida, posicionada al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formada por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, que pueden

formar abanicos debido al movimiento lateral-cíclico del curso de los ríos o quebradas que los originan. La pendiente de estos depósitos es suave a moderada (1° - 15°). Sobre estos abanicos se pueden depositar también materiales provenientes de flujos torrenciales, comúnmente conocidos como huacos (figura 4.2).

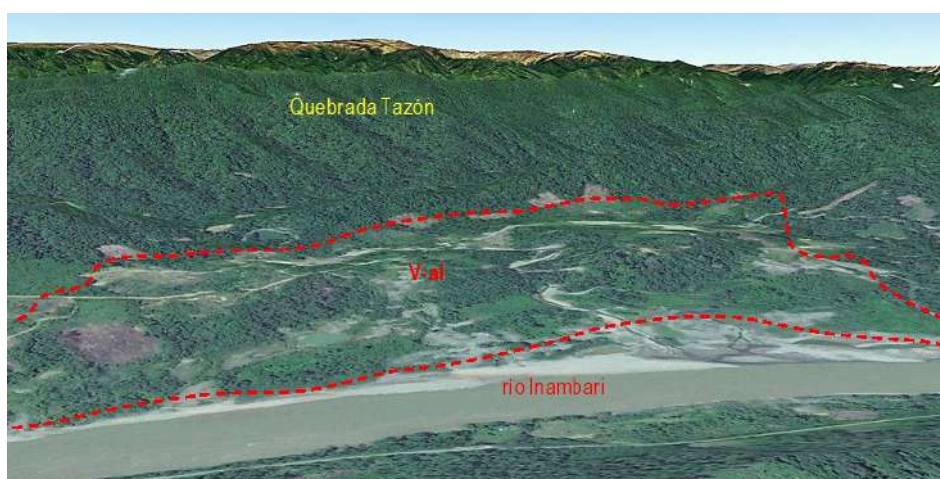


Figura 4.2 Piedemonte aluvial ubicado al norte de la quebrada Tazón, margen derecha del río Inambari, en el límite con la Región de Puno

Fuente: Google Earth

Unidad de planicies

Una llanura o planicie es un espacio geográfico con poca o ninguna variación en la altitud de la superficie o terreno.

Llanura o planicie disectada aluvial (Pld-al)

Comprende superficies planas, disectadas (figura 4.3) y onduladas que han sido erosionadas por los procesos morfodinámicos fluviales y pluviales a través de diversos periodos. Están constituidas por materiales provenientes de la denudación de las superficies colinosas y montañosas. Gran parte de esta subunidad morfológicamente está situada en la Llanura Amazónica, y un porcentaje menor está en la zona de la faja Subandina. Geográficamente, las principales áreas que ocupa esta subunidad geomorfológica se encuentran en el sureste de la región Madre de Dios.

Los ríos principales que modelan y discurren por la subunidad son: Tahuamanu, Muymamu, Manuripe, Madre de Dios, De las piedras, Pariamanu, Inambari, Colorado, Puquiri, Huasoroco, Cupohue, Chilive, Azul, Blanco, Alto Madre de Dios, Manu.

Los procesos geodinámicos que afectan a esta subunidad geomorfológica están referidos principalmente a las inundaciones periódicas y excepcionales. Cuando estas áreas se inundan ocasionan ciertos cambios en el sistema ecológico, pues las características fisicoquímicas de los sedimentos varían durante la acumulación de aguas. Otro tipo de proceso que ocurre es la erosión fluvial producto de la dinámica de los ríos.

Junto a la clasificación de esta subunidad geomorfológica también se ha considerado los terrenos ondulados que corresponden a la Formación Madre de Dios (fotografías 4.6 y 4.7) y que están cubiertas por abundante vegetación típica de la Llanura Amazónica.



Figura 4.3 Planicie aluvial disectada, margen izquierda de río Madre de Dios en la zona de los poblados Chiringayo y Lagarto

Fuente: Landsat 5



Fotografía 4.6 Subunidad de planicie disectada aluvial con presencia de ondulaciones en el terreno, norte del poblado Iberia, distrito de Iberia



Fotografía 4.7 Ondulaciones del terreno vista en la carretera Puerto Maldonado - Iñapari

Terraza aluvial (T-al)

Son porciones de terreno plano que se encuentran dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río, con altura relativamente marcada (figura 4.4).

La altura a la que se encuentran estas terrazas representa niveles antiguos de sedimentación fluvial, donde las terrazas más antiguas están a mayor altura. Esta subunidad geomorfológica

es afectada por las corrientes fluviales como consecuencia de los cambios de curso de los ríos.

Dependiendo de su ubicación, la 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 polimícticas. Estos materiales fueron acarreados y depositados por el caudal de los ríos de la región Madre de Dios y sus afluentes.

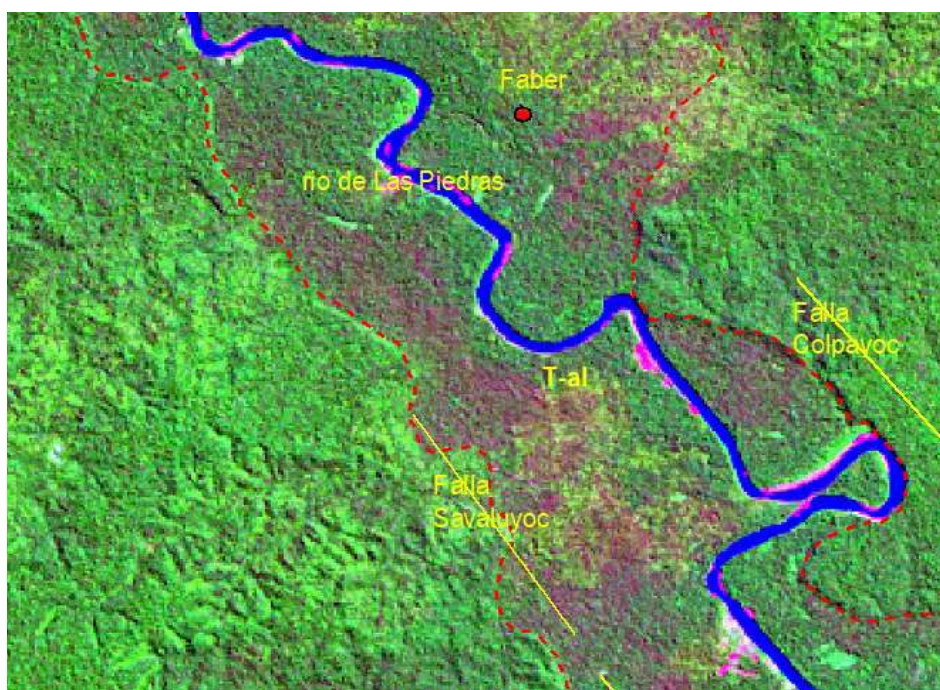


Figura 4.4 Terraza aluvial en las márgenes del río de Las Piedras, entre las fallas Savaluyoc y Colpayoc, zona del poblado de Faber

Fuente: Lansat 5

Terraza alta aluvial (Ta-al)

Comprende superficies planas y plano-onduladas. Son de origen aluvial (pertenecen a antiguos cauces de los ríos). Presenta desniveles entre 10 a 35 m con respecto al nivel de espejo de los ríos.

En algunos sectores dentro de esta subunidad existen pequeñas depresiones pobremente drenadas que se inundan por la

presencia de aguas pluviales y la escorrentía superficial, lo que provoca el desarrollo de depósitos palustres.

Estas terrazas se ubican principalmente en las márgenes (figura 4.5) y son parte de las cajas antiguas de los ríos Tambopata, Malinousqui, Inambari, Colorado, Manu, Pariamanu, Manuripe, De las Piedras, Madre de Dios, entre otros.

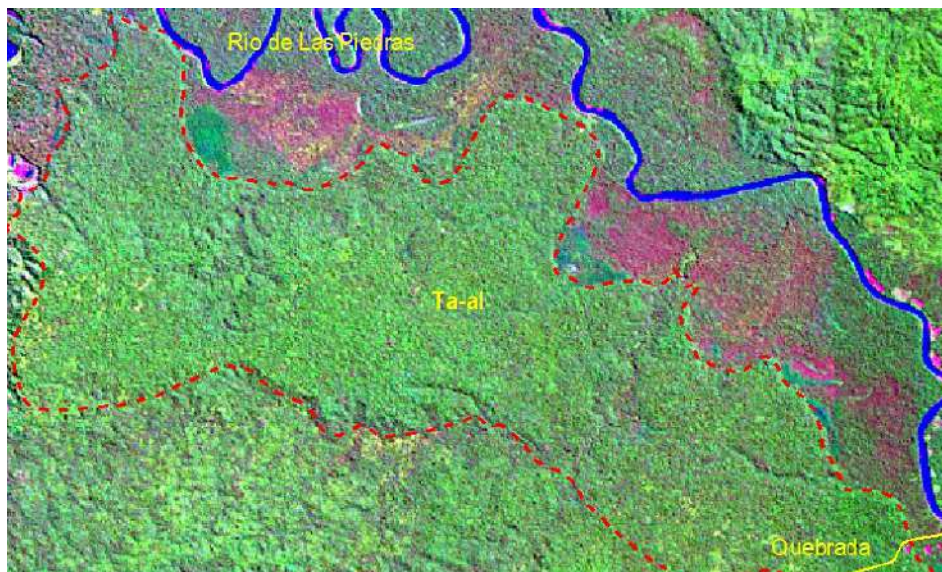


Figura 4.5 Se observa terraza alta (Ta-al) en la margen derecha del río de Las Piedras

Fuente: Lansat 5

Terraza indiferenciada (Ti)

Subunidad geomorfológica, conocida también como terrazas poligénicas. Se forma por la fusión de numerosas terrazas de diferentes edades, pero pertenecientes a un mismo ciclo erosivo. Además, dependiendo de su ubicación geográfica pueden ser fondos de valles tributarios de cauce angosto, que discurre cortando las montañas y colinas de la región donde no ha sido posible diferenciar a la escala de trabajo.

Los lugares donde se han identificado este tipo de terrazas se ubican principalmente en las márgenes de los ríos Tambopata, Inambari, Tres Amigos, Tocabe, Cupohue, Chisue y quebradas río Madre de Dios y Del Tigre.

Terraza baja aluvial (Tb-al)

Son superficies de morfología plana de origen aluvial, expuestas a inundaciones periódicas en épocas de precipitaciones

pluviales, las que traen consigo un aumento del nivel de las aguas de los ríos y quebradas. Ver figura 4.6.

Esta subunidad geomorfológica, litológicamente está constituida principalmente por sedimentos que fueron acarreados por los ríos y forman depósitos hasta de 8 m de espesor desde el nivel de espejo agua hasta el nivel superior de la terraza en periodo de vaciante o temporada de estiaje.

Se ubican en ambas márgenes de los ríos Palma Real, Yaco, Sotileja, Cumerjali, Providencia Cumerjali, Yoyato, Panagua, Pinguina, Pinguercillo, Pinquén, Madre de Dios, Muymanu, Manuripe, Reducto, Malecón, Malecón o Chala, Parmichal, Azul, Chilive, Colorado, Inambari, Palma Real Grande, Shehehuaca, Malinosquillo, Shamesho, Cueipasi, entre otros.

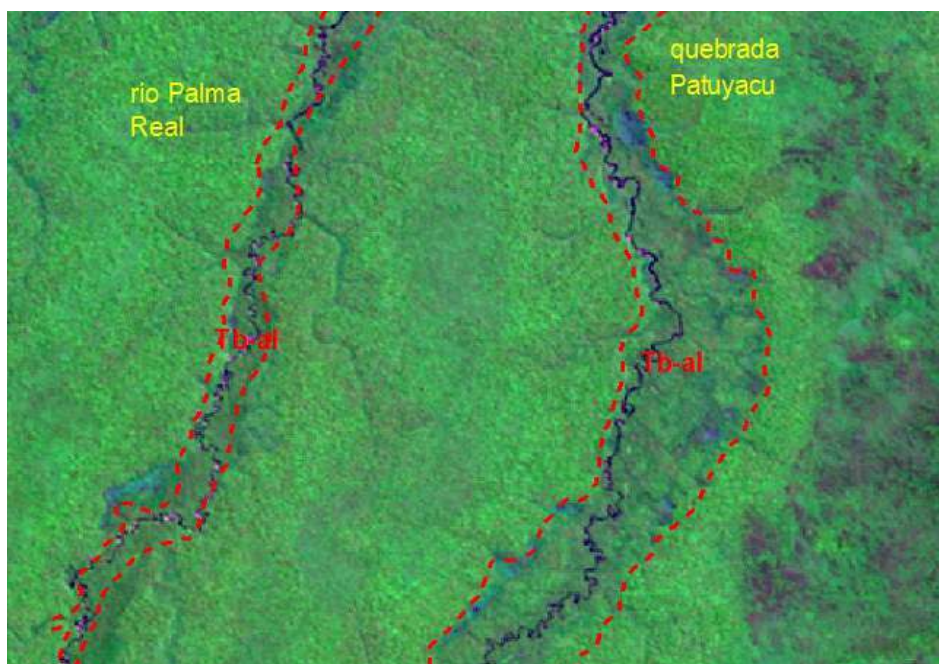


Figura 4.6 Terraza baja aluvial en el río Palma Real y en la quebrada Patuyacu

Fuente: Lansat 5

Terraza aluvial con meandros abandonados (Tal-ma)

Se ubican en las márgenes de los ríos y están acompañadas de restos semilunares del cauce antiguo o meandros abandonados. En la mayoría de los casos corresponden a terrazas bajas y medias (conocidas por algunos investigadores como llanura meándrica). Se encuentran modelados por los procesos de la dinámica fluvial que han originado áreas susceptibles a inundaciones. Ver figura 4.7.

Su litología está conformada por sedimentos aluviales y fluviales, provenientes de los materiales acarreados por los

ríos y quebradas. Su formación se debe a los desplazamientos laterales del río y a la sedimentación hacia las partes laterales durante los periodos de desborde.

Las áreas que ocupa esta subunidad de Terraza aluvial con meandros abandonados se ubican en ambas márgenes de los ríos Tahuamanu, Las Piedras, Lidia, Cariyacu, Manu, Ashibeá, Fierro, Madre de Dios, Blanco, Los amigos, Amiguillo, Chisue, Cupohue, Elías Aguirre, La Torre, entre otros. En su superficie se encuentran asentadas un estimado de 121 centros poblados pertenecientes a la región Madre de Dios.



Figura 4.7 En ambos lados de río Madre de Dios se observa terraza aluvial con meandros abandonados, zonas Boca Amigo, Las Palmeras y Cinco Islas

Fuente: Lansat 5

Complejo de orillares meándricos antiguo (Com-a)

Superficie que se caracteriza por la presencia de orillares de meandros abandonados o cauces de ríos antiguos. Se encuentra cubierta por abundante vegetación y morfología. Es poco visible en las imágenes de satélite. Se originaron por la migración de los ríos. Ver figura 4.8.

La subunidad de Complejo de orillares meándricos antiguo se ubica en las márgenes de los ríos Madre de Dios, Tambopata, Inambari, Colorado, Pinquén, Manu, entre otros.

Complejo de orillares meándricos reciente (Com-r)

Se trata de huellas que han sido dejadas por los cauces de los ríos meándricos. Se presentan como barras semilunares (conocidas como restingas por los lugareños). Se originan por deposición de sedimentos acarreados por sus aguas y que al reducir su velocidad se depositaron en curvaturas interiores. Esta deposición de sedimentos se presenta a manera de "camellones" muy suaves alternados, es decir de terrenos elevados a manera de fajas estrechas con desniveles entre 1 a 5 m por encima de fajas de terrenos depresionados, igualmente alargadas y

estrechas. (La forma y el tamaño de las barras varían de acuerdo con las dimensiones del río).

En general, este tipo de relieve se encuentra expuesto a inundaciones durante los meses de precipitaciones pluviales (figura 4.8), pero como es un medio complejo o de caracteres mixtos, las fajas de terreno elevado quedan casi siempre como terrenos no inundables o a lo sumo cubiertos por breves días por una ligera capa de agua casi estacionaria de unos pocos decímetros, mientras que las fajas depresionadas son ocupadas por las aguas de crecientes del río y van disminuyendo poco a poco su nivel a medida que avanza la estación seca o de estiaje. La mayoría de estas depresiones queda prácticamente seca antes del próximo período de lluvias.

La litología en esta unidad consiste en depósitos aluviales recientes, constituidos por sedimentos finos, arenosos a arenarcillosos. Son superficies, además de ser susceptibles de inundaciones, que se encuentran expuestas a socavamientos y erosión fluvial por las corrientes de los ríos Manu y Madre de Dios.



Figura 4.8 Por la morfología que presenta la imagen se observa la diferencia del Complejo de orillares meándricos antiguos (Com-a) y el Complejo de orillares meándricos recientes (Com-r). Se ubica en ambas márgenes del río Madre de Dios.

Fuente: Lansat 5

Sistema de pantanos y aguajales (Sp)

La subunidad de pantanos y aguajales está formada por depresiones que contienen aguas estancadas que suelen albergar una vegetación acuática muy densa, pese a su poca profundidad. Presenta sedimentos constituidos de lodos, arcillas y limos finos saturados de agua. Ver figura 4.9.

Según Quispesivana *et al.* (1999), las condiciones de saturación de estos suelos se producen por la acumulación de las aguas pluviales, así como por efectos de inundación y desborde de las aguas fluviales en planicies deprimidas, conocidas como áreas hidromórficas (inundadas la mayor parte del año) de material arcilloso subyacente que impide el escurrimiento de las aguas.

En algunos sectores, el agua de los pantanos no está del todo estancada, sino que circula mediante torrenteras secas o pequeños caños cuando se producen precipitaciones muy fuertes.

En el área de estudio se desarrollan en las zonas aledañas a las riberas de los ríos Tahuamanu, Las Piedras, de Las Piedras, Manu, Pinquén, Madre de Dios, Blanco, Chilive, Azul, Chisue, Manuripe, Cupohue, Colorado, Inambari, Chocolatillo, Malinousqui, La Torre, Palma Real Grande, Patuyacu, Heath, y las quebradas Agua Negra, Yarinal, Tercera, Patuyacu.

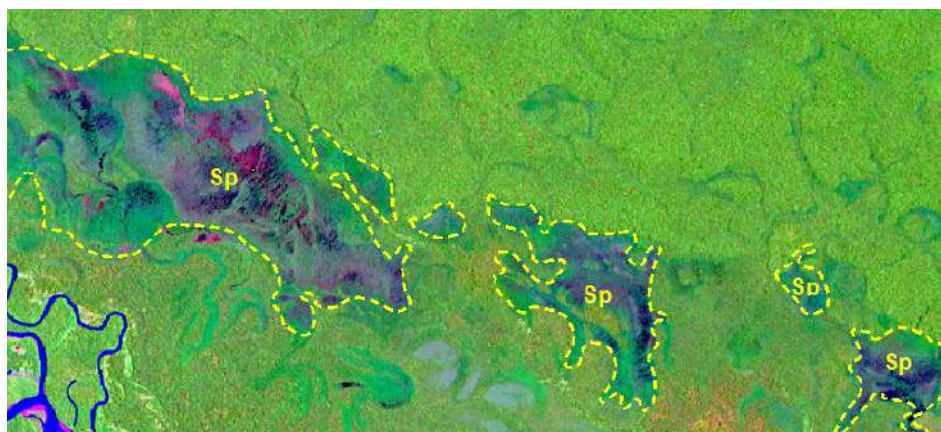


Figura 4.9 Sistema de pantanos y aguajales (SP) ubicado en la margen izquierda del río Madre de Dios, naciente de la quebrada Pacal

Fuente: Lansat 5

4.3.3 Unidad de geformas particulares

Isla fluvial (I-fl)

Son elevaciones preexistentes del terreno que fueron rodeadas por las aguas de los ríos, al experimentar una variación en sus cauces debido a sus divagaciones. Tienen formas elípticas y

alargadas y sus ejes mayores coinciden con la dirección de la corriente. Ver figura 4.10.

Las áreas principales que ocupa esta subunidad se encuentran rodeadas por cursos de los ríos Madre de Dios, Tambopata, Shaehuaca, Malinquisquillo, Azul, Inambari, Puquiri, Huasoroco, Colorado, Cupohue, Chilive, Piquén, entre otros.



Figura 4.10 Isla fluvial (Isla Laberinto) en el río Madre de Dios, al norte del poblado de Laberinto

Fuente: Lansat 5

Barra de arena en cauce de río (B-a)

Es un tipo de depósito fluvial que se forma en las márgenes o dentro del cauce del río a consecuencia de la acumulación de sedimentos retenidos por obstáculos y/o disminución de la velocidad de las corrientes del agua (fotografía 4.8). Es

principalmente de forma semicircular y es visible cuando los ríos están en la época de vaciante o estiaje.

Es común observar barras de arena en los ríos Tahuamanu, Las Piedras, De Las Piedras, Manu, Madre de Dios, Inambari y Tambopata.



Fotografía 4.8 Barra de arena en la margen izquierda del río Madre de Dios, Puerto Maldonado

Meandro abandonado (Ma)

Esta subunidad se refiere a pequeñas lagunas de origen fluvial, similar a la letra "U" o de forma semicircular. Los lugareños de la amazonia peruana la conocen con el nombre de "tipishca". Se forma en general cuando el río corta el cuello de un meandro para acortar su curso, lo que hace que el antiguo canal quede rápidamente bloqueado, y luego quede separado del cauce. Ver figura 4.11.

Las tipishcas están comunicadas con el río y entre sí por un canal o caño. Las más antiguas reciben agua sólo en la época

de creciente, y están cubiertas de vegetación y son de tipo pantanoso. Las más recientes tienen el espejo de agua libre de vegetación flotante al menos en gran parte del año.

Las características de las aguas dependen del tipo de río que las abastece. Si es un río de aguas negras, la cocha será del tipo de aguas negras. En cambio, si es un río de aguas turbias, la cocha también será de este tipo. Sin embargo, las últimas, durante la época de vaciante, cuando no tienen afluencia de aguas, se tornan en aguas claras por la decantación de los sedimentos.



Figura 4.11 Vista de meandros abandonados en los límites de los distritos de Madre de Dios, Laberinto e Inambari, zona de los poblados de San Juan Chico, Cerro Colorado, Boca Amigo, Las Palmeras y Cinco Islas

Fuente: Lansat 5

Se observa estrangulamiento de meandros en las márgenes de los ríos Tahuamanu, Las Piedras, De las Piedras, Cariyacu, Manu, Madre de Dios, Los Amigos, Inambari, Shaehuaca, Malinousqui, Tambopata, entre otros.

A partir de lo observado en las imágenes de satélite, es posible que en los próximos años surjan meandros abandonados. Estas áreas se presentan en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2

Zonas susceptibles de la formación de meandros abandonados

Paraje o zona	Descripción
Puerto Maldonado, Sector La Pastora (río Madre de Dios) 477826 / 8609881	La dinámica fluvial del río Madre de Dios erosionó el acantilado y el talud en el sector de La Pastora. La zona afectada mide más de 60 m, poniendo en peligro la integridad de la infraestructura del tramo 3 de la Carretera Interoceánica Sur y con ello la conectividad de las poblaciones de Madre de Dios con el resto del país. Además, si la erosión continúa, el cauce podría cambiar de curso y dejar un meandro abandonado (ver imagen satelital). En la actualidad el cuello del meandro mide aproximadamente 1440 m. Ante este problema el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y la Concesionaria IIRSA Sur plantearon una solución, de alta tecnología, para revertir los efectos naturales ocasionados por el agua. Para estabilizar la base del acantilado, se desarrolló un modelo hidráulico de defensa ribereña constituido por 12 espigones metálicos que no necesitan madera, concreto, ni movimiento de suelo para ser colocados (fotografía 9). Estos espigones sirven para reducir la velocidad de la corriente de agua disminuyendo la erosión del talud y permitiendo que, a mediano y largo plazo, los sedimentos que trae el río se vayan depositando en la orilla estabilizándola. La obra se complementa con un drenaje formado por cunetas que se construyen al borde del acantilado para captar el agua de la lluvia y dirigirla al drenaje de la carretera evitando su acción erosiva. Fuente: https://www.iirsasur.com.pe
Tres Islas (río Madre de Dios) 460085 / 8611532	Dentro del distrito de Tambopata, al sur del poblado Tres Islas, se observa una erosión fluvial en la margen del río Madre de Dios y estrechamiento del cuello del meandro (Ver figura 4.13). La distancia aproximada del cuello de meandro para que se forme un nuevo meandro abandonado es de 1980 m. El cambio de curso del río Madre de Dios dejará sin acceso fluvial a los sectores o poblados como Tres Islas, Fundo Menyorca, Palmichal y Playa Alta.

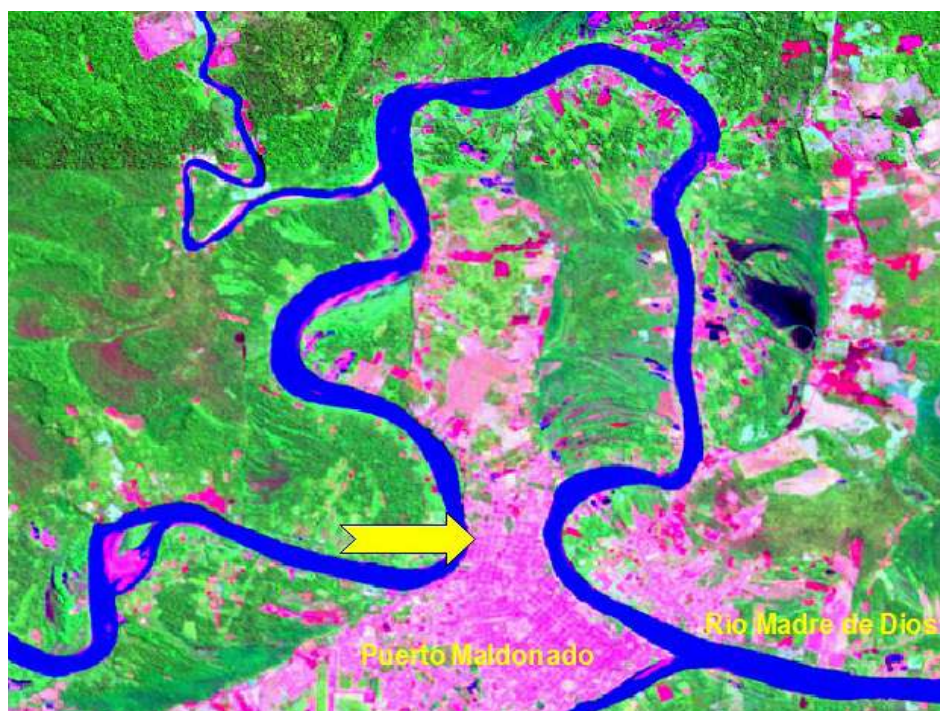


Figura 4.12 Estrangulamiento de meandro en el río Madre de Dios, Puerto Maldonado

Fuente: Lansat 5



Fotografía 4.9 Defensa ribereña en base a espigones metálicos en la margen derecha de río Madre de Dios, sector La Pastora-Puerto Maldonado

Fuente: <https://www.iirsasur.com.pe>

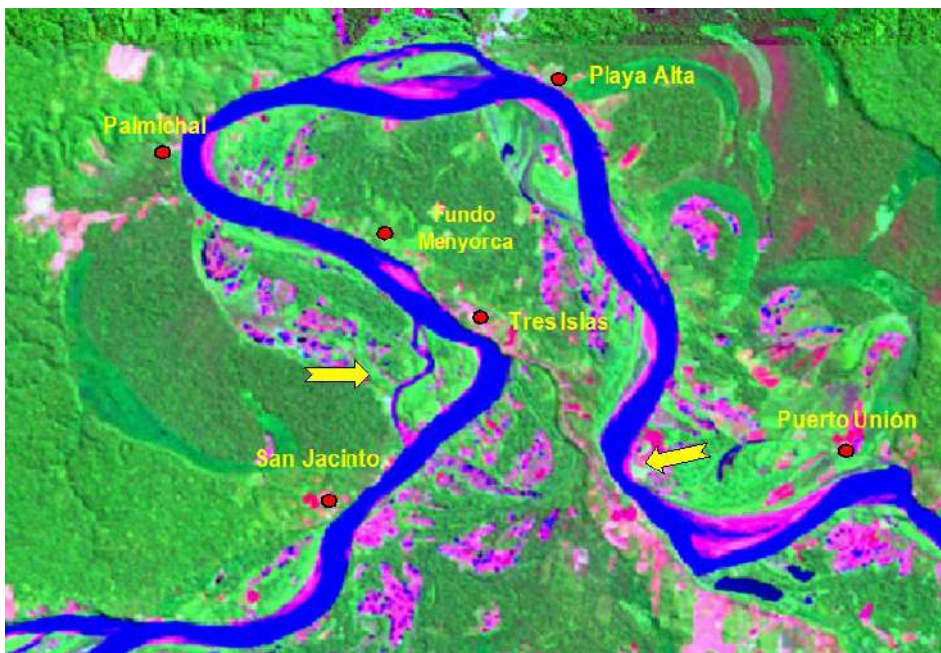


Figura 4.13 Estrangulamiento de meandro en el río Madre de Dios, en el sector Tres Islas

Cauce del río (Río)

Los ríos en la región de Madre de Dios se presentan principalmente con orientación noroeste-sureste y suroeste-noreste, con drenajes de tipo subdendrítico a paralelo.

Debido a la infinidad de ríos presentes en esta región solo vamos a mencionar los principales, que son los que destacan debido a su longitud, anchura y a sus principales afluentes. Entre ellos tenemos: Tahuamanu, Las Piedras, Manu, Madre de Dios, Colorado, Inambari y Tambopata.

Actividad Minera (Am)

Esta subunidad corresponde en su totalidad a la actividad minera desarrollada dentro de la región de Madre de Dios, principalmente en el río Malinowski entre las quebradas Colmena y Huaypo, río Mayo, río Inambari, margen derecha del río

Caychihue, margen izquierda del río Huaypetuhe (fotografía 4.10), río Puquiri, zona Nueva Arequipa entre las quebradas Huacamayo Grande y Jayave (fotografía 4.11) y río Madre de Dios (fotografía 4.12).



Fotografía 4.10 Montículos de sedimento producto de la actividad minera fluvial. Fotografía tomada en sureste de Huaypetuhe.



Fotografía 4.11 Tomada cerca al poblado de Nueva Arequipa, se observa “chutes” para la extracción de oro aluvial.



Fotografía 4.12 Vista tomada con dirección suroeste desde la margen izquierda del río Madre de Dios, al norte de la ciudad Puerto Maldonado, aguas arriba antes de la confluencia con el río de Las Piedras. Se observa la actividad minera fluvial.

CAPÍTULO V

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

5.1 GENERALIDADES

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

En la región Madre de Dios, la clasificación de algunos casos estuvo basada en el componente litológico mayoritario de la formación geológica. La caracterización hidrogeológica considera las formaciones geológicas de acuerdo con sus características litológicas-estructurales y su comportamiento permeable o impermeable como acuíferos, acuitardos y acuícludos, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en el Mapa Hidrogeológico de la Región Madre de Dios (mapa 5).

5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA REGIÓN MADRE DE DIOS

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

Del mismo modo, esta caracterización nos permite determinar cuáles unidades de roca o depósitos superficiales retienen o dejan transmitir el agua subterránea a fin de evaluar qué medios geológicos favorecen una mayor susceptibilidad de los procesos de ocurrencia de movimientos en masa. Las unidades hidrogeológicas se diferencian entre sí por un color característico de acuerdo con el grupo al que pertenecen. Su caracterización se realizó teniendo en cuenta la geomorfología y geología como medios de circulación. Se ha considerado

también las propiedades hidráulicas de los materiales como la transitividad, la porosidad y la disposición estructural de las diferentes litologías que afloran en este sector.

Los acuíferos en la región Madre de Dios están conformados, fundamentalmente, por acuíferos porosos no consolidados, seguidos por los acuíferos fisurados sedimentarios, acuitardos intrusivos y sedimentarios y acuícludos metamórficos. La secuencia estratigráfica que presenta la región Madre de Dios está constituida por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas con rangos cronológicos comprendidos desde el Paleozoico hasta el Cuaternario reciente, cuyas características hidrogeológicas son también influenciadas por la edad de las formaciones rocosas y el aspecto estructural, las cuales fueron clasificadas de la siguiente manera (mapa 5):

5.2.1 Acuíferos

Son unidades hidrogeológicas que están conformadas por formaciones geológicas con capacidad de almacenar y transmitir aguas subterráneas a través de sus fracturas, poros y la interconexión entre estas. El grado en que se presentan estas propiedades varía mucho de una formación geológica a otra y su magnitud puede variar con la estructura geológica. Conforman la unidad hidrogeológica con mayor exposición (26.44 % del área total de la región). Se clasificó los siguientes tipos de acuíferos:

Acuíferos Porosos No Consolidados (APNC)

Son estratos continuos formados por materiales de alta permeabilidad intrínseca que se extienden desde la superficie del terreno hasta la base del acuífero. A este tipo de acuífero se le conoce como acuífero no confinado o libre. La recarga se produce debido a una infiltración vertical en la zona no saturada. También se puede producir mediante el flujo subterráneo lateral o desde estratos inferiores. Están compuestos por depósitos aluviales y fluviales distribuidos en los valles principales y tributarios mayores (cauce, rellenos de ríos o quebradas, abanicos, terrazas y llanuras aluviales), acumulaciones fluvio-glaciares en las márgenes o terrazas de valles superiores. También se encuentran en esta unidad depósitos de movimientos en masa, así como depósitos de remoción heterogéneos y depósitos de bofedales de altiplanicie

cuya estructura de salida consiste en materiales granulares sin cementar. Su porosidad varía de 5 % en arenas a 50 % en gravas fluviales. Su permeabilidad varía de 1 a 100 m/día con un promedio de 35 m/día. La conductividad hidráulica de este tipo de acuífero está básicamente condicionada por la magnitud y disposición geométrica de su porosidad intergranular primaria.

Corresponde a formaciones geológicas detríticas no consolidadas, porosas y permeables. Tienen una distribución irregular en toda la zona de estudio. Litológicamente están constituidos por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz limo arenosa, limos y niveles orgánicos y materiales residuales no consolidados. Son formaciones permeables no consolidadas. Estos acuíferos porosos tienen extensión regional, de mediana productividad.

Acuíferos fisurados sedimentarios (AFS)

Esta unidad hidrogeológica comprende las formaciones geológicas compuestas por rocas sedimentarias consolidadas, donde el flujo subterráneo también depende del proceso de fisuración, que se debe a procesos tectónicos y alteraciones exógenas secundarias. Litológicamente están compuestos por areniscas, las que constituyen generalmente importantes acuíferos, areniscas cuarzosas, calizas, con algunos niveles delgados de conglomerados y lutitas. Su porosidad primaria se incrementa por el grado de fisuración a las que están expuestas, aumentando así la percolación y el almacenamiento de las aguas subterráneas. Las formaciones geológicas que fueron consideradas como acuíferos fisurados sedimentarios en la región son:

- Acuífero fisurado sedimentario Chonta. Litológicamente consta de una gruesa secuencia arcillo limosa, en algunos niveles arenosa, constituida por lutitas gris verdosas, limolitas rojo marrón y violáceas, en partes de color ocre amarillento por oxidación; margas gris rojizas, calizas grises, areniscas cuarzosas en capas medianas, ocasionalmente con huellas de gusanos y rizaduras. Puede ser observado a lo largo del río Inambari desde 400 m antes del Puente Inambari, aguas arriba hasta Puerto Cuesta Blanca (antes de Cárcel Punco). Esta formación corresponde a acuíferos alargados fisurados sedimentarios de mediana extensión en la parte alta y media del departamento, con buen potencial hidrogeológico.
- Acuífero fisurado sedimentario Río Tambo. Compuesto litológicamente de areniscas gris rojizas, limolitas y limoarcillitas siempre de color rojizo. Las areniscas constituyen los principales acuíferos fisurados producto de su permeabilidad por fisuración.
- Acuífero fisurado sedimentario Vivian. Compuesto por secuencia de areniscas blancas cuarzosas sacaroideas, de

grano fino a grueso. Sus afloramientos conforman una faja continua de rumbo NO-SE a lo largo de la faja Subandina. Alcanza espesores que pueden variar de 100 a 150 m, como en el Alto Inambari (Valdivia, 1974).

- Acuífero fisurado sedimentario Copacabana. Aflora en el pongo de Coñec. Litológicamente está conformado en la parte inferior por calizas y dolomitas con intercalaciones de arcillitas grises y limolitas rojas. En la base las calizas son de grano fino y presentan rizaduras. En la quebrada Singuebeni es más clástica, aparecen areniscas cuarzosas de color rojo ladrillo, de grano grueso subredondeado.
- Acuífero fisurado sedimentario Ambo. Aflora entre el pongo de Coñec y Pillcopata. Se atribuye tentativamente a este grupo por su litología. Está compuesto por areniscas cuarzosas blancas, ligeramente rosadas con cuarzos hialinos y rosados, de grano medio subredondeado, y areniscas micáceas estratificadas en banco de 5 m de grosor.
- Acuífero fisurado sedimentario Huayabamba. Aflora entre la quebrada Santa Isidora-río Colorado y el río Inambari, que se adelgaza hacia el este. Litológicamente está conformado por secuencia de lodolitas rojas abigarradas, limolitas y areniscas localmente tufáceas.

5.2.2 Acuitardos (AT)

Los acuitardos conforman un 71.55 % del área total de la región Madre de Dios. En general, comprenden rocas ígneas y sedimentarias intensamente cementadas, aunque existen formaciones de baja permeabilidad o impermeables en terrenos volcánicos y volcánico-sedimentarios.

Algunos materiales intrusivos se encuentran fracturados solo en la superficie, producto de la meteorización y el tectonismo de la zona. Estas unidades hidrogeológicas son importantes por las características que tienen las rocas y suelos, que poseen la capacidad de almacenar agua subterránea. Sin embargo, la transmisibilidad es muy lenta o en forma localizada debido a su baja o casi nula permeabilidad. Esta característica los hace muy susceptibles a la generación de movimientos en masa. De acuerdo con la amplia exposición de acuitardos en la región, se les clasifica de la siguiente forma:

Acuitardos intrusivos (ATI)

Esta unidad hidrogeológica está compuesta fundamentalmente por el complejo de Iscaybamba, así como stocks y diques básicos de edad más joven. En el área de estudio las rocas intrusivas son escasas.

Superficialmente se encuentran fracturadas y en ocasiones afectadas por la meteorización, lo que genera el incremento

de porosidad secundaria. Sin embargo, esto se desarrolla de manera superficial, ya que a mayor profundidad tiende a ser masivo y compacto (las fracturas son superficiales y van desapareciendo a mayor profundidad), lo que limita mucho las posibilidades de almacenar y transmitir aguas subterráneas. Por ello es de escaso interés hidrogeológico. Se caracterizó a esta unidad como acuitardo intrusivo regional, por sus características litológicas y estructurales. Son impermeables y carecen de interés hidrogeológico. Sin embargo, pueden aflorar algunos manantiales puntuales.

Acuitardos sedimentarios (ATS)

Los acuitardos sedimentarios se encuentran en dos sectores marcados al sur y este de la región. Constituyen materiales con gran cantidad de niveles finos (lutitas, limolitas, arcillas). Otra característica es que en la parte basal están conformados por conglomerados compactos. En algunos casos, las capas de posible interés como las areniscas feldespáticas, tienen matriz limosa, que lo hace menos permeable y de escaso interés hidrogeológico. Se los ha clasificado en:

- Acuitardo sedimentario Madre de Dios. Compuesto por una extensa cobertura encima de las capas rojas neocomianas, siendo en las partes altas un piedemonte de naturaleza conglomerádica en la base, seguida de sedimentos areniscosos, mientras que en las partes bajas está constituida por arenas, limos y arcillas. Esta unidad hidrogeológica aflora en el río Tambopata, en la boca del río Malinowsky, en la localidad de Baltimori, así como, en la desembocadura del río Javave hacia el Inambari.
- Acuitardo sedimentario Chambira. Esta unidad hidrogeológica aflora en el alto río Inambari, entre los poblados de Atalaya y Shintuya. Litológicamente está formado por una secuencia de areniscas cuarzosas grises de grano medio a fino, estratificados en bancos de 1 a 2 m de espesor.
- Acuitardo sedimentario Yahuarango. Compuesta principalmente por sedimentos pelíticos de color rojo a marrón rojizo, moteados de verde, intercalados con capas

de arenisca marrón arcillosa de grano fino a medio. Se distribuye en los flancos del anticlinal de Pantiacollay, en el flanco nororiental del homoclinal de Teparo Punta, así como en la depresión entre estos altos estructurales. Esta secuencia de capas rojas es de origen continental, con facies de canales meandriformes y llanura de inundación en ambientes de poca pendiente.

- Acuitardo sedimentario Tarma. Esta unidad hidrogeológica está compuesta encima por areniscas cuarzosas rosadas con clastos blandos hacia la base. Luego, intercalaciones de lutitas grises con delgadas capas de arenisca masiva, limolitas rojas y areniscas verdes, con estratificación oblicua. Hacia el tope, se intercalan capas delgadas de areniscas verdes, calizas dolomíticas y limolitas rojas.
- Acuitardo sedimentario Cabanillas. Se le ha reconocido en la parte inferior aguas abajo del puente de Pillcopata, donde litológicamente está constituido por pelitas limo arcillosas gris oscuras, micáceas y con pirita diseminada. Contienen nódulos de la misma composición con núcleos piritosos y carbón grafitico en la matriz. Se presentan estratificadas en capas delgadas de 9 a 10 cm que forman paquetes hasta de 3.5 m. También se observa intercalaciones de tobas volcánicas.

5.2.3 Acuicludos (ACM)

Los acuicludos son formaciones impermeables. Tienen capacidad de almacenamiento a través de los poros que normalmente no están interconectados; por lo tanto, la circulación de aguas subterráneas es nula. Desde el punto de vista litológico están compuestos principalmente por rocas metamórficas: pizarras, esquistos cuarcitas filitas y lutitas, de composición félsica-máfica, que han sufrido metamorfismo regional de emplazamiento profundo a medio. Su exposición en la región es muy reducida (1.34 %).

- Acuicludo Ananea, que consta de una secuencia gruesa de lutitas negras con esquistosidad de flujo, finamente estratificadas.

CAPÍTULO VI

PELIGROS DE ORIGEN NATURAL

6.1 GENERALIDADES

A lo largo de la historia, las mayores catástrofes de origen natural han estado asociadas a fenómenos geodinámicos, cuyas principales consecuencias están relacionadas con grandes pérdidas de bienes y vidas humanas. Estas consecuencias se deben, en gran parte, al carácter muchas veces impredecible y a la dificultad de control de dichos fenómenos. Las pérdidas producidas por los peligros geológicos fueron tan elevadas en la década de los noventa que esto generó preocupación en todo el mundo. La manifestación más evidente fue la declaración de Naciones Unidas, llamada Década Internacional para la Reducción de Desastres Naturales (DIRDN).

En los últimos decenios del siglo XX se han producido episodios naturales de rango extraordinario, de consecuencias funestas para la población mundial. Se ha creado la impresión de una mayor ocurrencia de eventos excepcionales, cuando lo que realmente ha habido es el incremento de la exposición de las poblaciones del mundo a los peligros naturales. Los umbrales de tolerancia ante los riesgos de la naturaleza han disminuido por el propio crecimiento de la población mundial y la ocupación intensiva del territorio (Ayala, 2003).

Nuestro país tiene múltiples amenazas que pueden perjudicar a la población, sus medios de vida y la capacidad de producción de bienes y servicios públicos. En la primera década del presente siglo, los sismos del 2001 y 2007 o las lluvias excepcionales

del 2008 y 2009 han causado desbordes de ríos y movimientos de remoción en masa, que a su vez ocasionaron daños en carreteras, puentes, instituciones educativas, de salud, etc. Como resultado final se generó la interrupción de los servicios, pérdidas de beneficios en los usuarios y gastos en reconstrucción (Perú. Ministerio de Economía y Finanzas, 2010).

Mediante la Ley N° 30191, "Ley que establece medidas para la prevención, mitigación y adecuada preparación para la respuesta ante situaciones de desastre", el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) adicionó recursos presupuestales en el Programa Presupuestal 068 para el año fiscal 2014 por un monto aproximado de 1000 millones de nuevos soles (cuadro 6.1). En estas acciones cabe destacar que se asignaron y priorizaron recursos orientados a la investigación científica (elaboración de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo que permiten evaluar el nivel de peligrosidad que tienen los territorios a diversos niveles; así como la vigilancia de la dinámica de tales peligros, los cuales pueden ayudar a la toma de decisiones) y registro de información. La inversión total fue de S/. 1101 millones en los cinco años de intervención. Además, se asignaron recursos para acciones de intervención y reducción del riesgo de desastres y la protección física frente a peligros naturales, lo que hizo un total del S/. 1615 millones. Finalmente, se invirtió la suma de S/. 1833 millones en la preparación adecuada para enfrentar las emergencias y desastres producidos por los acontecimientos de origen natural (cuadro 6.2).

Cuadro 6.1

Asignación de recursos presupuestales para el Programa Presupuestal 0068, AF2001 – 2016

Programa presupuestal	Gasto para	2001	2012	2013	2014	2015	2016
		PIM	PIM	PIM	PIM	PIM	PIM
0068 Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencia por desastres	Proyecto	43 904 254	66 310 287	311 965 273	1 149 366 505	1 344 744 382	734 078 238
	Actividades	23 011 053	158 366 910	538 764 537	784 640 206	1 743 484 850	1 301 698 008
	Total S/.	66 915 307	224 677 197	850 729 810	1 934 006 711	3 088 229 232	2 035 776 249

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, 2016

Cuadro 6.2

Asignación de recursos presupuestales según medios directos identificados en el diseño del PP0068, en los tres niveles de gobierno, AF2011-2016

Medios directos del programa presupuestal 0068	2001	2012	2013	2014	2015	2016	Total
	S/.	S/.	S/.	S/.	S/.	S/.	S/.
Conocimiento del riesgo	0	16 892 382	86 607 129	138 561 667	249 508 568	1 101 119 967	1 101 119 967
Protección física frente a peligros naturales	3 513 003	94 374 155	220 105 446	191 320 791	894 503 253	1 615 355 657	1 615 355 657
Capacidad para el control y manejo de emergencia	19 498 050	47 100 373	232 051 962	454 757 748	599 473 029	480 608 788	1 833 489 940
Total S/.	23 011 053	158 366 910	538 764 537	784 640 206	1 743 484 850	1 301 698 008	4 549 965 564

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, 2016

En el país, debido a su ubicación geográfica y especialmente la región Madre de Dios, se puede citar a las inundaciones, huacos o deslizamientos, la erosión y sedimentación, los vientos y los incendios (de bosques y pastos) dentro de los peligros geohidrológicos o de origen climatológico.

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

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

susceptibilidad y tiene como objetivo ayudar a las autoridades nacionales, regionales, provinciales, distritales y otros, al conocimiento de los peligros geológicos existentes en la región Madre de Dios.

6.2 REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS DESASTROSOS EN LA REGIÓN

Nuestro país, por sus características geográficas y climáticas, geológicas, geomorfológicas y uso del territorio, está ligado a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa (deslizamientos, flujo, etc.), geohidrológicos (inundaciones y erosiones fluviales), sísmico y climáticos de gran impacto, algunos de los cuales se repiten con mucha frecuencia. Aunque algunos son de carácter excepcional, local, otros abarcan grandes extensiones superficiales.

La región Madre de Dios tiene características de orografía, clima, contexto geológico, geomorfológico y sismicidad. La frecuencia de peligros naturales, a diferencia de otras áreas del país, está marcada principalmente por la ocurrencia de inundaciones y erosión fluvial, sequías y heladas, movimientos en masa y sísmicos, en ese orden. Estos peligros están ligados a diversos factores condicionantes (morfología y pendiente de terreno) y detonantes (anomalías climáticas importantes: lluvias intensas cada cierto periodo, fenómeno El Niño, etc.)

La cronología de los principales peligros geológicos está relacionada con la presencia de fuertes lluvias, tal como se muestra en el cuadro 6.3

Cuadro 6.3
Cronología y relato histórico de los principales peligros geológicos en la región Madre de Dios

Principales desastres originados por inundación y erosión fluvial - región Madre de Dios	
Fecha	Evento y Descripción
7/1/1995	Inundación en el distrito de Madre de Dios, Damnificados 1200, viviendas destruidas 20 y viviendas afectadas 300.
2/1/1996	Inundación en el distrito de Madre de Dios, Damnificados 280, viviendas destruidas 40, viviendas afectadas 400 y 300 ha de terrenos de cultivo.
8/26/1996	Inundación en el distrito de Manu, Damnificados 35 y 05 viviendas afectadas.
11/17/1996	Inundación en el distrito de Manu, Damnificados 60 y 10 viviendas destruidas.
2/1/1996	Inundación en el distrito Laberinto, Personas fallecidas 03, personas damnificadas 150, viviendas destruidas 150 y cultivos afectados 08 ha.
1/2/1997	Inundación en el distrito Tambopata, personas damnificadas 86 y cultivos destruidos 864 ha.
2/2/1997	Inundación en los distritos Laberinto y Tambopata, personas damnificadas 496, personas afectadas 2 010, viviendas destruidas 64, viviendas afectadas 335 y cultivos destruidos 371 ha.
2/2/1999	Inundación en el distrito Madre de Dios, personas damnificadas 1400, personas afectadas 427, viviendas destruidas 200, viviendas afectadas 120 y cultivos destruidos 5 000 ha.
2/4/1999	Inundación en el distrito Tambopata, personas damnificadas 14 y viviendas destruidas 2.
2/5/1999	Inundación en el distrito Laberinto, personas afectadas 1068 y viviendas afectadas 300.
2/1/2000	Inundación en el distrito Madre de Dios, personas damnificadas 135 y viviendas afectadas 7.
11/13/2000	Deslizamiento en el distrito Inambari, personas damnificadas 427 y viviendas afectadas 61.
12/14/2000	Inundación en el distrito Manu, personas damnificadas 175.
1/24/2001	Inundación en el distrito Madre de Dios, personas damnificadas 180, viviendas afectadas 77 y cultivos destruidos 30 ha.
3/2/2001	Inundación en el distrito Tambopata, personas damnificadas 468, viviendas afectadas 78 y cultivos destruidos 300 ha.
7/20/2001	Inundación en el distrito Huepetuhe, personas damnificadas 138 y viviendas afectadas 37.
9/13/2001	Inundación en el distrito Fitzcarrald, personas damnificadas 30.
12/16/2001	Inundación en el distrito Fitzcarrald, personas damnificadas 150, viviendas destruidas 2 y viviendas afectadas 2.
1/18/2002	Inundación en el distrito Fitzcarrald, personas damnificadas 80 y viviendas destruidas 16.
1/25/2002	Inundación en el distrito Tambopata, personas damnificadas 2750, viviendas destruidas 200 y viviendas afectadas 350.
2/14/2002	Inundación en el distrito Tambopata, personas damnificadas 378 y viviendas afectadas 54.
5/7/2002	Inundación en el distrito Tambopata, personas damnificadas 37 y viviendas afectadas 8.
19, 29 y 21/01/2003	Inundación de gran magnitud en los ríos Madre de Dios, Tambopata, Colorado, Inambari, Manu, Punquiri. Afectó a los poblados ribereños en el departamento de Madre de Dios: Puerto Maldonado, Boca Amigo, Boca Colorado, Inambari, San Juan, Punquiri y Mazuco; ocasionando la desaparición de 8 familias, 1 800 familias afectadas, 15 comunidades aisladas, viviendas ribereñas destruidas, vías de comunicación interrumpidas.
1/1/2003	Huacos, erosión fluvial, inundaciones y desbordes en el río Araza, en los tramos Puente Inambari-Quincemil-Marcapata. Destrucción de puentes, terrenos de cultivo y varios tramos de la carretera Interoceánica Asís-Puerto Maldonado-Cusco. Evento geodinámico similar también ocurrió en febrero de 1998.
1/1/2004	Inundación en el distrito Las Piedras, personas afectadas 92 y viviendas afectadas 33.
1/4/2004	Inundación en el distrito Tambopata, personas damnificadas 15, personas afectadas 25, viviendas destruidas 4 y viviendas afectadas 6.
1/6/2004	Inundación en el distrito Tambopata, personas fallecidas 1, personas heridas 2, personas damnificadas 18 y viviendas afectadas 40.

6.3 EL PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN

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

Los peligros geológicos por movimientos en masa, los peligros geohidrológicos (erosión fluvial e inundaciones) y los denominados otros peligros geológicos (erosión de laderas) fueron cartografiados utilizando los mapas topográficos del IGN e inventariados utilizando una "ficha o formato de inventario", donde se consignan datos morfométricos, geomorfológicos, geológicos, geotécnicos y de evaluación del peligro, de forma adecuada y fácil llenado. Cada ocurrencia tiene un código de identificación, que ha sido asignado de acuerdo 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 y trabajados en un SIG, lo cual permitió su representación gráfica (mapa 6) y permitió, a la vez, la actualización del banco de datos de peligros geológicos del Perú y efectuar análisis estadísticos sobre frecuencia y ocurrencia. Cada ocurrencia adicionalmente tiene una o más fotografías ilustradas.

Durante el año 2003, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico desarrolló el "Estudio de Riesgos Geológicos del Perú: Franja N° 3", entre los paralelos 10° 00' y 12° 00' de latitud sur, y en el año 2006, desarrolló el "Estudio de Riesgos Geológicos del Perú: Franja N° 4", entre los paralelos 12° 00' y 14° 00' de latitud sur, en cuya parte suroeste se encuentra la República de Bolivia. En el año 2013 se hizo el "Estudio de Peligros Geológicos de la región Madre de Dios", cuyos trabajos de campo se realizaron durante el año 2014, en la región mencionada. Se acumuló un total de 34 días de trabajo de campo.

La conjugación de los datos existentes de los estudios mencionados, registró un total de 225 procesos geológicos (gráfico 6.1).

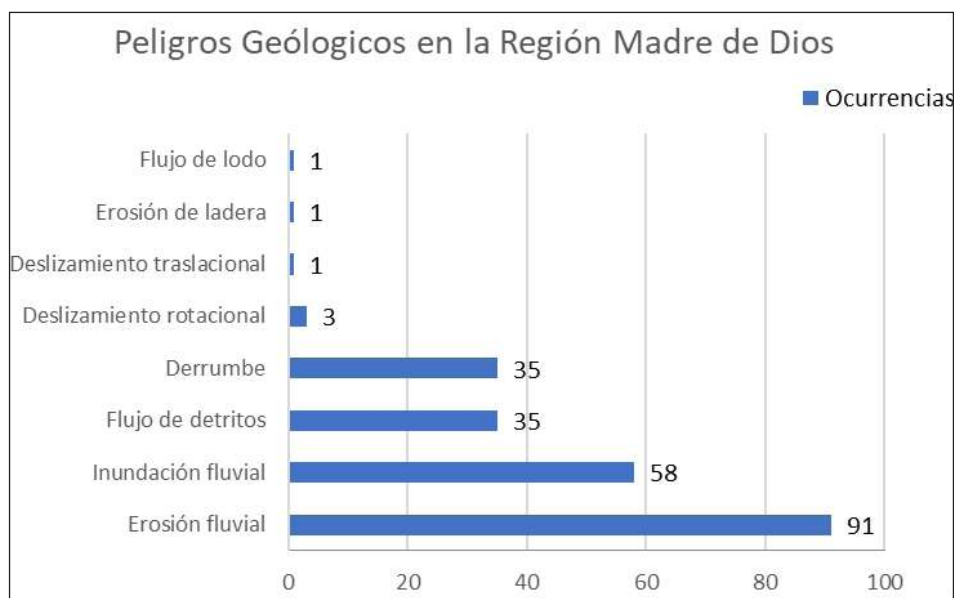


Gráfico 6.1 Inventario de peligros geológicos en la región Madre de Dios

Fuente: Elaboración propia

Cabe precisar que la cartografía de estos eventos, representada en el mapa geomorfológico de la región, muestra una mayor cantidad de ocurrencias, algunas de las cuales no cuentan con ficha de inventario pues proceden de los trabajos de

interpretación de imágenes. Por ende, el trabajo de evaluación del peligro se debe usar de forma conjunta con el mapa de inventario de peligros y el mapa geomorfológico.

En el gráfico 6.2 se aprecia un primer análisis estadístico de las ocurrencias de peligros geológicos, según su origen, en la región Madre de Dios. Los peligros geohidrológicos representan la mayor cantidad de ocurrencias, con un total de 149

acontecimientos, que es el 66.2 % del total; por movimientos en masa con 75 ocurrencias, que es el 33.3 % del total y, finalmente, los denominados otros peligros geológicos tienen 01 ocurrencia y representan el 0.4 % del total.

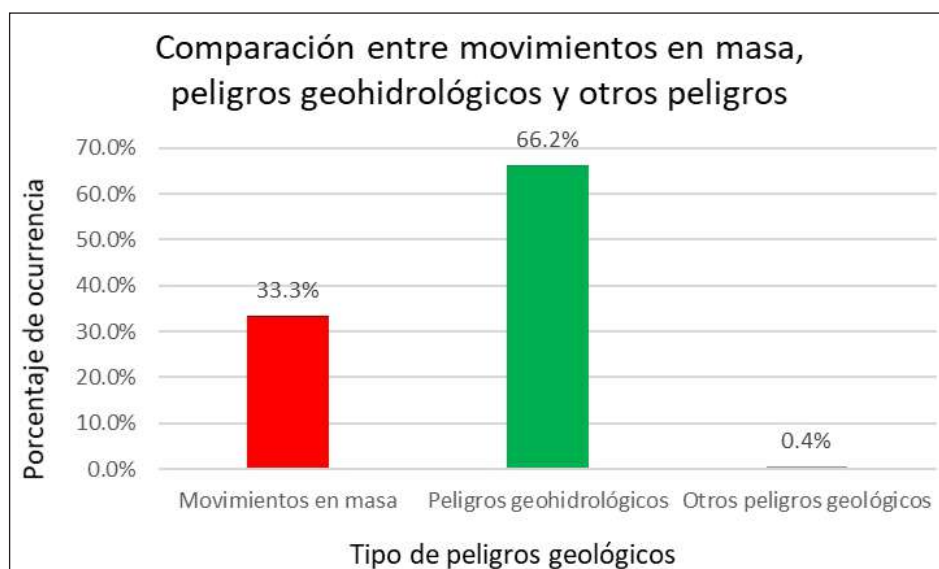


Gráfico 6.2 Ocurrencia de peligros geológicos
Fuente: Elaboración propia

6.3.1 Movimientos en masa

La región Madre de Dios, por sus características geomorfológicas y climáticas, se encuentra expuesta a la ocurrencia de procesos geológicos por movimientos en masa identificados por medio de la interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y con ayuda de Google Earth pro. Estos fueron verificados en campo. Muchos se encuentran activos, por lo que se recomienda que el inventario de peligros geológicos realizado en la región sea siempre utilizado en los trabajos de evaluación de peligros y estudios de prefactibilidad.

Las evidencias 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, talud de detritos o canchales, cierres de valles o represamientos naturales); 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), socavamiento en la base de terraplenes, acantilados o terrazas, entre otros.

Distribución y tipología de los movimientos en masa

Los movimientos en masa están agrupados en seis tipos: flujos (flujos de lodo, flujos de detritos y avalancha de rocas), deslizamientos (rotacional y traslacional), caídas (caída de rocas y derrumbes), movimientos complejos (combinaciones de dos procesos), reptaciones, vuelcos y sus respectivas variaciones en función del tipo de material involucrado.

La cartografía geomorfológica y geodinámica ha permitido diferenciar procesos de movimientos en masa al tomar como base la clasificación de Varnes (1978, 1996) y Hungr *et al.* (2001), así como la terminología sobre movimientos en masa en la región Andina preparado por el Grupo GEMMA (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). La ocurrencia de estos eventos, en su mayoría periódicos, tiene como origen o causas principales las siguientes:

- Litología del sustrato. Es en muchos casos de mala calidad, tanto por su grado de meteorización y/o fracturamiento. Existen materiales más susceptibles que otros, por ejemplo, la presencia de arcillas expansivas. Esto estará determinado por su grado de cohesión, fricción interna, presencia de fallas, diaclasas, planos de estratificación, de exfoliación, buzamiento de los estratos, discontinuidades litológicas con alternancia de materiales duros y blandos o

por permeabilidades e impermeabilidades. Ello condiciona mayor erosión en el suelo residual generado y mayor disponibilidad en las rocas fracturadas, denominadas también características intrínsecas relacionadas con la resistencia de los materiales y los estados de esfuerzos.

- Lluvias de gran intensidad de corta duración o de moderada intensidad y larga duración. Generalmente localizadas en las cabeceras de ríos y/o quebradas, que humedecen y saturan materiales poco o nada coherentes, porosos e intensamente fracturados. Por un lado, ocasionan la erosión por escorrentía pluvial en terrenos impermeables y, por otro, la infiltración que ayuda al incremento de la presión intersticial (en el caso de suelos permeables), disminuyendo el esfuerzo cortante.
- Temperatura y humedad. Se producen deformaciones en el terreno, en zonas frías por periodos de congelamiento y rápido deshielo de suelos y en climas subhúmedos a semiáridos, donde se alternan periodos secos y húmedos. Se ve favorecida la formación de grietas en suelos arcillosos y su expansión debido a variaciones en su estado de humedad. Así también, la formación de grietas contribuye con la infiltración de agua. Los cambios bruscos de temperatura producen la expansión y contracción de los materiales que conforman suelos y rocas, fenómeno que favorece su debilitamiento. Por último, fuertes vientos pueden provocar desprendimientos de materiales incoherentes en taludes y escarpes.
- Presencia de filtraciones y manantiales. El agua en el suelo, de tipo gravitacional o capilar, es un elemento que interviene en la ocurrencia de movimientos en masa; por lo tanto, esta puede disminuir el ángulo de fricción interna entre horizontes y capas de estratos debido a las presiones hídricas generadas; también reduciría la cohesión entre partículas o suelos, debido a tensión capilar, hasta sobrepasar el límite de plasticidad o bien hasta producir el flujo (límite líquido). Los suelos pueden cambiar de estado sólido a líquido cuando aumenta los contenidos de humedad y simultáneamente sufren impulso (la atracción gravitacional en terrenos de fuerte pendiente) o un choque (vibración sísmica en zonas más planas) que promueven su flujo. En este estado los materiales fluyen por su propio peso en terrenos confinados o se deforman en laderas rectas y convexas de poca inclinación. El agua también aumenta el peso de los materiales al rellenar los espacios porosos.
- El tipo de vegetación también influye en la ocurrencia de movimientos en masa. Por ejemplo, cuando hay árboles de

raíces superficiales o se les deforesta para sembrar pastos, estos no amarran el suelo, ni retienen los movimientos, tampoco absorben el exceso de agua infiltrada a alguna profundidad, como sucede con las especies de raíces profundas y ávidas de agua, como el eucalipto. El pastoreo y pisoteo excesivo de ganado en los terrenos de ladera favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.

- Pendiente natural de los terrenos o laderas. El grado de pendiente determina, en gran medida, la velocidad del movimiento. En terrenos con pendientes entre 5° y 30° se producen todo tipo de movimientos en masa más o menos lento. Por encima de los 30° ocurren con mayor frecuencia movimientos rápidos. En pendientes verticales a subverticales se producen caídas de rocas, por ser escasa la presencia de suelos. Las modificaciones de los taludes, hechos en los cortes de la carretera, dejan zonas inestables.
- Existencia de depósitos antiguos de remoción en masa. Son potentes, con presencia de escarpes de deslizamientos o derrumbes, reactivados por erosión fluvial o socavamiento del pie del valle, infiltraciones naturales y de riego.
- La actividad antrópica. Reflejada en trabajos de construcción de vías férreas, carreteras, presas, túneles, labores agrícolas, los trabajos de explotación de canteras y demás actividades mineras, tala y quema de bosques, hacen que los suelos se tornen más propensos a la ocurrencia de movimientos en masa. Las operaciones de mina en el borde del tajo con disposición de material estéril, inestable, susceptible de remoción con lluvias estacionales provocan derrumbes y generación de flujos, vibraciones y modificaciones antrópicas.

Todos estos factores influyen en la ocurrencia de movimientos en masa y pueden cambiar con el tiempo. Por ejemplo, la meteorización que actúa sobre una roca puede, con el tiempo, generar horizontes de suelos donde antes no había. Estos suelos estarían propensos a la ocurrencia de un movimiento en masa.

A continuación, se describirán de manera general los procesos de movimientos en masa encontrados en el departamento, de acuerdo con su tipología:

Derrumbes

Es la disgregación, generalmente de roca, que forma en la base un depósito caótico de material grueso. Es producido por el socavamiento de la base de riberas fluviales, áreas costeras y acantilados rocosos en laderas de moderada a fuerte pendiente por acción de lluvias, movimientos sísmicos y antrópica (cortes de carreteras o áreas agrícolas) (figura 6.1).

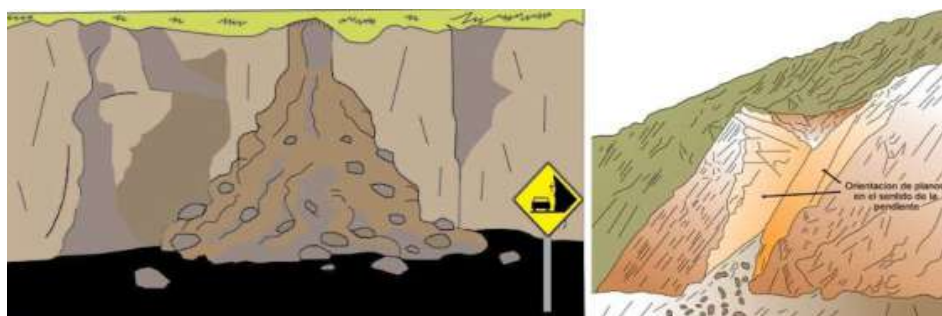


Figura 6.1 Esquema de derrumbe

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007

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

Flujos de detritos. Comúnmente conocidos como “huaicos”, son muy comunes en nuestro país debido a la configuración del relieve en el territorio, conformado por altas montañas, vertientes pronunciadas, estribaciones occidentales sumamente áridas con rocas y suelos deleznable o susceptibles de remoción con aguas de lluvia. Los flujos de detritos son corrientes que se caracterizan por ser muy rápidas a extremadamente rápidas, de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurren, principalmente, confinados a lo largo

de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes.

Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos o conos de detritos. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de “u”, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales (figura 6.3). Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.

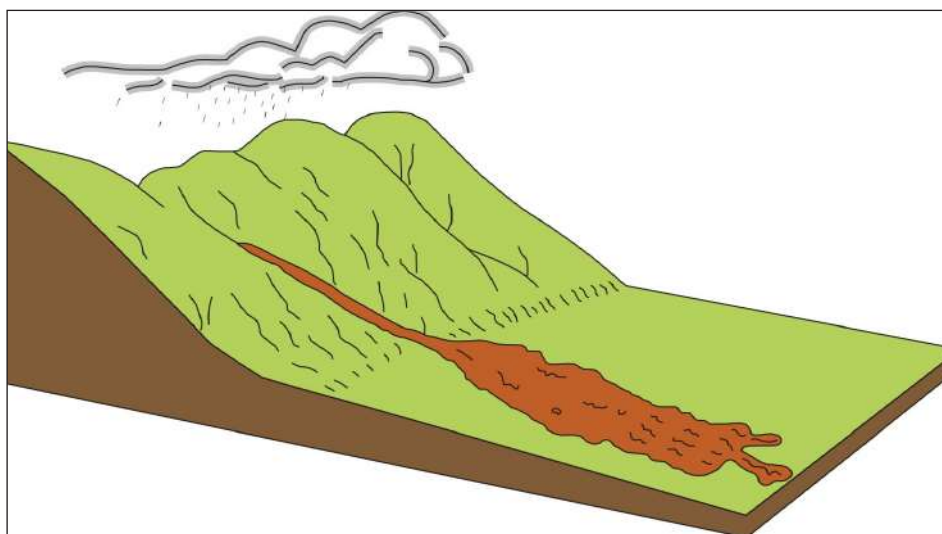


Figura 6.2 Esquema de flujo de detritos

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007

Deslizamientos

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

Deslizamiento rotacional. En este tipo de deslizamiento la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva

cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (figura 6.1). La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

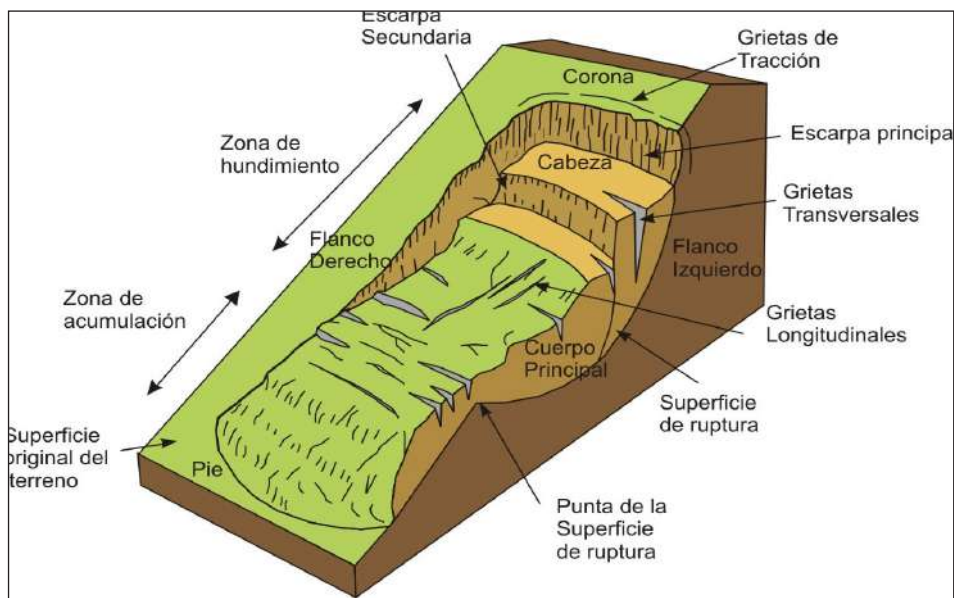


Figura 6.2 Esquema de un deslizamiento rotacional

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007

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

En los casos en que la traslación se realiza a través de un solo plano se denomina deslizamiento planar (Hoek & Bray, 1981). El deslizamiento en cuña (wedge slide) es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre sí e intersectan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos o el buzamiento de uno de ellos.

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

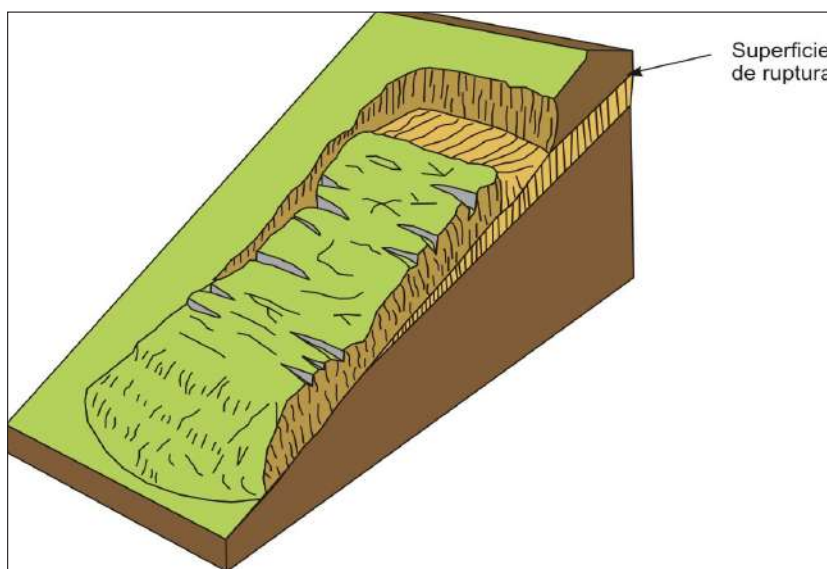


Figura 6.4 Esquema de un deslizamiento traslacional

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007

Inventario y frecuencia de ocurrencias. En la región Madre de Dios hay referencia de un moderado a alto índice de ocurrencia de eventos peligrosos en el periodo histórico o reciente (movimientos en masa detonados por lluvias y sismos). La mayor cantidad de movimientos en masa, ocurridos en la región, se asocian tanto a acontecimientos extremos hidroclimáticos como a movimientos sísmicos.

En la región en años normales, debido a sus características intrínsecas y externas (clima), son también frecuentes procesos de huaicos que afectan principalmente las carreteras. En estas rutas, debido a los cortes inadecuados de los taludes, también son frecuentes los desprendimientos de rocas y derrumbes.

El análisis estadístico de la ocurrencia de movimientos en masa inventariados (225 ocurrencias) se aprecia en el gráfico 6.3. Muestra los flujos y derrumbes en primer lugar con 65 eventos cada uno, deslizamientos (4) y flujo de lodo (1).

La ocurrencia de derrumbes es de 15.56 del total de la región, con 35 ocurrencias. Los derrumbes se presentan en muchos

sectores de la región. En función del tipo de afectación (substrato rocoso), un gran número de derrumbes antiguos tanto en roca como en suelo son comunes en las laderas naturales como cortes de carreteras, muchas veces influenciados por la fuerte pendiente de los taludes, mala calidad del substrato (fracturamiento, meteorización) u orientación desfavorable de las discontinuidades respecto al ángulo del talud. Son frecuentes en frentes montañosos, en rocas sedimentarias, principalmente areniscas, limolitas y arcillitas, como también en calizas y conglomerados.

Los derrumbes se localizan, principalmente, a lo largo de taludes de corte de carreteras que atraviesan rocas muy fracturadas y de mala calidad, como sucede en la carretera Shintuya–Itahuania (kilómetro 5+00 al 8+00) y carretera Mazuko–Santa Rosa (kilómetros 7+900, 16+600 y 18+800), que en cada periodo lluvioso donde sus valores de precipitación se encuentran por encima de los valores normales puede producir el colapso de varios kilómetros del talud superior de la carretera, lo que impide el paso de vehículos y transeúntes (fotografías 6.1 al 6.4).

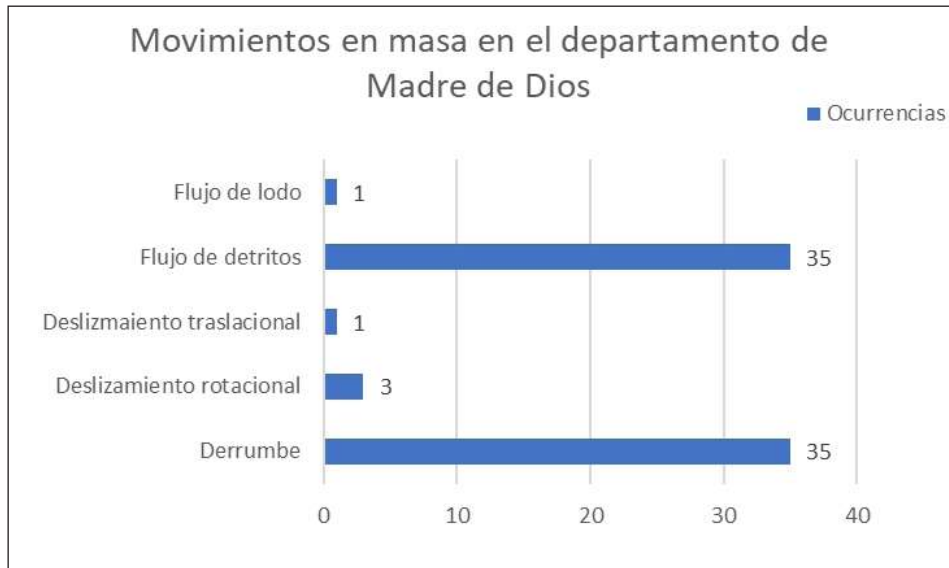


Gráfico 6.3 Ocurrencia de movimientos en masa en el departamento de Madre de Dios
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 6.1 Derrumbe margen izquierda de la quebrada Olivetti, distrito Manu (coordenadas UTM 8580950 N – 239350 E)



Fotografía 6.2 Derrumbe carretera Shintuyo, distrito Manu (coordenadas UTM 8598008 N- 245241 E)



Fotografía 6.3 Derrumbe de talud superior carretera Shintuyo-Santa Rosa km 8+00, distrito Manu (coordenadas UTM 8596434 N – 255511 E)



Fotografía 6.4 Derrumbe, tramo de carretera Mazuco km 287+830, distrito Inambari (coordenadas 8569926 N – 358375 E)

Flujos de detritos y flujos de lodo (16.00 %). Estos constituyen la cantidad intermedia de ocurrencias, con 36 eventos, fundamentalmente en materiales de fácil susceptibilidad de sufrir la erosión pluvial (depósitos aluviales y rocas sedimentarias compuestos de areniscas, lutitas y conglomerados). Se generan huaicos y flujos de lodo canalizados que interrumpen periódicamente tramos de carreteras y/o afectan áreas de cultivos en las laderas de los valles.

Se distribuyen en la parte suroeste de la región. Es así que se puede encontrar depósitos de abanicos de flujos de detritos

en los valles de los ríos Salvación, Yunguyo y Dos de Mayo, entre otros, y quebradas tributarias como Apoyo, Adanrayo, Cabo de Hornos, Mansilla, Chiforongo y Seca. Muchos de estos ríos presentan grandes depósitos de flujos de detritos, principalmente los que drenan hacia la vertiente del océano Atlántico. Sin embargo, no siempre se encuentran activos. Estos solo se activan cuando se presentan lluvias excepcionales, lo que muchas veces motiva la ocupación antrópica de los mismos, al existir grandes periodos de calma (fotografías 6.5 al 6.7).



Fotografía 6.5 Flujo de detritos en la quebrada Gamitor, distrito Manu (coordenadas UTM: 8573662 N – 245153 E)



Fotografía 6.6 Flujo de detritos en el río Yunguyo, distrito Manu (coordenadas UTM: 8582948 N – 242905 E)



Fotografía 6.7 Flujo de lodo, kilómetro 2.75+100 de la carretera Mazuco-Tambopata (coordenadas UTM: 8564078 N – 353979 E)

Deslizamientos rotacionales y traslacionales (1.77 %). Con 04 ocurrencias, tiene un área de afectación menor que otros peligros. Los deslizamientos cartografiados en el área son antiguos como recientes y los que se encuentran involucran en su mayoría formaciones superficiales (aluviales) así como también al substrato rocoso muy fracturado y alterado. Los deslizamientos hoy activos son procesos antiguos, reactivados o acelerados en su actividad en los últimos años, que se encuentran comprometiendo litologías de todos los tipos,

como son sedimentarias (areniscas, lutitas y limolitas), con poca área y volúmenes comprometidos hasta configurar verdaderos deslizamientos, como los que se encuentran en los sectores La Cabecera, distrito Inambari, Cabo de Hornos, distrito Manu, y puente Chiforongo, distrito Huapetuhe. Se producen deslizamientos rotacionales-traslacionales en suelos incoherentes, heterogéneos con pendiente moderada (fotografía 6.8).



Fotografía 6.8 Deslizamiento traslacional ubicado en la margen izquierda de la quebrada. La masa se desliza con una dirección norte 167° , afectando plataforma de carretera y estructura del pontón (coordenadas UTM: 8541845 N – 349677 E).

Susceptibilidad de tener movimientos en masa

El análisis de susceptibilidad de tener movimientos en masa requiere de la combinación de diferentes factores que condicionan la ocurrencia de peligros de movimientos en masa (intrínsecos). Al considerar la escala de trabajo, la metodología utilizada es el modelo heurístico multivariado, que consiste en la superposición de capas de variable (Carrara *et al.*, 1995 y Lain *et al.*, 2011), donde se dan valores a cada parámetro condicionante de acuerdo con el conocimiento experto e histórico del lugar que se evalúa.

Para ello, se han integrado los mapas temáticos de pendiente de los terrenos, geomorfología, litología, cobertura vegetal y uso de suelo e hidrogeología, asignando diferentes porcentajes a cada uno de ellos (cuadro 6.4) y diferentes pesos para las unidades diferenciadas en cada una de ellas en forma independiente (cuadro 6.5). Esto permitió zonificar la región en rangos de susceptibilidad desde muy alta a muy baja (mapa 7).

Cuadro 6.4
Ponderación de variables temáticas

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

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6.5

Unidades consideradas y susceptibilidad de haber movimientos en masa en el departamento de Madre de Dios

Factores	Susceptibilidad de haber Movimientos en Masa				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pendiente	< 1°	1° - 5°	5° - 15° > 45°	15° - 25°	25° - 45°
Geomorfología	Cauce del río	Meandro abandonado	Colina en roca sedimentaria	Relieve de montaña en roca intrusiva	Relieve de montaña estructural en roca sedimentaria
	Sistema de pantanos y aguajales	Barra de arena en cauce de río	Colina estructural en roca sedimentaria	Relieve de montaña en roca sedimentaria	Vertiente o piedemonte aluvial
	Complejo de orillares meándricos recientes	Isla fluvial	Lomada en roca sedimentaria	Relieve de montaña en roca metamórfica	
	Terraza aluvial con meandros abandonados	Complejo de orillares meándricos antiguos	Actividad minera		
	Terraza baja aluvial	Terraza indiferenciada			
	Terraza aluvial	Terraza alta aluvial			
		Llanura o planicie disectada aluvial			
		Altiplanicie sedimentaria			
Litología	Depósitos fluviales	Depósitos aluviales	Conglomerados, areniscas, lodolitas, limoarcillitas y lutitas	Granitos	Depósito coluvio-aluvial
		Depósito químico	Gneis	Lodolitas, limolitas, limoarcillitas y lutitas	
		Calizas, lutitas, carbonosas, limoarcillitas y margas	Mármol y cuarcita		
Cobertura vegetal y uso de suelo		Bosque húmedo de terraza baja y media	Bosque húmedo de terraza alta	Bosque húmedo de colina bajas y lomada	
		Aguajal	Bosque húmedo de colina alta	Bosque húmedo de montaña	
		Cocha	Bosque húmedo de superficie plana inclinada		
		Sabana hidrofítica	Pajonal altoandino		

Fuente: Elaboración propia

Los grados de susceptibilidad se describen en el cuadro 6.6. Estos se obtuvieron a partir de las interacciones entre los cinco mapas de factores temáticos (pendientes, litología, geomorfología, cobertura vegetal y uso de suelo e hidrogeología), con ayuda del GIS (ARCGIS 10.3 y los softwares Spatial Analyst y 3D Analyst), y utilizando la siguiente ecuación:

$$SMM = \frac{SCV (0.10) + SH (0.15) + SG (0.28) + SP (0.20) + SL (0.27)}{5}$$

En donde:

SCV : Susceptibilidad del parámetro Cobertura Vegetal y uso de suelo

SH : Susceptibilidad del parámetro Hidrogeología

SG : Susceptibilidad del parámetro Geomorfología

SP : Susceptibilidad del parámetro Pendiente

SL : Susceptibilidad del parámetro Litología

Cuadro 6.6

Susceptibilidad de tener movimientos en masa en el departamento de Madre de Dios

Distribución Geográfica	Recomendaciones
Susceptibilidad muy alta: Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran movimientos en masa.	
En esta zona no se encuentra gran desarrollo antrópico; solo es posible encontrar algunas comunidades como por ejemplo Cumerjali.	Se debe prohibir el desarrollo de toda infraestructura, si no se tiene el conocimiento geológico detallado previo. Son necesarios los estudios geológicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción de cualquier tipo de infraestructura (carreteras, puente, presas, hidroeléctricas) o habilitación urbana.
Susceptibilidad alta: Confluye la mayoría de las condiciones del terreno favorables para generar movimientos en masa, cuando se desestabilizan las laderas por causas naturales (por levantamiento o abatimiento de nivel freático, erosión en el pie de laderas, etc.) o por modificación de taludes por acción del hombre. Colinda con zonas de muy alta susceptibilidad en la Cordillera Oriental. En esta zona han ocurrido movimientos en masa o existe la posibilidad de que ocurran.	
Tampoco se encuentra gran desarrollo antrópico, solo es posible encontrar algunas comunidades como son Ichiminea, Mapitonoa, Mamería, Tonchaca, Pampa Arizona; Gamitama, entre otros.	Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana y de instalaciones, o esta debe de ser muy bien planificada y contar con sus respectivos estudios de zonificación por peligros geológicos a escala local. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deben de realizar estudios geotécnicos de detalle.
Susceptibilidad media: Presenta algunas condiciones favorables para producir movimientos en masa. En esta zona han ocurrido algunos movimientos en masa y no existe completa seguridad de que no ocurran. Estos eventos pueden ser detonados por sismos o lluvias excepcionales.	
Estas áreas también se encuentran circundando áreas de susceptibilidad baja. Se observa que hacia los bordes de planicies disectadas se produce derrumbes, deslizamiento y procesos de erosión de ladera, que pueden afectar toda infraestructura que se encuentre cerca a estos bordes. Dentro de esta zona se ubican algunos centros poblados.	Es probable que cuando se construyan obras de infraestructura en estas áreas se generen movimientos en masa, por lo que se recomienda conocer en detalle las propiedades de los terrenos para tomar decisiones respecto a la viabilidad del desarrollo de infraestructura urbana, industrial, etc.
Susceptibilidad baja: Las condiciones intrínsecas del terreno no son propensas a generar movimientos en masa. Son zonas que tienen pocas condiciones para originar movimientos en masa, salvo que puede ser afectada por movimientos en masa ocurridos en zonas de susceptibilidad alta a muy alta cercanas a ellas, detonadas principalmente por lluvias excepcionales.	
Estas áreas se localizan en los abanicos aluviales de los ríos Madre de Dios, Los Amigos, las Piedras y Tahuamanu. Dentro de esta zona se han desarrollado las localidades de Iñapari, Puerto Maldonado, Salvación, entre otros centros poblados.	En esta zona se puede permitir el desarrollo de infraestructura siempre y cuando se incorporen las recomendaciones del estudio de diseño para hacer viable cualquier proyecto, o adaptarse a las condiciones del terreno. Se debe realizar evaluaciones por procesos de inundación y erosión fluvial.
Susceptibilidad muy baja: Terrenos con pendientes muy bajas, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos. 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.	
Estos terrenos se pueden considerar relativamente estables. En estas áreas se encuentran las terrazas de los ríos Madre de Dios, Tambopata, Las Piedras, Tahuamanu, entre otros. Dentro de esta zona se encuentran asentados los poblados de Salvación, Huayan, Mashcotinia, Llactapampa, José Olaya y Espejo, entre otros.	Es imprescindible realizar en esta zona una evaluación por procesos hidrometeorológicos circundantes (inundación y erosión fluvial) en las áreas de escorrentía, generación de flujos de detritos u otros movimientos en masa en sus zonas marginales.

Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Peligros geohidrológicos

Dentro de este tipo de peligros se ha considerado la inundación fluvial, lagunar y erosión fluvial o de riberas. Los procesos se originan en función de la pendiente y morfología del cauce fluvial (terrazas bajas y llanuras de inundación). Son generalmente inundaciones de tipo fluvial y erosión o socavamiento en las riberas o márgenes aluviales (terrazas) o procesos combinados. En la región Moquegua representa el 4.47 % del total de peligros inventariados.

Inundaciones

La inundación fluvial se define como el terreno aledaño al cauce de un río, que es cubierto por las aguas después de una crecida (Dávila 2006). Las causas principales de las inundaciones son las precipitaciones intensas y las condicionantes principales son: las terrazas bajas, la dinámica fluvial y en algunos casos la deforestación.

Las zonas inundables son aquellas que durante sucesos normales a extraordinarios (lluvias promedio con avenidas estacionales y lluvias intensas con avenidas poco frecuentes) son anegadas o inundadas, siendo estas principalmente adyacentes a los ríos y cursos de aguas. Son conocidas como llanura de inundación.

La llanura de inundación corresponde a aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia. Son, por lo tanto, "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de estas excede un nivel aceptable. Esta se puede considerar desde perspectivas diferentes: como categoría topográfica es plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río; hidrológicamente, definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río. Una combinación de estas tres características cubre los criterios esenciales para definirla (Schmudde, 1968).

Los sectores donde se generan estos procesos son variables; la morfología es un factor fundamental en la determinación de zonas susceptibles. Para identificar las áreas de inundación se utilizan tanto criterios geológicos (tipo de lecho del cauce y márgenes) como hidrológicos (huellas de acontecimientos anteriores ya sea periódicos o excepcionales), geomorfológicos (altura de terrazas, divagación del cauce) y de vegetación (tipo y edad de vegetación presente en las márgenes).

Erosión fluvial

Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos, socavando los valles, profundizándolos, ensanchándolos y alargándolos (Dávila, 1999). Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas precipitaciones pluviales, en las vertientes o quebradas, aumentan el caudal de los ríos principales o secundarios que drenan la cuenca. El aumento de volúmenes de agua y sólidos en los ríos, quebradas secas (provocada por flujos de detritos o huacos), erosionan su lecho y márgenes, y modifican lo que depositó o acumuló en el periodo precedente. Como proceso geohidrológico, normalmente acompaña a las inundaciones y muchas veces es la que antecede a esta.

Los factores más importantes para la ocurrencia de erosión fluvial son: la cobertura vegetal, la geomorfología y el clima.

La energía cinética del agua determina la intensidad de la erosión y depende de la energía potencial, que se debe a la diferencia de altura entre la zona donde discurre y el nivel del mar. La energía cinética no es uniforme a lo largo del curso del río y es mayor en el tramo alto de mayor pendiente y menor en la desembocadura. Ello determina una erosión diferencial que modifica el perfil longitudinal del curso del río, y evoluciona hacia un modelo teórico, el denominado perfil de equilibrio, en el que cada punto de este recibe por sedimentación la misma cantidad de materiales que pierde por erosión (figura 6.9).

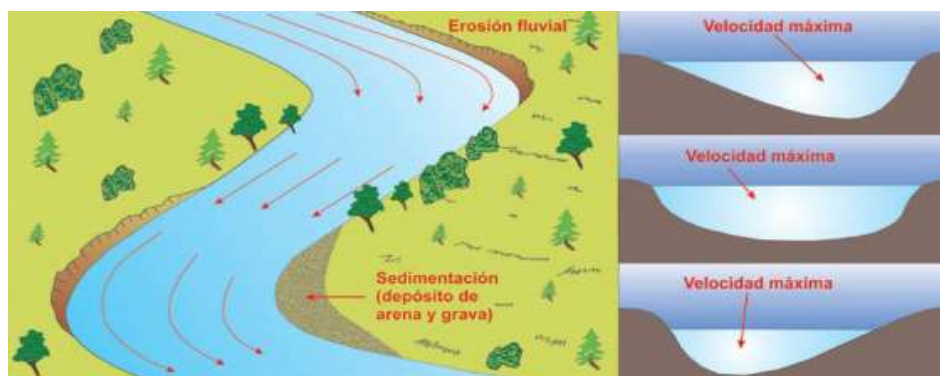


Figura 6.5 Esquema de erosión fluvial

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007

Inventario y frecuencia de ocurrencias a inundaciones y erosión fluvial

El análisis estadístico en la ocurrencia de peligros geohidrológicos inventariados (149 ocurrencias) se aprecia en los gráficos 6.4

y 6.5. Se muestra las erosiones fluviales, en primer lugar (91), e inundación fluvial (58). Estos procesos pueden presentarse asociados en algunas ocasiones.

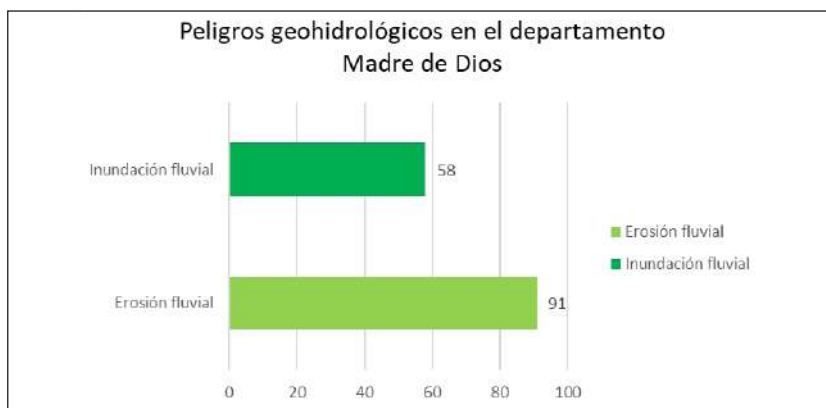


Gráfico 6.4 Ocurrencia de peligros geohidrológicos en el departamento de Madre de Dios

Fuente: Elaboración propia

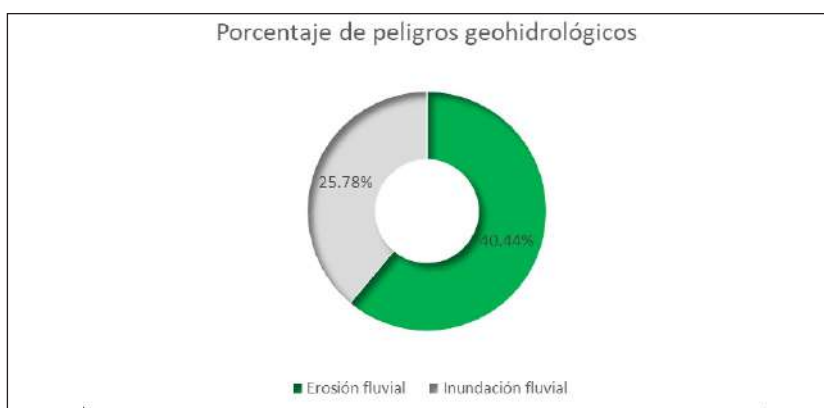


Gráfico 6.4 Porcentaje de peligros geohidrológicos en el departamento de Madre de Dios

Las ocurrencias de erosiones fluviales e inundaciones inventariadas en la región Madre de Dios indican una regular frecuencia, como se describe a continuación:

- Erosiones fluviales (40.44 %): Se presentan en muchos sectores de la región con 91 ocurrencias. Las causas principales son las intensas precipitaciones pluviales y los condicionantes son: los ríos meandriformes o morfología del cauce, la dinámica fluvial, pendiente, material del suelo o substrato en las márgenes, deforestación, ocupación de áreas susceptibles.

Durante los periodos de lluvia, que es cuando los ríos presentan caudales extraordinarios (de agua y de escurrimiento superficial), tienden a desgastar la ribera o cauce natural del río y propicia la inundación de áreas

agrícolas, urbanas, etc. Son factores que coadyuvan a este fenómeno la mayor o menor pendiente de cauce, material de arrastre (vegetales, rocas, arena, etc.) y falta de vegetación ribereña natural. Este fenómeno se da con frecuencia en la región, como el caso de los poblados Puerto Rosario de Laberinto, Puerto Maldonado, Boca Manu, San Lorenzo, Iñapari, Iberia, etc., por citar algunos ejemplos.

En algunos sectores se encuentran asociados con inundaciones. Las áreas inundables se producen en el curso inferior del río y la erosión fluvial en el exterior de la curva donde la velocidad de la corriente de agua es mayor. Estos se localizan, fundamentalmente, en los ríos Madre de Dios, Tambopata, Inambari, entre otros (fotografías 6.9 al 6.13).



Fotografía 6.9 Erosión fluvial, margen izquierda del río Madre de Dios, afecta secuencias de capas rojas limoarenosas. (coordenadas UTM: 8582445 N – 241110 E)



Fotografía 6.10 Erosión fluvial, margen derecha del río Queros, produce pérdida de plataforma de carretera afectando 300 m de longitud.



Fotografía 6.11 Erosión fluvial, margen derecha del río Madre de Dios (coordenadas UTM: 8614118 N – 481670 E)



Fotografía 6.12 Erosión fluvial, margen izquierda del río Madre de Dios, sector puerto Arturo (8618687 N - 476850 E)



Fotografía 6.13 Erosión fluvial, margen derecha del río Madre de Dios confluencia con el río de Las Piedras, sector Boca Piedras (coordenadas UTM: 861797 N – 476709 E)

- Inundaciones fluviales (25.8 %): con 58 ocurrencias. La primera relacionada con los principales ríos como Madre de Dios, Tambopata, Inambari y por sus tributarios, entre otros. Cuando se producen lluvias estacionales en forma eventual o periódica, con gran cantidad de precipitación en zonas de montaña y llanura, al concentrarse en los cursos de ríos y quebradas sobrepasa sus capacidades de carga y provoca desbordes e inundación de tierras adyacentes o relacionados con las variaciones climáticas.

El ensanchamiento del cauce de un río y la destrucción de parte de la llanura de inundación son resultados frecuentes durante la ocurrencia de estos fenómenos.

Se producen por desbordes de los cauces naturales de las aguas de los ríos. Cubren temporalmente las áreas adyacentes (cultivos, ciudades etc.). Ocurren en Puerto Maldonado, Iñapari y Mavila, en la región Madre de Dios, con cierta frecuencia (fotografías 6.14 a la 6.18).



Fotografía 6.14 Inundación fluvial en las llanuras de inundación ubicada en la confluencia de los ríos Piñipiñi y Pilcopata (coordenadas UTM: 8573733 N – 240756 E)



Fotografía 6.15 Inundación fluvial, valle del río Hospital confluencia con la quebrada sin nombre (coordenadas UTM: 8566934 N- 235366 E)



Fotografía 6.16 Inundación fluvial, margen derecha del río Madre de Dios, puerto La Pastora, sector San Jacinto (coordenadas UTM: 8608849 N – 476391 E)



Fotografía 6.17 Inundación fluvial, margen derecha río Madre de Dios, Puerto Carlos (coordenadas UTM: 8571156 N – 353680 E)



Fotografía 6.18 Inundación fluvial, margen izquierda del río Acre, afecta barrio Viejo del Rosario, La Colonia, Av. León Velarde (coordenadas UTM: 8789875 N - 437168 E)

Susceptibilidad de ocurrir inundaciones y erosión fluvial

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición de que un evento suceda sobre determinado espacio geográfico. La susceptibilidad analizada representa un enfoque basado en un análisis heurístico-cualitativo, donde prima el conocimiento experto e histórico del lugar que se evalúa. Basado en una visión retrospectiva de los acontecimientos en la región, y partiendo del conocimiento de las características geomorfológicas, hidrológicas y edafológicas del río principal y tributarios, se llega a zonificar la región en zonas de mayor o menor predisposición a estos procesos.

Por tanto, la susceptibilidad de tener inundación es la posibilidad de que un área se inunde en base a las condiciones locales del terreno. La geomorfología es una de las variables fundamentales. La llanura de inundación teóricamente controla: 1) el flujo de agua y la actual configuración de las formas del terreno (terrazas y cauce); y 2) la distribución de sedimentos fluviales (albardones, terrazas bajas), los que provocarán inundaciones en el futuro. Este análisis geomorfológico de formas del terreno se complementa con información de registros históricos de antiguas inundaciones ocurridas e información topográfica (pendiente del terreno).

En el análisis de susceptibilidad de ocurrir inundaciones, en función de la escala de trabajo, se consideran dos variables: rangos de pendiente y unidades geomorfológicas de la región. Los procesos de erosión fluvial ocurren en forma simultánea como eventos asociados, generalmente circunscritos a la caja o cauce principal o quebrada limitada por terrazas bajas o altas, donde su fuerza erosiva o socavamiento fluvial es originado muchas veces por la carga de sedimentos (flujos de detritos o huaicos). Esto ocurre anualmente con las avenidas estacionales y depende de la existencia de una adecuada protección de riberas (defensas con gaviones, muros o enrocados) y del ordenamiento de uso del territorio. Se verán afectados terrenos de cultivo (ganados de forma inapropiada al cauce fluvial) sin plataformas o rasantes de carretera en terrazas bajas u otras estructuras como bocatomas, canales y puentes.

Las variables usadas, su forma de obtención y los pesos asignados a cada factor se presentan en el cuadro 6.9. Igualmente, en forma independiente se asignaron diferentes pesos a las unidades diferenciadas (cuadro 6.10). Esto permitió zonificar la región en rangos de susceptibilidad desde alta a muy baja o nula (mapa 8).

Cuadro 6.7
Ponderación de las variables

Variable	Descripción	Obtención	Peso
Pendiente	Seis rangos de pendiente de los terrenos, expresados en grados (0° a 90°).	Modelo digital de elevaciones, elaborado con SIG a partir de mapas topográficos	40
		a escala 1:100 000 con equidistancia de curvas cada 50 m (mapa 3).	
Geomorfología	Unidades geomorfológicas de acuerdo con su amplitud de relieve, altura relativa, pendiente y asociación morfogénica	Interpretación de imágenes satelitales, cartas topográficas y chequeo de	60
		campo a escala 1:100 000 (mapa 4).	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6.8
Unidades consideradas y susceptibilidad de ocurrir inundaciones

Factores	Susceptibilidad de ocurrir movimientos en masa				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pendiente	< 1°	1° - 5°	5° - 15 > 45°	15° - 25°	25° - 45°
Geomorfología	Relieve de montaña en roca intrusiva	Llanura o planicie disectada aluvial	Altiplanicie sedimentaria	Terraza aluvial	Actividad Minera
	Relieve de montaña en roca sedimentaria		Terraza alta aluvial	Terraza baja aluvial	
	Relieve de montaña en roca metamórfica		Terraza indiferenciada	Complejo de orillares meándricos reciente	
	Relieve de montaña estructural en roca sedimentaria		Terraza aluvial con meandros abandonados	Sistema de pantanos y aguajales	
	Colina en roca sedimentaria		Complejo de orillares meándricos antiguo	Barra de arena en cauce de río	
	Colina estructural en roca sedimentaria		Isla fluvial	Cauce del río	
	Colina y lomada disectada en roca sedimentaria		Meandro abandonado		
	Lomada en roca sedimentaria				
	Vertiente o piedemonte aluvial				

Fuente: Elaboración propia

Los rangos o grados de susceptibilidad fueron calculados estadísticamente de la misma forma utilizada para el mapa de susceptibilidad de ocurrir movimientos en masa, con ayuda del GIS (ARCGIS 10.4 y el software Spatial Analyst y 3D Analyst). A partir de los datos obtenidos de las interacciones de estos dos mapas y al utilizar la siguiente ecuación:

En donde:

$$SI = \frac{SGI (0.60) + SPI (0.40)}{2}$$

SI : Susceptibilidad de tener inundaciones

SGI: Susceptibilidad del parámetro Geomorfología a las Inundaciones

SPI: Susceptibilidad del parámetro Pendiente a las Inundaciones.

La caracterización de los diferentes rangos de susceptibilidad de tener inundaciones (mapa 8) y su distribución en la región Madre de Dios se describe y detalla en el cuadro 6.9.

Cuadro 6.9
Grados de susceptibilidad de tener inundaciones en el departamento de Madre de Dios

Grado	Características de los terrenos
Alta	<p>Terrenos que corresponden a llanuras de inundación y terrazas bajas, que se inundan de forma ocasional y excepcional en los valles de la selva alta o ceja de selva y el llano amazónico o selva baja. Estas inundaciones están relacionadas a lluvias periódicas y extraordinarias. Algunos de los valles de la región que presentan alta susceptibilidad de tener inundaciones son los siguientes:</p> <p>Río Manu y sus tributarios: Inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial con precipitaciones estacionales, que afectan terrazas aluviales, sistemas de pantanos y aguajales, terraza aluvial con meandros abandonados y complejos de orillares.</p> <p>Río Pinquén: Inundaciones fluviales y procesos de erosión fluvial que afectan terrazas aluviales.</p> <p>Río Madre de Dios: Inundaciones que afectan islas fluviales, terrazas aluviales, meandros abandonados, complejo de orillares meándricos recientes y antiguos.</p> <p>Río Colorado: Inundaciones que afectan islas fluviales y terrazas aluviales.</p> <p>Río Puquirí: Inundaciones a lo largo de sus terrazas aluviales que han sido impactadas por actividades mineras informales.</p> <p>Río Los Amigos: Existen zonas muy propensas a inundación a lo largo de todo su valle, que afecta las llanuras inundables, terrazas bajas y medias, así como también a terrazas aluviales con meandros abandonados.</p> <p>Río Las Piedras: Inundaciones fluviales que afectan principalmente terrazas aluviales a diferentes niveles y sistemas de pantanos y aguajales.</p> <p>Río Tambopata: Inundaciones fluviales que afectan principalmente terrazas aluviales y complejos de orillares meándricos antiguos.</p>
Media	<p>Inundaciones con precipitaciones periódicas y extraordinarias a lo largo de terrenos bajos que conforman la llanura o planicie disectada aluvial y terrazas aluviales altas. Son zonas mal drenadas o con poca capacidad de infiltración. Se encuentran comprometidos terrenos planos, ligeramente ondulados, con drenaje deficiente o por estar constituidos por materiales de poca permeabilidad que conforman acuitardos, que favorecen la acumulación de la precipitación pluvial y originan anegamientos. Estas zonas se distribuyen principalmente entre las provincias de Tambopata y Tahuamanu, tienen una menor extensión en la provincia de Manu.</p>
Baja	<p>Corresponde a terrenos que conforman sistemas de colinas y lomadas modeladas en roca sedimentaria de baja altura, que configura terrenos cóncavo-convexos con un drenaje subparalelo que le permite concentrar y evacuar las aguas de precipitación pluvial. Es posible encontrar terrenos levemente inclinados, mal drenados, que son inundados en periodos de lluvia excepcional. El substrato está conformando acuitardos sedimentarios y acuíferos porosos no consolidados. Estas zonas se distribuyen principalmente en las provincias de Tahuamanu y Tambopata, correspondiente al llano amazónico o selva baja.</p>
Muy baja a nula	<p>Corresponde principalmente a las vertientes de laderas con pendientes muy inclinadas y convexas de montañas y colinas ubicadas en el extremo suroeste de la provincia de Manu, en el límite con la región Cusco. Corresponde a territorios que se alzan por encima de 500 m s. n. m., ubicados en la selva alta o ceja de selva y el flanco este de la Cordillera Oriental.</p>

Fuente: Elaboración propia

6.3.3 Otros peligros geológicos

Las características geomorfológicas, condicionantes litológicas y aspectos geodinámicos en la región, la hacen susceptible de otros procesos geológicos, donde destacan la erosión de laderas (laminar, surcos y cárcavas) y arenamientos. La distribución estadística de los denominados otros peligros geológicos, con un total de 163 ocurrencias inventariadas, representa el 16.2 % del total de peligros geológicos.

Erosión de laderas

Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se

denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados que a medida que persiste la erosión, sus dimensiones pueden variar desde estrechas y pocos profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad. La intensidad y amplitud de la formación de cárcavas (figura 6.10) guardan una íntima relación con la cantidad de agua de escurrimiento (intensidad de precipitaciones) y de la velocidad de esta. Además están reguladas por las características del suelo (permeabilidad, cohesión), el relieve y la cobertura vegetal.

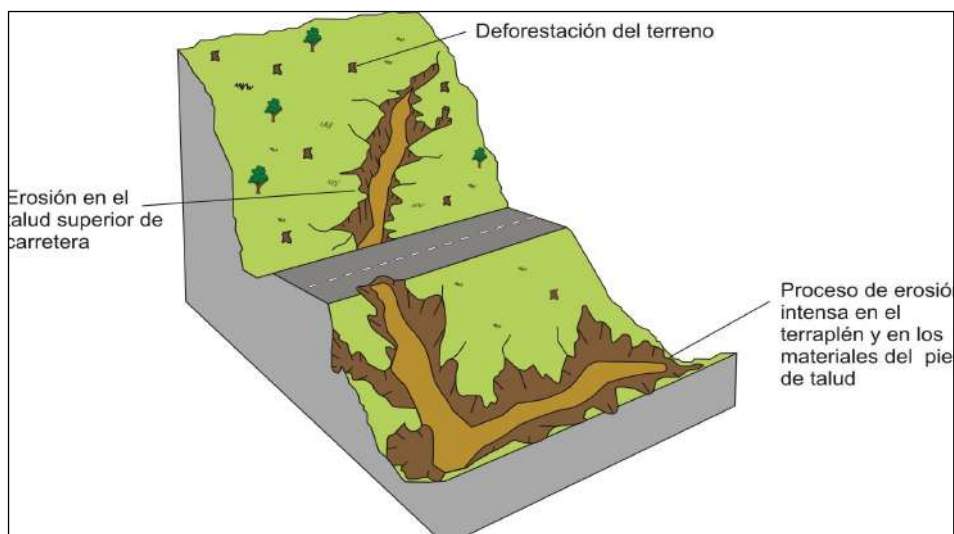


Figura 6.5 Erosión en cárcavas que afectan al talud superior e inferior de carretera

Fuente: Proyecto Multinacional Andino, 2007

6.4 PELIGRO SÍSMICO DE LA REGIÓN MADRE DE DIOS

El Perú, por su ubicación geográfica en la zona central y occidental de Sudamérica, se presenta expuesto a este peligro debido principalmente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Este proceso da origen a un gran número de sismos de diferentes magnitudes con focos en diversos niveles de profundidad y que han producido en superficie distintos grados de destrucción. Estos sismos son parte de la principal fuente sismogénica, ya que debido a esta 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, los sismos se constituyen como el mayor peligro al cual se encuentra sometido el territorio peruano. 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.

6.5 SISMICIDAD HISTÓRICA

La historia que se conoce con relación a los acontecimientos sísmicos ocurridos en el Perú, según datos históricos disponibles, indican una poca actividad sísmica en la Región Madre de Dios, ocurrida entre los siglos XVI y XX.

Los pocos sismos de gran intensidad ocurridos en la región corresponden a sismos con foco profundo, con una profundidad focal mayor a 300.0 km y de una magnitud no mayor a 5.0 mb, por lo que la historia sísmica es moderada y no se registran mayores daños por los sismos ocurridos en el departamento de Madre de Dios o en la ciudad de Puerto Maldonado. Sin embargo, podríamos describir sismos importantes y de gran intensidad que se localizan fuera del contorno de la región y cercanos, que han causado movimientos sísmicos con intensidades de hasta VII en la escala de Mercalli.

En los últimos 400 años, la región sur del Perú ha sido afectada con variable severidad por más de 30 terremotos violentos. Es importante mencionar que la región Madre de Dios ha soportado sismos moderados a causa de terremotos en los años 1604, 1650, 1687, 1746, 1868, 1928, 1947, 1998, 2001, 2007 y 2015. Para mayor detalle se presenta el cuadro 1 (Silgado, 1978). Para la mayoría de los sismos descritos en el cuadro 6.10, Silgado (1978) elaboró sus respectivos mapas de intensidades (Isosistas), en donde dos de ellos afectaron con moderada intensidad a la región de Madre de Dios y corresponden a los sismos del 31 de marzo de 1650 (figura 6.7) y del 24 de noviembre de 2015 (figura 6.8).

Cuadro 6.10
Datos macrosísmicos de la región Madre de Dios y alrededores

Fecha	Intensidad	Localidades afectadas
1604-11-24	VII	Tacna, Moquegua, Arequipa, Cusco y Puno
1650-03-31	X	Cusco, Pisac, Madre de Dios
1687-10-21	VI	Arequipa, Cusco, Puno, Moquegua
1746-10-29	X	Lima, Cusco, Apurímac, Madre de Dios
1747	IX	Ayapata, Puno, Madre de Dios
1868-08-13	VI	Arica, Arequipa, Tacna, Moquegua, Ica, Puno
4/9/1928	IX	Ayapata, Ollachea, Putina, Puno, Inambari, Madre de Dios
11/1/1947	IX	Satipo, Junín, Apurímac, Madre de Dios
6/3/1980	VII	Cusco, Apurímac, Madre de Dios
1/10/1998	VII	Cusco, Ayacucho, Madre de Dios
4/3/1998	VI	Ucayali, Huánuco, Madre de Dios
6/23/2001	VIII	Ático, Arequipa, Moquegua, Tacna, Puno, Madre de Dios
10/26/2014	VI	Ucayali, Junín, Cusco, Madre de Dios
8/15/2007	VIII	Pisco, Chincha, Ica, Ayacucho, Cusco, Madre de Dios
11/24/2014	VI	Ucayali, Cusco, Junín, Madre de Dios
11/24/2015	VI	Ucayali, Cusco, Madre de Dios

Fuente: SILGADO, 1978; IGP, 2019

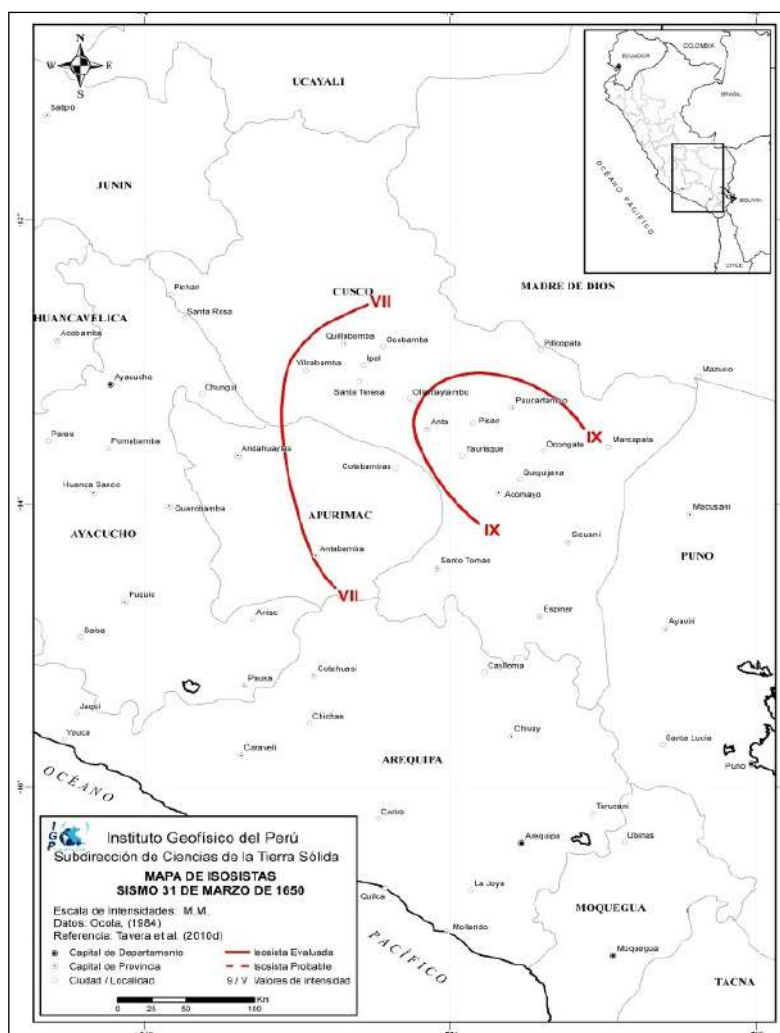


Figura 6.7 Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas

Fuente: Alva & Meneses, 1884

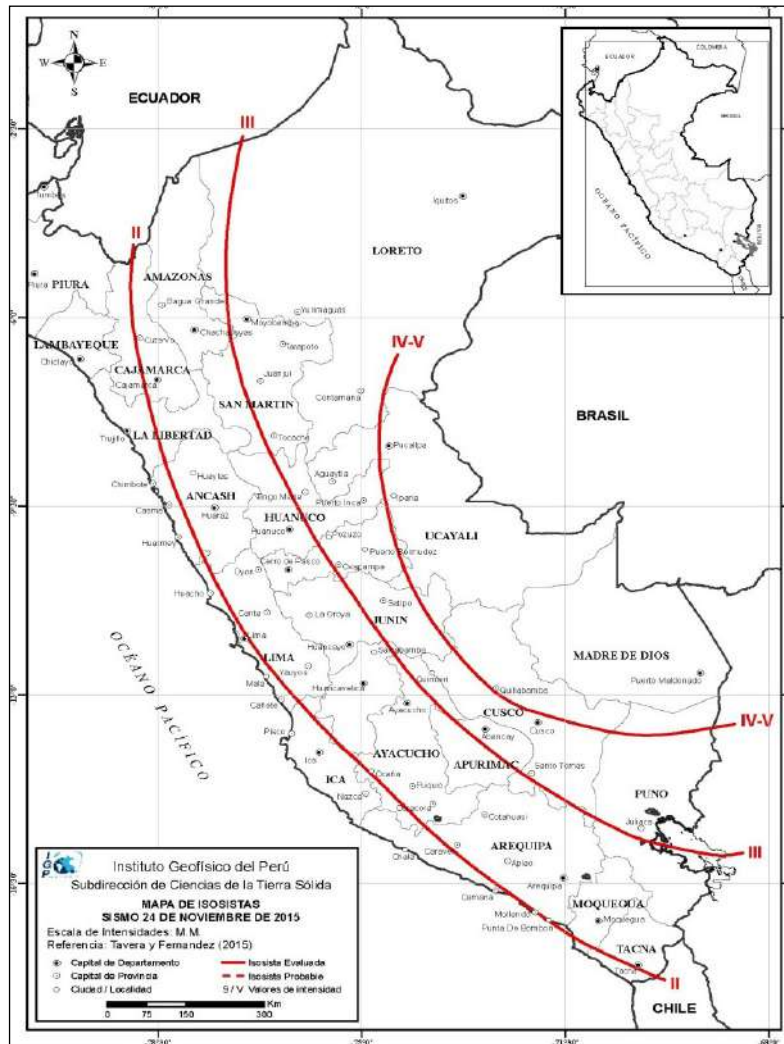


Figura 6.8 Mapa de Isosistas del Sismo del 24 de noviembre del 2015
 Fuente: IGP, 2016

6.6 DISTRIBUCIÓN DE MÁXIMAS INTENSIDADES SÍSMICAS

El Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas para el Perú (figura 6.9), fue elaborado para el Perú por Alva y Meneses (1984) como parte del proyecto SISRA a cargo del Centro Regional de Sismología para América del Perú y el Caribe (CERESIS). Se basó en treinta mapas de Isosistas de terremotos recientes e intensidades puntuales de terremotos históricos. El mapa representa el nivel de daño independiente de la causa: vibración de suelo, licuación, deslizamientos provocados por terremotos u otros. Este mapa nos indica una alta actividad sísmica en la costa peruana debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana. Una actividad sísmica moderada puede notarse en la zona Subandina localizada en la selva nororiental, al este de la cordillera de los

Andes. Intensidades hasta X fueron observadas en la costa del Perú en grandes áreas mientras que en la zona Subandina la atenuación es más alta, con intensidades altas en sitios específicos. Dentro de la región de Madre de Dios se observa que prevalecen intensidades máximas del orden de V (MM) y en un área mucho mayor, al sur este y centro de la región localizados en este rango: Puerto Maldonado, los poblados de Nueva Vista, San Lorenzo, Alegría, Laberinto, Las Piedras, Boca del Manu, Nueva Arequipa y Fitzcarrald. Con valores de intensidades máximas del orden de IV (MM), prevalecen en un área menor en los poblados Iberia, Iñapari, Noaya, Chilina, Arrozal y primavera. Para intensidades máximas del orden de VI (MM) se localiza en un área también menor al sur de la región, en las provincias de Tambopata y Manu en los poblados de Puerto Carlos, Santa Rosa, Mazuco, Villa Santiago, Puente Inambari, Huapetuhe, Caychihue, Salvación y Burgos.

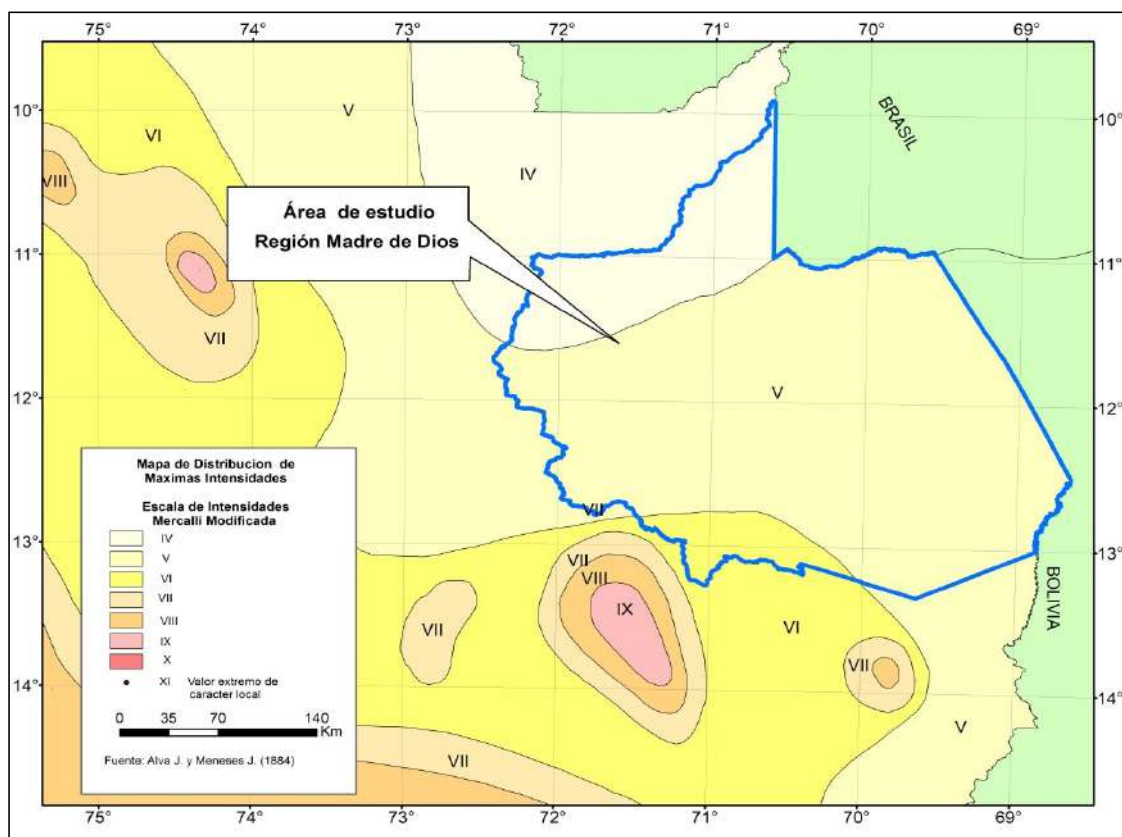


Figura 6.8 Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas
Fuente: Alva & Meneses, 1884

6.7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISMOS

Para el análisis de la distribución espacial de los sismos ocurridos en el Perú se ha utilizado la base de datos históricos e instrumental del Instituto Geofísico del Perú, que considera los sismos ocurridos entre los años 1500 a 2015. Según el mapa de la figura 6.10, los sismos han sido clasificados en superficiales ($h < 60$ km), intermedios ($61 < h < 350$ km) y profundos ($h > 351$ km), y su distribución espacial muestra que los sismos superficiales ocurren frente a la línea de costa y representan un 90 % del total de la actividad sísmica que ocurre en el Perú, aun considerando todos los niveles de profundidad. Esta sismicidad puede 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. Sismos que ocurren en el interior

del continente y que se distribuyen de norte a sur, paralelos a la cordillera de los Andes. Estos sismos podrían tener su origen en las importantes deformaciones superficiales puestas en evidencias con la presencia de fallas activas (zona de fallas del Vilcanota, Sinclinal Salvación y Pliegues de Mazuco en el límite departamental Madre de Dios).

En la sección A-A': Los sismos se distribuyen en profundidad con características diferentes a las otras regiones. La profundidad de los focos sísmicos aumenta linealmente de Oeste a Este de manera continua con una pendiente de 30° hasta los 280 km de profundidad aproximadamente. Esta sismicidad alcanza una distancia en superficie de 350 km desde el punto A, mientras que a distancias mayores solo se observa la presencia de sismos con foco superficial ($h \leq 60$ km) y sismos intermedios puntuales.

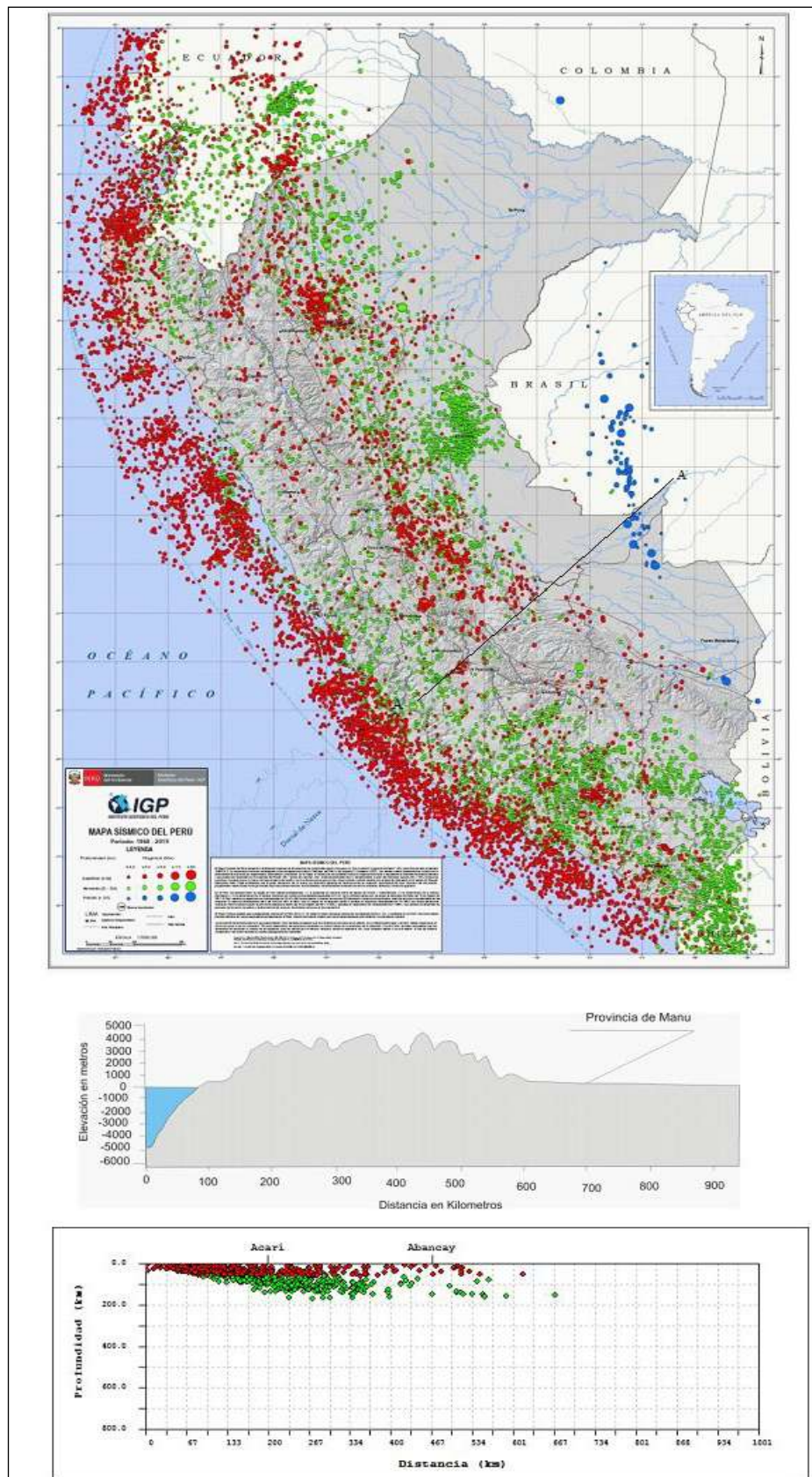


Figura 6.10 Distribución espacial de los sismos en los alrededores de la región Madre de Dios
Fuente: IGP, 2020

6.8 ESTUDIO SÍSMICO PROBABILÍSTICO

Con el propósito de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo que en el futuro pudiera ocurrir en la región Madre de Dios, se ha procedido a evaluar el peligro sísmico de dicha región utilizando la base de datos sísmicos del Catálogo Sísmico del IGP y la ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1980), y las fuentes sismogénicas definidas por Zamudio y Tavera (2004). Para el cálculo de las aceleraciones máximas se ha hecho uso del programa RISK III (McGuire, R.K. (1976)).

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 101 a 219 gals (figura 6.11), abarca a toda la región de Madre de Dios. Para el periodo de retorno de 50 años de vida útil varían de 119 a 261 gals (figura 6.12), se localizan los valores mayores a 230 gals en el sector de Fitzcarrald. Para 100 años varían de 137 a 292 gals (figura 6.13), se localizan para valores mayores a 250 gals en los poblados de Mazuco, Caychihue, Salvación, Boca del Manu y Fitzcarrald. Estos resultados muestran que las áreas más propensas a soportar aceleraciones importantes se encuentran en el sector oeste de la región Madre de Dios, siendo coherente con el número de sismos que en dichas áreas ocurren.

6.9 ZONIFICACIÓN Y ACELERACIONES MÁXIMAS

Los diversos estudios de sismicidad existentes en la bibliografía han sido base para que autores como Alva *et al.* (1984) elaborase el Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú, el cual 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 al 2016 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016). El territorio nacional considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura 6.14. 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 6.11. 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 este mapa de zonificación sísmica del Perú, la región Madre de Dios se ubica en las zonas 1 y 2, correspondiente a una zona de sismicidad baja a intermedia. Según la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente", se indica valores de "Z" que varían entre 0.10 g a 0.25 g. El valor de "Z" representa una fracción de la aceleración de la gravedad.

Cuadro 6.11
Factores de zona Z

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

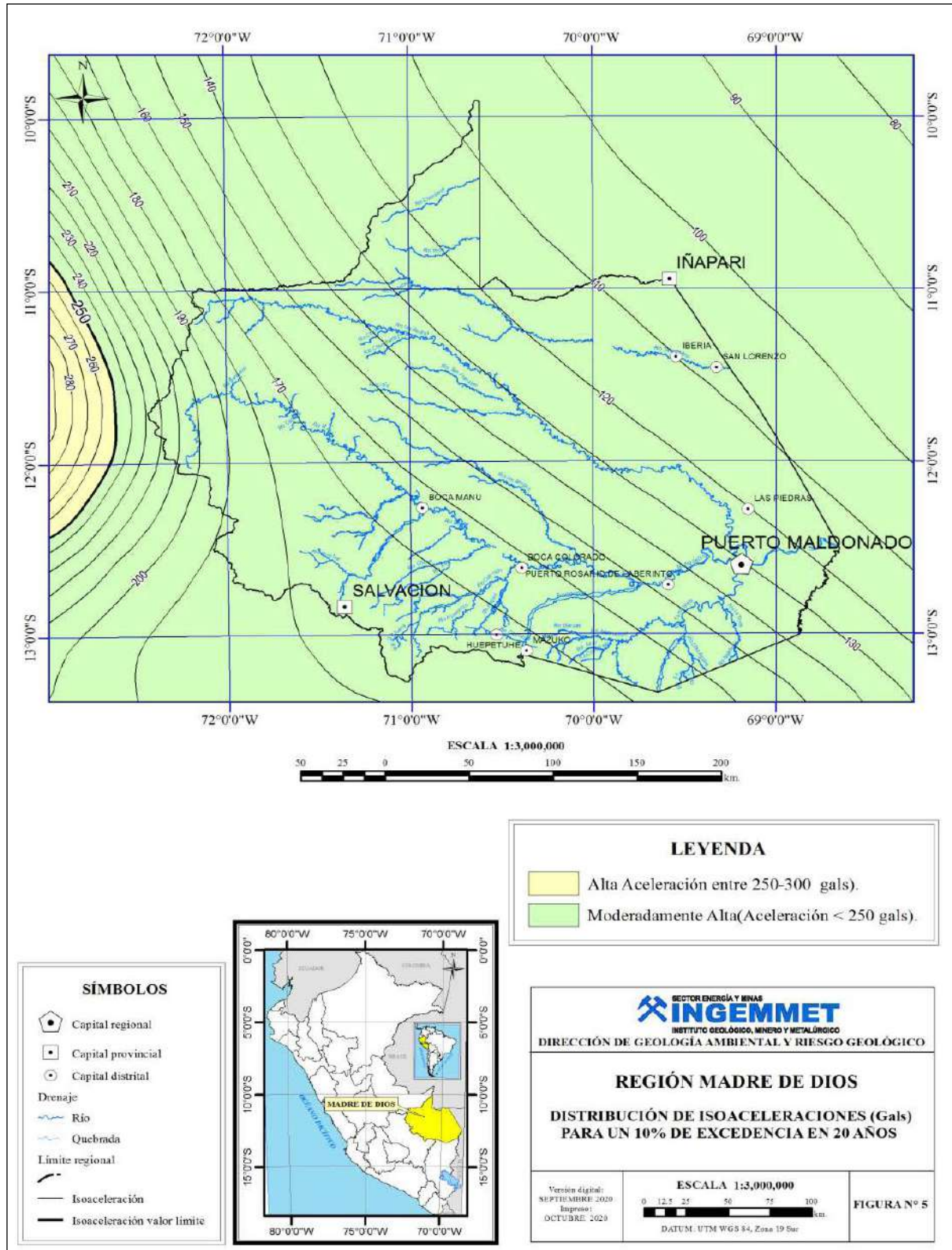


Figura 6.11 Mapa de Distribución de Isoaceleraciones (Gals) para un 10 % de excedencia en 20 años

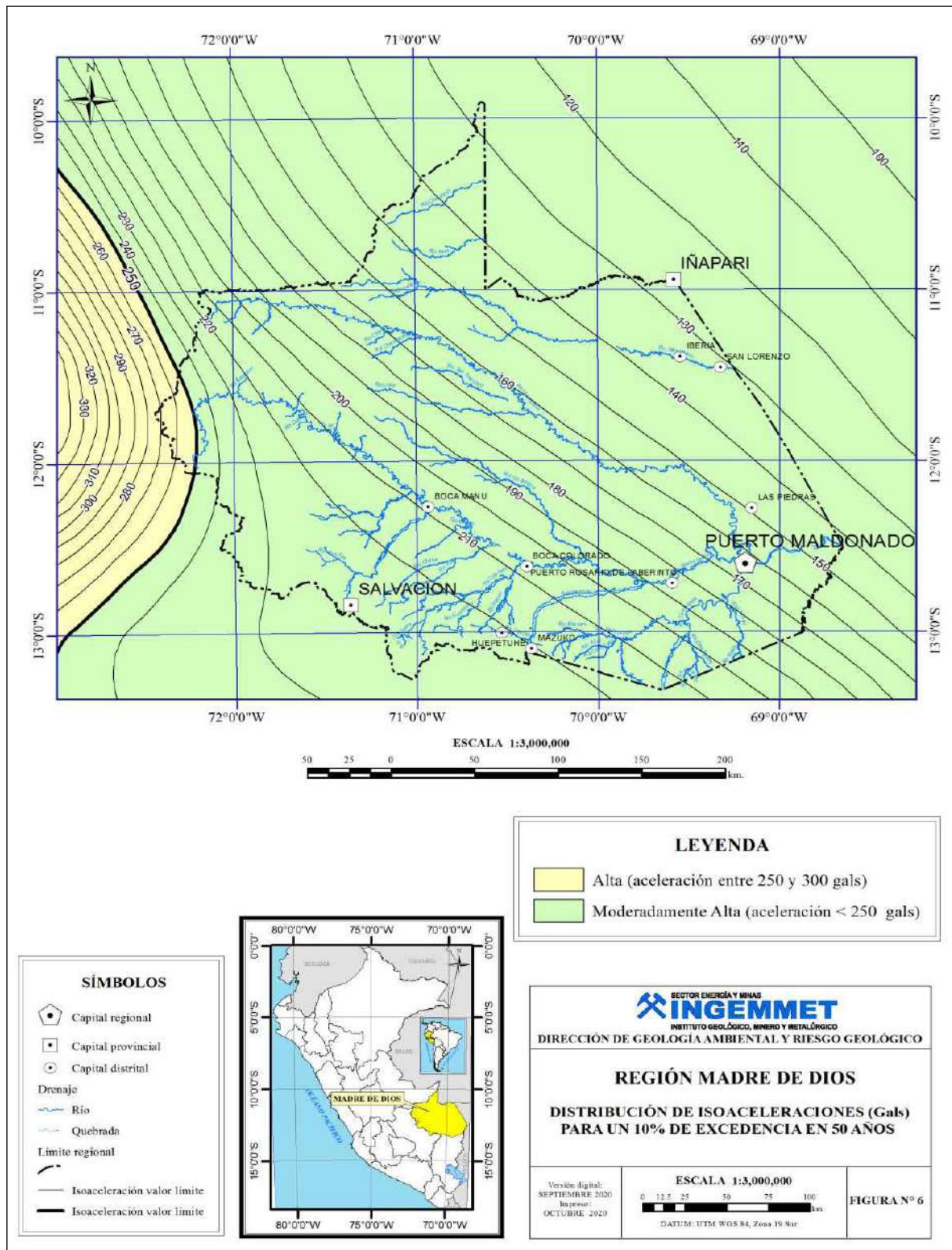


Figura 6.12 Mapa de Distribución de Isoaceleraciones (Gals) para un 10 % de excedencia en 50 años

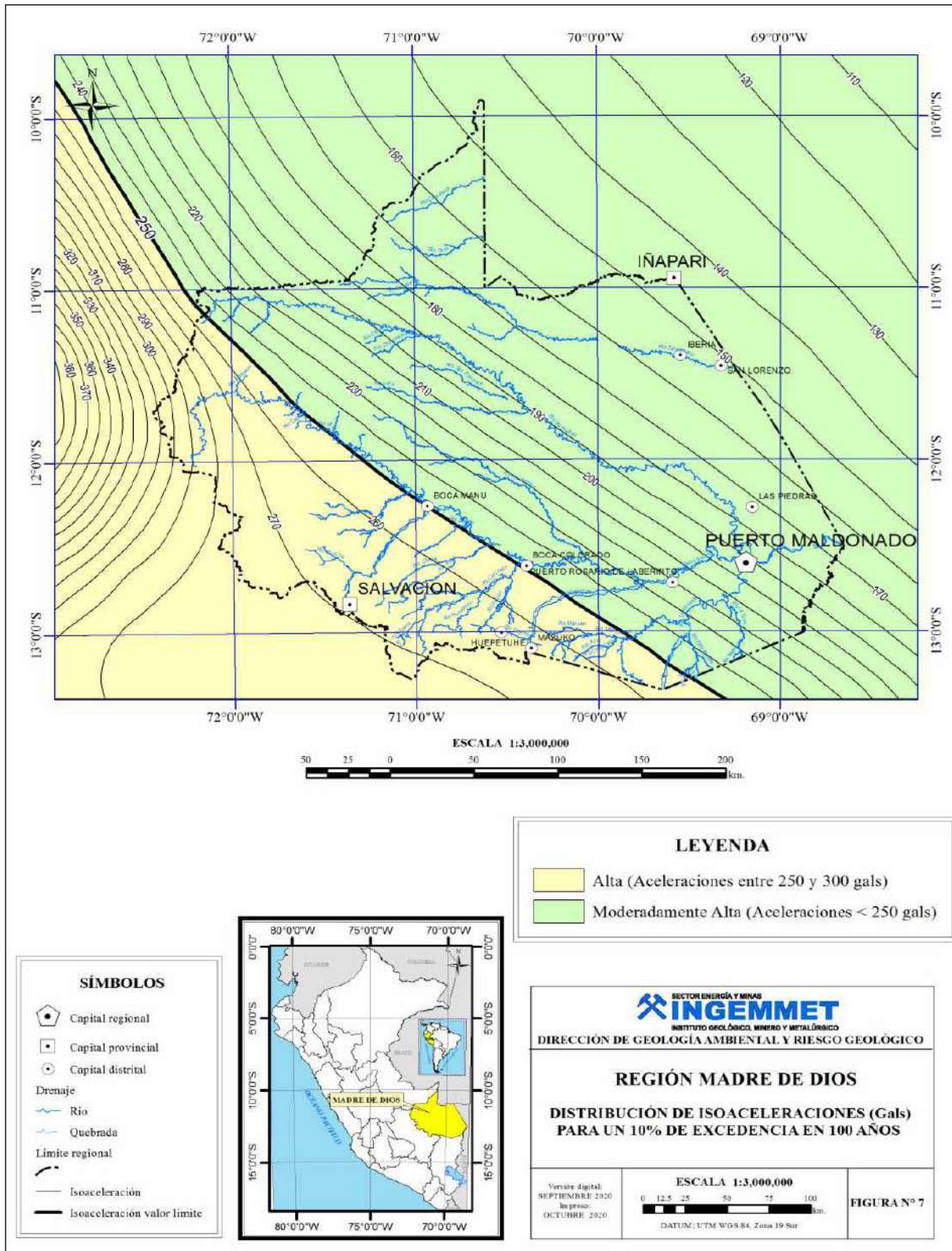


Figura 6.13 Mapa de Distribución de Isoaceleraciones (Gals) para un 10 % de excedencia en 100 años

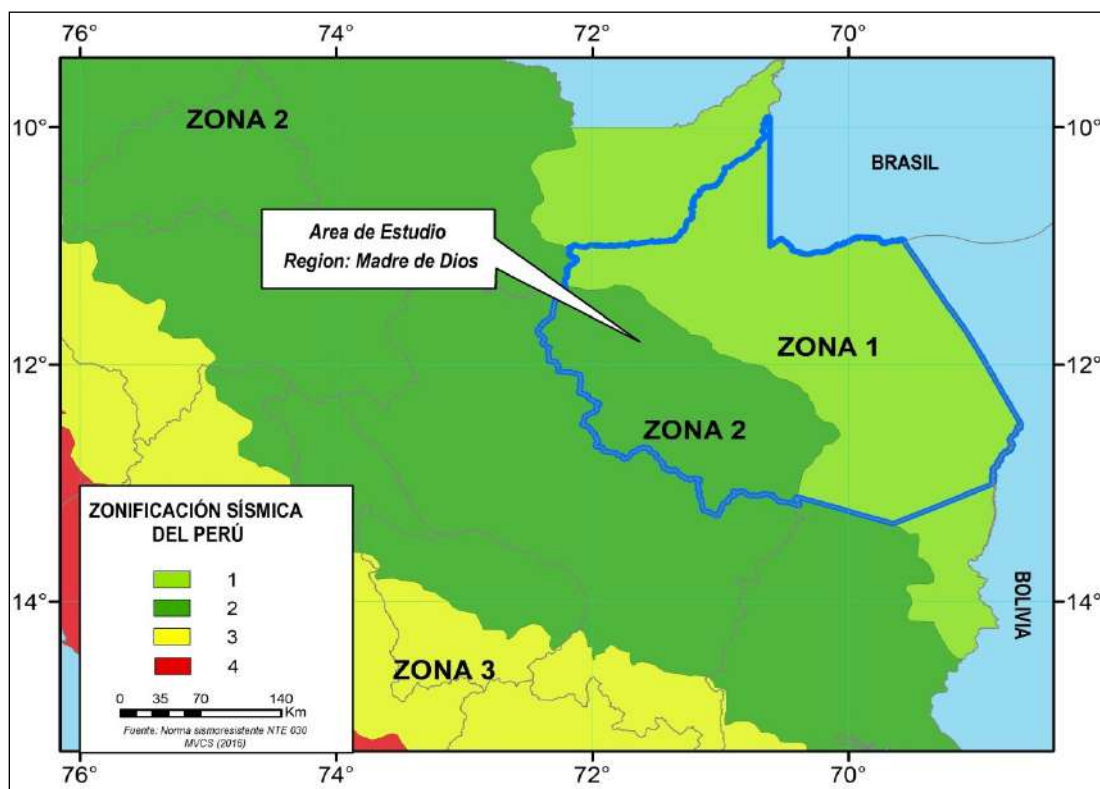


Figura 6.14 Zonificación Sísmica del Perú

Fuente: Norma sismorresistente NTE 030 MVCS

Se presenta la curva de Peligro Sísmico Anual calculado para la ciudad de Puerto Maldonado, en la figura 6.15, 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 270 gals con una probabilidad del 0.002 %, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 130 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Así mismo, se muestra la curva de Peligro Sísmico Anual calculado para la localidad de Ñapari (figura 6.16), donde se observa la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud para la localidad de Ñapari. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 192 gals con una probabilidad del 0.002 %, siendo el periodo medio

de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 105 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Así mismo, se presenta la curva de Peligro Sísmico Anual calculado para la localidad de Salvación-Manu en la figura 6.17, donde nos muestra la probabilidad de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud para la localidad de Salvación. De la figura se deduce que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 395 gals con una probabilidad del 0.002 %, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce dicha aceleración de 900 años. Aceleraciones del orden de los 177 gals se producirían con un porcentaje de 0.05 % con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Cuadro 6.12
Clasificación del factor detonante (sismicidad)

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

Según la guía metodológica de evaluación (cuadro 6.12), de riesgo por fenómenos de remoción en masa (Ojeda, J.; Castro, E.; Valencia, A. & Fonseca, S. (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 las categorías de Moderadamente Alta y Alta en forma general, de acuerdo con los valores de aceleraciones máximas esperadas para la región Madre de Dios.

Peligro Sísmico calculado para la ciudad de Puerto Maldonado (-12.85 S, -69.19 W)

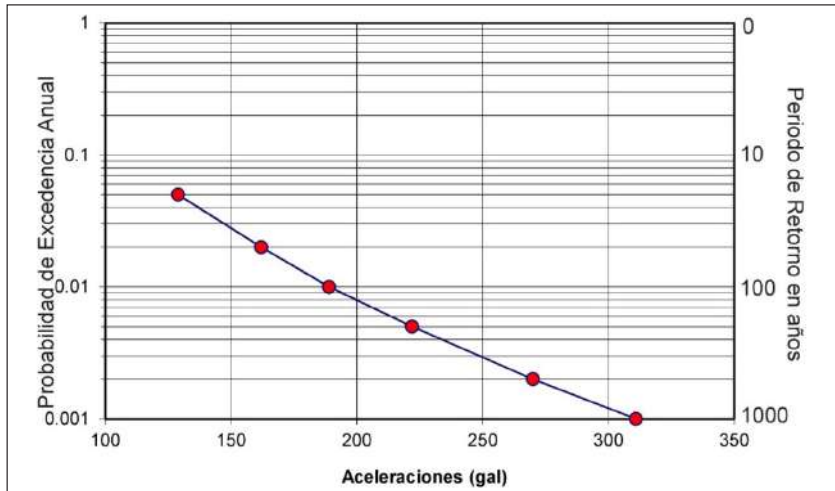


Figura 6.15 Curva de Peligro Anual para la ciudad de Puerto Maldonado -Tambopata

Peligro Sísmico calculado para el poblado de Iñapari (-10.95 S, - 69.57 W)

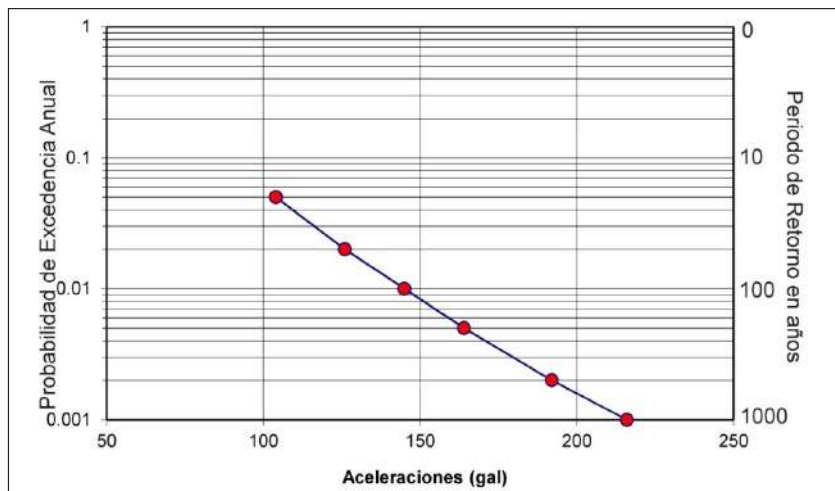


Figura 6.16 Curva de Peligro Anual para el poblado de Iñapari

Peligro Sísmico calculado para el poblado de Salvación (-12.83 S, - 71.36 W)

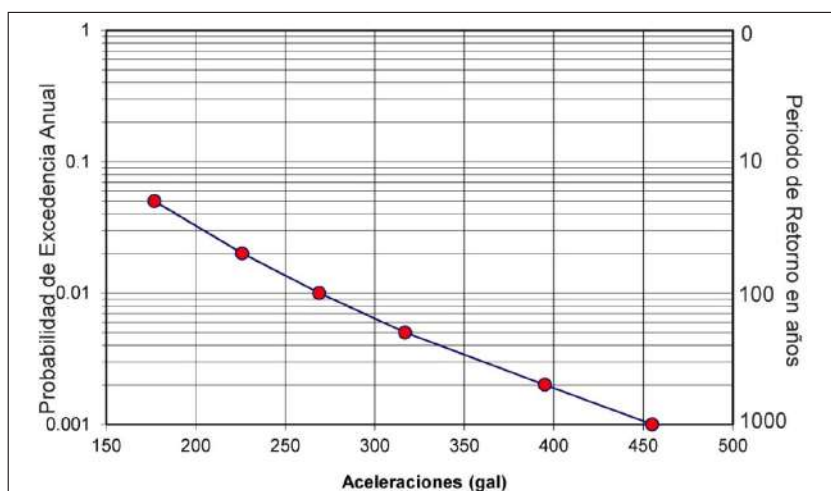


Figura 6.17 Curva de Peligro Anual para el poblado de Lñapari

6.10 MOVIMIENTOS EN MASA DETONADOS POR SISMOS

En la literatura se tiene un mapa de Áreas de Deslizamientos por Sismos en el Perú elaborado por Alva Hurtado y Luis Chang (1987). La documentación básica consistió en una recolocación y revisión de la información. Se contó con una versión preliminar del mapa de Deslizamientos por Terremotos presentado por Ingemmet. En la revisión de la literatura se trató de encontrar evidencias sobre el fenómeno de deslizamientos por sismos, interpretando los casos como seguros y probables. Los casos probables por lo general fueron aquellos asociados a sismos históricos y a sismos recientes, donde la descripción del fenómeno no es muy detallada.

La revisión de la literatura indica que el fenómeno de deslizamiento por sismo se ha producido en la costa, sierra y selva alta del Perú. La mayor incidencia del fenómeno está en la sierra y selva alta por las condiciones, geológicas, topográficas y climáticas de estas regiones.

Para el caso de la región Madre de Dios no se tiene reportado este fenómeno causado por sismo, según la cronología de los deslizamientos por sismos.

6.11 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. La licuación es una de las amenazas geológicas más destructivas.

Una revisión de la información histórica de licuación de suelos en el Perú fue presentada por Alva Hurtado (1983). La evidencia de licuación, tal como el desarrollo de volcancitos de arena y lodo, la expulsión violenta de agua del terreno, presencia de agrietamiento intenso y asentamiento diferencial debido a los eventos sísmicos, se ha tomado en consideración en un mapa del Perú que muestra diferencias entre las áreas de licuación reales y probables recopiladas en la literatura.

Veintisiete casos de licuación de suelos en el Perú fueron determinados. Los fenómenos ocurrieron en las regiones montañosas y la selva norte. En la costa, la licuación de suelos es generalizada debido a la más alta sismicidad y la existencia de mayor población en esta parte del Perú. Existe una correspondencia entre intensidades más altas y la ocurrencia de licuación de suelo en el Perú. Para la región de Madre de Dios no se ha registrado ningún reporte de este fenómeno según el mapa de licuación de suelos del Perú.

6.12 ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA

El entorno sismotectónico del Perú se caracteriza por la colisión y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamérica, proceso conocido como subducción, el mismo que dio origen a la aparición de la fosa peruana-chilena, a la Cordillera de los Andes, a los principales sistemas de fallas activas y a la ocurrencia continua de un gran número de sismos de diversas magnitudes. Estas características geomorfológicas, geológicas y geofísicas, permiten considerar al Perú como uno de los países de mayor riesgo sísmico en América Latina.

Estudios sobre la Neotectónica de Perú (Sebrier *et al.*, 1982), así como la elaboración de los Mapas Neotectónicos (Machare *et al.*, 1991) y Sismo tectónicos de Perú (Tavera *et al.*, 2001), han permitido identificar la presencia sobre nuestro territorio de un importante número de fallas activas, muchas de las cuales producen sismos continuamente.

Según el estudio de Sebrier *et al.* (1982), la región de Madre de Dios se encuentra afectada por las siguientes fallas:

6.12.1 Zona de Fallas del Vilcanota

Localizada al sureste del Cusco, colindante con Puno, las fallas se emplazan sobre 70 km de longitud, con una dirección promedio N150° excepto en el sur, donde a partir del poblado de Langui cambia de dirección a N120°. Sus buzamientos están alrededor de 60° hacia el suroeste.

Esta zona de fallas se encuentra constituida por tres segmentos de falla: Pomacanchi, Yanaoca y Langui-Layo. Estas fallas afectan depósitos gruesos de abanicos aluviales asociados a la penúltima glaciación. Sus escarpes llegan a tener hasta 50 m de altura. Las dos últimas terrazas aluviales no muestran evidencias de ser afectadas por dichas fallas (Sébrier *et al.*, 1982, 1985; Cabrera, 1988).

Estas fallas tienen movimientos normales sinestrales que son compatibles con una extensión norte-sur. La falla se expone mejor al norte de la laguna Pomacanchi y parece haber tenido una última reactivación al final del Cuaternario medio. Sin embargo, ocurrieron sismos sumamente superficiales y destructores entre Yanaoca y la laguna de Langui-Layo.

6.12.2 Sinclinal de Salvación

Se ubica entre el Pongo de Coñec y Shintuya (Sébrier *et al.*, 1982). El sinclinal de Salvación está conformado por las capas rojas del Cretácico tardío al Paleógeno, y está cubierto por arcillas interestratificadas con arenas y conglomerados. Estas últimas son similares a las de la formación Mazuko descritas por Laubacher *et al.* (1982) para el Neógeno. El Sinclinal de Salvación se encuentra cortado por el río Alto Madre de Dios. En él se observa conglomerados fluviales cuaternarios deformados y a lo largo del río se puede observar estriaciones en los cantos (Sébrier *et al.*, 1985). El buzamiento de N20°E para un flanco del sinclinal indica que este habría terminado de formarse en el Cuaternario.

6.12.3 Pliegue de mazuko

Se ubica a 20 km al noreste de la cuenca Quince Mil, se observa a lo largo del río Inambari entre puente Inambari y Santa Rosa, y está asociado con los pliegues del Subandino (Sébrier *et al.*, 1985).

Un conjunto de cinco a seis terrazas sobreyacen en discontinuidad a la Formación Mazuko (Cuaternario). Se puede observar que los conglomerados más recientes (Cuaternario superior) se encuentran deformados y afectados aparentemente por una traza de falla inversa con dirección aproximada N100°.

Las medidas de estrías tomadas en los clastos de los conglomerados pertenecientes a las terrazas fluviales indican que la última deformación es resultado de un régimen compresional de dirección N-S (Sébrier *et al.*, 1985).

CAPÍTULO VII

ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

7.1 GENERALIDADES

El presente capítulo enfatiza las zonas o áreas consideradas como críticas, con peligros potenciales de acuerdo con la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados). Son zonas que muestran una recurrencia en algunos casos periódica a excepcional y otras pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales. Así, es necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres. Sobre estas zonas se dan recomendaciones generales para prevención y mitigación de desastres.

La información fue obtenida de informes, artículos periodísticos, relatos orales de los mismos pobladores y principalmente observaciones de campo. Constituye información geológica útil sobre áreas afectadas por peligros o potencialmente susceptibles a los peligros, la cual se pone a consideración de Cenepred, Indeci, Gobierno Central, Regional y municipalidades.

Sin embargo, no se puede dejar de manifestar que, si bien este estudio recomienda la priorización de obras en estas zonas críticas, buscando mitigar o reducir los daños causados por estos peligros, no se debe dejar de prestar atención a las demás zonas que han sido identificadas en el inventario de peligros. Tener presente también aquellos peligros que aparecen cartografiados

en el mapa geomorfológico, ya que ante la presencia de lluvias excepcionales, muchas de estas zonas podrían aumentar y acelerar su actividad, reactivarse, hasta constituirse en nuevas zonas críticas.

En el mapa 7, se muestra la distribución de 14 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos del departamento de Madre de Dios, que fueron analizadas e identificadas en el 2014 durante los trabajos de campo en la región con el proyecto GA44A: Riesgo geológico de la región Madre de Dios.

7.2 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

Luego de realizar la correlación estadística del tipo de peligro o peligros que concurren en las 14 zonas críticas identificadas en el departamento de Madre de Dios y su ubicación por provincia (figura 7.1), de los eventos ocurridos, el peligro predominante en estas zonas críticas y de mayor recurrencia son los procesos de erosión fluvial, seguido de las inundaciones fluviales. También se puede observar que la mayor cantidad de zonas críticas a la ocurrencia de peligros geológicos se ubica en la provincia de Tambopata (10), seguida por las provincias de Manu (3) y Tahuamanu (1).

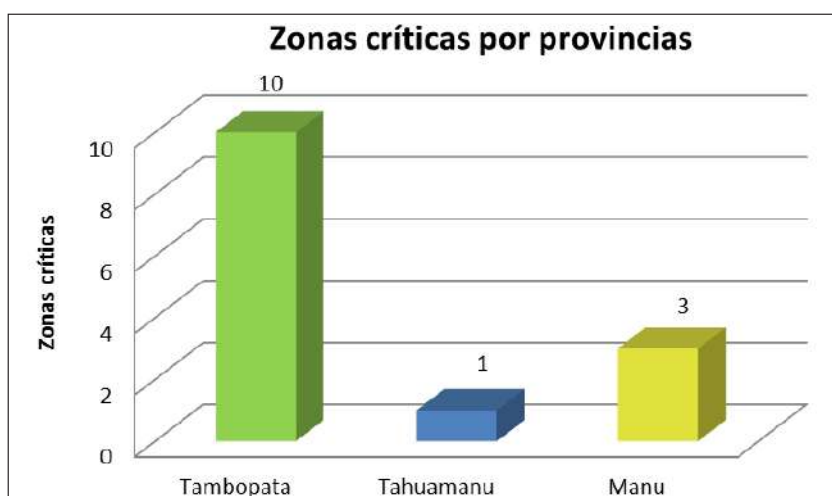


Figura 7.1 Zonas críticas por provincias en la región Madre de Dios.

Fuente: Elaboración propia

Se describe los principales sectores considerados críticos agrupados por provincia en los cuadros 7.1 al 7.3. En cada uno se indica el o los tipos de peligros a los que están expuestos, las zonas vulnerables (afectadas o con potencial de daño), así como las recomendaciones que deben tomarse en cuenta para prevenir y mitigar daños.

El 72 % de los eventos identificados e inventariados en la región Madre de Dios están relacionados con las precipitaciones pluviales periódicas, extraordinarias y excepcionales que caen

en la zona, con mayor cantidad de daños causados cuando las lluvias son extraordinarias. Estas se concentran en cauces de los ríos haciendo que su capacidad de carga sea superada y se produzcan inundaciones y procesos de erosión fluvial. La alta ocurrencia de estos eventos también está relacionada directamente con la morfología del terreno, constituida en un gran porcentaje por terrenos planos y planos ondulados, que conforman planicies aluviales, terrazas, abanicos de piedemontes, colinas y lomadas de baja altura (figura 7.2).

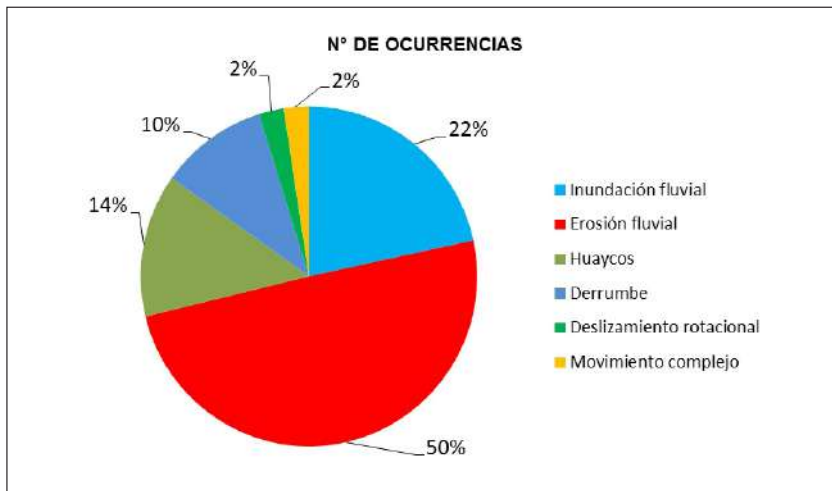


Figura 7.1 Zonas críticas por provincias en la región Madre de Dios.

Fuente: Elaboración propia

Según lo observado en los gráficos estadísticos de ocurrencia de eventos, los tipos de peligros en la región Madre de Dios están referidos principalmente a inundaciones y erosiones fluviales, y se presentan en las márgenes de los ríos Madre de Dios, Tambopata, Inambari, Las Piedras, Tahuamanu, Yaverija, Acre, Alto Madre de Dios, Manu y en las quebradas afluentes. Además, se presentan algunos derrumbes en cortes de la carretera Interoceánica y la carretera de penetración al Manu.

El caudal de estos ríos se incrementa aceleradamente en los meses de noviembre a abril (periodo lluvioso) y en los meses de enero y febrero alcanza su nivel máximo, es cuando se producen las inundaciones.

Las zonas donde suelen presentarse inundaciones fluviales son las terrazas de alturas menores a 6 m. Aquí también se generan erosiones fluviales. Los terrenos inundables son generalmente áreas dejadas por los ríos de cursos meandriformes (meandros abandonados).

El principal problema en Puerto Maldonado se debe a la constante erosión fluvial al borde del acantilado fluvial de los ríos Madre de Dios y Tambopata. A lo largo de este tramo se asientan varias viviendas.

Las causas principales de las erosiones fluviales son las intensas precipitaciones pluviales, los cursos de los ríos de tipo meandriforme, la dinámica fluvial, depósitos inconsolidados y la deforestación. Los ríos meandriformes que discurren por terrazas recientes varían constantemente su curso debido a que estas se erosionan fácilmente por estar constituidas por arenas limos y arcillas de la Formación Madre de Dios y lodolitas rojizas (capas rojas) de la Formación Ipururo.

Es así que, las zonas que sufren daños considerables de manera recurrente por estos procesos de inundación y erosión fluvial son consideradas como críticas. Se presenta a continuación a nivel de provincia las zonas críticas identificadas:

Cuadro 7.1
Zonas críticas en la provincia de Tambopata

Paraje/Sector Distrito	Áreas Sujetas A/Comentario Geodinámico	Vulnerabilidad Y/O Daños Ocasio- nados	Recomendaciones
1 Pueblo Viejo, puertos Candamo y Capitanía, Bajo Madre de Dios Tambopata	Inundación fluvial, erosión de laderas. En enero del 2014, a consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales se produjo el desborde de los ríos Madre de Dios y Tambopata. Todos los años el sector Pueblo Viejo que se ubica entre las cotas de 172 a 175 m s. n. m. es afectado por inundaciones en la margen izquierda del río Tambopata de 350 m de ancho de cauce. Se extiende desde el Puerto Candamo en la margen izquierda del río Tambopata hasta el Puerto Capitanía en la margen derecha del río Madre de Dios. El nivel alcanzado por el río Madre de Dios el 29/01/2014 fue de 10 780 m ³ /s, incrementándose en 9381 m ³ /s aproximadamente en comparación con el caudal mínimo registrado el 28/09/2013 de 1399 m ³ /s. Sin embargo, hasta la fecha la mayor creciente fue el 31/01/2014, probablemente el caudal superó los 15 000 m ³ /s y su máximo nivel extremo registrado fue 180.12 m, en comparación con la época de estiaje del 2013 donde alcanzó su nivel mínimo registrado 170 076 m teniendo como resultado el incremento del nivel en 10 044 m. (ALA, 2014). Otro de los principales peligros en Puerto Maldonado es la generación de cárcavas en ambas márgenes del río Madre de Dios, que en estos últimos años vienen incrementado su área aceleradamente, reduciendo importantes áreas urbanas, debido a la granulometría de los suelos (arcillas y limos), lluvias intensas y la falta de un sistema pluvial (figura 7.3 y fotografía 7.1).	Las viviendas de los sectores de Pueblo Viejo, Capitanía, La Pastora, La Cachuela y El triunfo fueron afectadas por inundaciones fluviales en la ciudad de Puerto Maldonado durante enero del 2014. Las viviendas ubicadas en la Av. Circunvalación del sector Pueblo Viejo fueron las más afectadas. Aún se observa las marcas del nivel del agua en las paredes de las viviendas hasta de 3.5 m de alto.	Colocar defensa ribereña como espigones, en las zonas donde presenta erosión, implementar un sistema de alerta temprana, reubicar las viviendas afectadas. Delimitar la franja marginal del cauce del río para determinar la zona de alto riesgo. Prohibir la construcción de viviendas que se encuentren dentro de la zona de alto riesgo. Diseño e instalación de un sistema de drenaje pluvial.
2 Barrio Nuevo Tambopata	Erosión fluvial, erosión de laderas. Localizado en la margen izquierda del río Tambopata, progresivamente ha ido erosionando un tramo de 1100 m de longitud y 35 m de ancho en el sector Barrio Nuevo. La zona también es afectada por la formación de cárcavas debido al desfogue de colectores de concreto de 0.8 m x 0.8 m sin protección en los bordes, construidos sobre depósitos inconsolidados o de relleno. La intensa precipitación pluvial también acelera el proceso de erosión, hasta que finalmente colapsan (figura 7.4)	Puede afectar a 08 viviendas de la calle 26 de diciembre del sector Barrio Nuevo construidas sobre relleno. Destruyó un colector de desagüe y áreas de cultivo.	Cambiar el trazo del canal, construir defensa ribereña en la margen izquierda del río Tambopata. Diseño e instalación de un sistema de drenaje pluvial. Implementar un sistema de alerta temprana.

Continuación...

3 El Balcón Tambopata	Erosión de laderas. la cárcava El Balcón tiene un área de 1.20 km ² y una profundidad de 20 m aproximadamente. La erosión retrogresiva de sus márgenes ha generado en la parte media un ancho de 75 m y en la zona baja 103 m de ancho (figura 7.5). La longitud desde la cabecera de la cárcava hasta la desembocadura en el río Madre de Dios es de 342 m. Si bien, la formación de las cárcavas naturales se da por escorrentías superficiales, en la Cárcava El Balcón las actividades antrópicas incrementaron la velocidad de erosión, producto del vertimiento de aguas del sistema de alcantarillado (Ingemmet, 2019). A medida que el río erosiona la zona baja de la ladera, va modificando el talud en forma casi geométrica (90°) dejando áreas de terreno inestables sobre la cual se construyeron viviendas de material rústico (calamina y madera). Muchas veces el desarrollo de infraestructura provoca la formación y crecimiento de las cárcavas cuando los escurrimientos se concentran en las zonas de ruptura. Tal como se observa en la fotografía 2, las paredes del talud muestran surcos de 20 cm de ancho, que se van erosionando con mayor velocidad producto de la filtración de agua.	Presenta asentamiento de viviendas y la "Institución Educativa Emblemática Dos De Mayo", ubicadas al límite de la Cárcava El Balcón.	Seguimiento y mantenimiento de obras dispuestas para el control de la erosión, prolongar su vida útil y determinar la funcionalidad de las medidas adoptadas. Realizar una adecuada y permanente vigilancia. A la altura de la manzana 7- N, lote 6 construir un muro de contención según especificaciones técnicas de un especialista. Realizar limpieza de los canales de drenaje superficial y alcantarillado. Así como realizar un tratamiento de las aguas residuales que son vertidas a la ladera de la cárcava. Reforestar las laderas con árboles de raíz profunda. Evitar la construcción de viviendas de material noble al borde de la cárcava.
4 San Juan Cachuela Tambopata	Erosión fluvial, inundación fluvial. A la altura del km 4+950 de la carretera Puerto Maldonado-Cachuela presenta intensa erosión fluvial que genera derrumbes en la margen derecha del río Madre de Dios. Hasta la actualidad ha migrado entre 40 y 50 m en un periodo de 15 años aproximadamente. La terraza tiene una altura de 5 m, el área afectada tiene una longitud de 500 m. Otro tramo afectado es el de la carretera Cachuela Otilia-Puerto Arturo, altura del km 8+200. En la margen izquierda del río se desbordó el nivel del caudal alcanzando una distancia horizontal de hasta 3 km, entre los meses de febrero y marzo del 2014 (fotografía 7.2 y figura 7.6)	Afectó extensas áreas de terreno de cultivo de Cachuela Margen, 01 C.E. Cachuela, tramo de carretera Cachuela Otilia-Puerto Arturo y piscigranjas del Bajo Tambopata, La Cachuela, El Prado.	Colocar defensa ribereña, prohibir la construcción de viviendas dentro del área vulnerable a inundaciones.
5 Boca Piedras Tambopata	Erosión fluvial, inundación fluvial. Localizado en la confluencia de los ríos Las Piedras y Madre de Dios, sector Boca Piedras, a consecuencia de la subida del nivel de ambos ríos en el último periodo lluvioso del año 2014, produjo erosión fluvial en su margen derecha en un tramo de aproximadamente 1 km de longitud y 20 m de ancho. El nivel del caudal del río Madre de Dios se incrementó alcanzando hasta 6 m de altura sobre la terraza de 4 m de alto (figura 7.7).	Destruyó 04 Has de platanales y viviendas del A.H. Naranjal.	Construir defensa ribereña. Prohibir la construcción de viviendas en el sector.
6 Puerto Pastora hasta la Estación Petroperú, Puerto Maldonado Tambopata	Erosión fluvial, inundación fluvial. En los últimos años, la distancia del trazo de la carretera interoceánica (tramo puerto La Pastora-estación Petroperú) hacia el acantilado de la margen derecha del río Madre de Dios viene acortándose progresivamente hasta una distancia de 25 m debido a la intensa erosión fluvial del río y el avance de cárcavas, aproximadamente 1.2 km en el sector La Pastora y 3 km de longitud en el sector Nuevo Amanecer. Las alturas de las terrazas varían de 3 m hasta 24 m. Esta zona también fue afectada por el desborde del río Madre de Dios en febrero de 2014 (figuras 7.8 al 7.10).	Afecta viviendas y la estación de Petroperú. Puede afectar tramo de carretera Interoceánica.	Reubicar viviendas que se encuentran en la zona susceptible de ser inundadas, colocar defensa ribereña como espigones. Cambiar el trazo de la carretera. Implementar un sistema de alerta temprana.

Continuación...

<p>7 Puerto Laberinto Laberinto</p>	<p>Inundación fluvial, erosión fluvial, derrumbes. En febrero de 2012 y 2014, se desbordó el río Madre de Dios por incremento del nivel del caudal y afectó viviendas de Puerto Laberinto. El poblado se encuentra en una zona de orillares susceptible de tener inundaciones. Localizado en la margen derecha del río Madre de Dios, en un tramo de 130 m de longitud, al SO del poblado también es afectado por un meandro antiguo. Aguas abajo afecta tramo de 300 m de la trocha Laberinto-Barranco (figuras 7.11 al 7.13).</p>	<p>Destruyó un grifo, áreas de cultivo y afectó viviendas del puerto Laberinto. Se colocó costales de arena para mitigar la erosión. Se llevó una parte de la plataforma de la carretera Laberinto-Barranco.</p>	<p>Prohibir la construcción de viviendas en áreas sujetas a inundación, implementar un sistema de alerta temprana. Construcción de viviendas de madera sobre atillos o pilotes.</p>
<p>8 Sarayacu, Centromín Inambari</p>	<p>Erosión fluvial, inundación fluvial. Localizado en la margen derecha del río Inambari, erosionó aproximadamente 120 m. Su terraza tiene una altura de 4 m donde se ubican viviendas del puerto Sarayacu. En enero de 2014 se incrementó el caudal del río Inambari. Producto de las lluvias intensas se desbordó en la margen derecha del río y generó procesos de erosión fluvial e inundación. Este evento provocó severos daños a los puertos Sarayacu, Centromín, Puerto Carlos y Mazuko (figuras 7.14 y 7.15).</p>	<p>57 viviendas colapsadas, 36 viviendas afectadas, pérdida de cultivos de Nueva Arequipa, CC. NN, Boca Inambari, Dos de Mayo, Isla Chata, Puerto Mazuko, Sarayacu, Centromín, Virgen de la Candelaria, Unión Progreso. Puede afectar 01 grifo y tramo de carretera de acceso a puerto Sarayacu.</p>	<p>Colocar defensa ribereña, reubicar viviendas afectadas en el puerto Sarayacu, implementar sistema de alerta temprana.</p>
<p>9 Tramo de carretera Santa Rosa - Mazuco, km 287+830 - km 277+300 Inambari</p>	<p>Derrumbes Tramo de carretera Interoceánica, Santa Rosa-Masuko es afectada por derrumbes irregulares localizados en el talud superior. Se presentan en lodolitas rojizas con areniscas poco consolidadas. A la altura del km 277+445 se ha colocado gaviones, presenta asentamientos en carretera asfaltada (figura 7.16).</p>	<p>Afecta aproximadamente 10 km de carretera asfaltada por sectores. Puede interrumpir el tránsito hacia las localidades de Masuko y Santa Rosa en periodos de lluvia.</p>	<p>Colocar mallas o geomembranas para evitar caídas en la vía, limpieza de cunetas.</p>
<p>10 Masuko Inambari</p>	<p>Flujo de detritos (huaicos). Tramo de la carretera interoceánica km 261+000 -262+100 cortado por los cursos de las quebradas tributarias del río Inambari, las cuales se han canalizado. El cauce tiene 5 m de ancho por donde discurren huaicos y en época de lluvias excepcionales se desborda y afecta a las viviendas del Jr. Mazuko que se encuentran en ambas márgenes. Se ha colocado 02 alcantarillas en el km 261+000, 261+863 y 262+100 de la carretera Interoceánica Masuko-Puerto Maldonado. Los materiales que transportan estas quebradas están constituidos principalmente por arenas y pocas gravas (figura 7.16).</p>	<p>Afectó 06 viviendas del poblado Masuko. Puede afectar 1 km de la carretera interoceánica por sectores.</p>	<p>Limpieza del cauce de las quebradas y alcantarillas. Implementar sistema de alerta temprana.</p>



Figura 7.3 Imágenes donde se puede observar los niveles alcanzados por las inundaciones producidas por los ríos Madre de Dios y Tambopata. A) Viviendas de la Av. Circunvalación afectadas por el desborde del río Tambopata. (Indeci, tomado el 03 de febrero 2014). B) Inundación alcanzó 1.9 m de alto. Como se puede observar en las paredes aún se muestran las marcas en las viviendas (tomado en julio de 2014). C) Vistas del poblado de Pueblo Viejo días después de la inundación (Indeci, 03/02/2014). D) Vistas del poblado Pueblo Viejo meses después de la inundación.



Fotografía 7.1 Erosión en cárcavas formadas en la margen derecha del río Madre de Dios, en el cruce de la Av. Circunvalación y Andrés Avelino Cáceres



Figura 7.4 Vistas de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Tambopata, en una extensión de 1100 m. Como se observa: (A) las viviendas se encuentran de 8 a 35 m de distancia hacia el borde del río; (B) debido a la constante erosión y a la intervención del hombre, colapsó un colector construido para evacuar el drenaje de precipitaciones que además fue usado por los pobladores de la zona como desagüe, que aceleró el proceso de erosión.



Fotografía 7.2 Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios, sector San Juan Cachuela



Figura 7.5 A) Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios. B) Formación de pequeños surcos generados por la escorrentía superficial y la filtración de agua de las tuberías que se encuentran en pésimas condiciones. C) Dimensiones de la cárcava El Balcón.



Figura 7.6 Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios, sector Otilia. Se llevó tramo de carretera Cachuela Otilia-Puerto Arturo.



Figura 7.7 Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios, produjo la pérdida de 20 m de ancho x 600 m de longitud y destruyó extensas áreas de cultivo en el sector Boca Piedras.

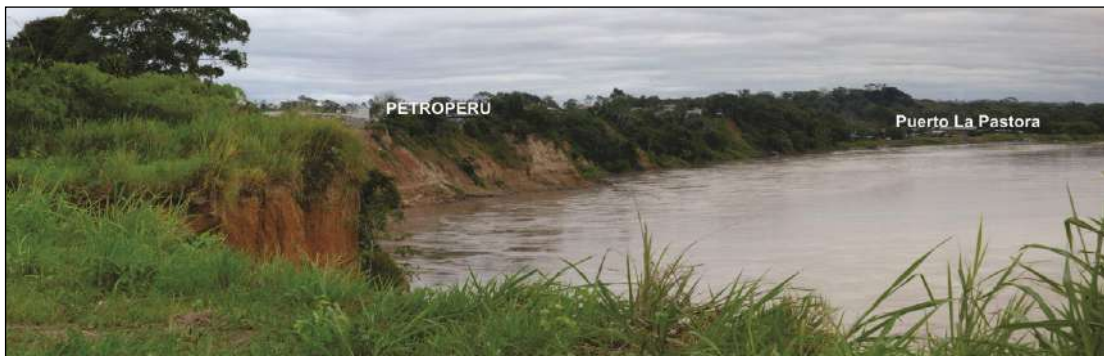


Figura 7.8 Vista de erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios en el sector Petroperú, afectando un tramo de 1.2 km de longitud

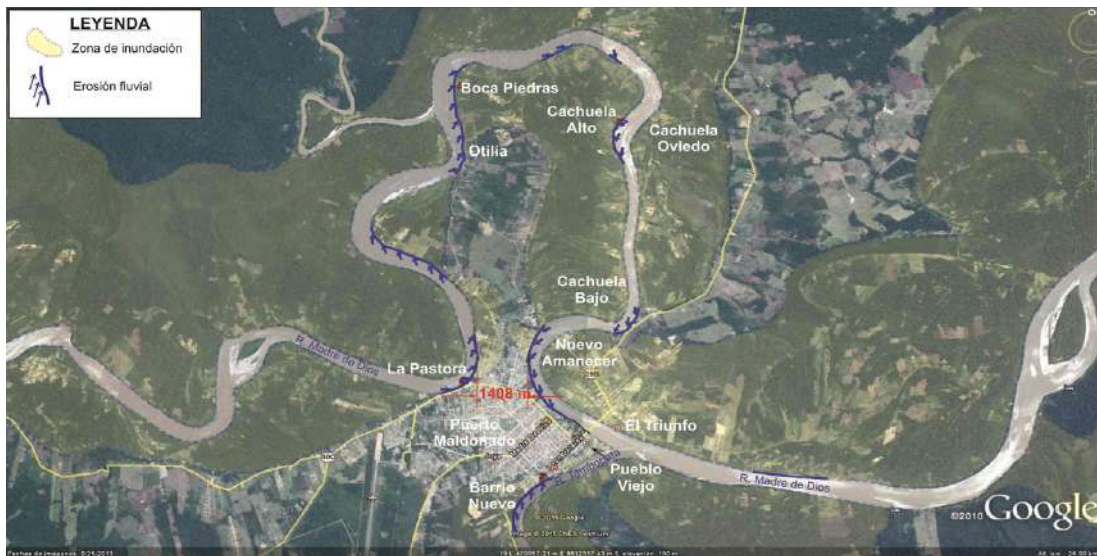


Figura 7.9 Se identifica el área sujeta a inundaciones en ambas márgenes del río Madre de Dios y Tambopata, y las zonas afectadas por erosión fluvial

Fuente: Imagen de Google Earth



Figura 7.10 Comparación de imágenes de los años 1969 y 2013 consultada del Google Earth. En 44 años la distancia entre los meandros de los sectores La Pastora y Nuevo Amanecer se ha reducido hasta 43 m aproximadamente.



Figura 7.11 El poblado Puerto Laberinto se encuentra en un área sujeta a inundación (líneas de color amarillo). El evento del 2012 (línea de color magenta) afectó a una parte del poblado. Imagen de Google Earth.



Figura 7.12 Vistas aéreas tomadas el 05 de febrero de 2012 en Puerto Laberinto. A) Debido a la erosión fluvial de 200 m de longitud, colapsó un grifo. Se colocó costales de arena a fin de mitigar dicho proceso. B) Vista más cercana del puerto Laberinto (tomada por Indeci, 2012).



Figura 7.13 Vistas del Puerto Laberinto debido a la erosión fluvial de 200 m de longitud. Colapsó un grifo, se colocó costales de arena a fin de mitigar dicho proceso.



Figura 7.14 Vistas del sector Sarayacu, como producto de la erosión fluvial-inundación colapsaron 27 viviendas. La inundación llegó hasta el sector Virgen de la Candelaria, km 338 de la carretera Interoceánica.

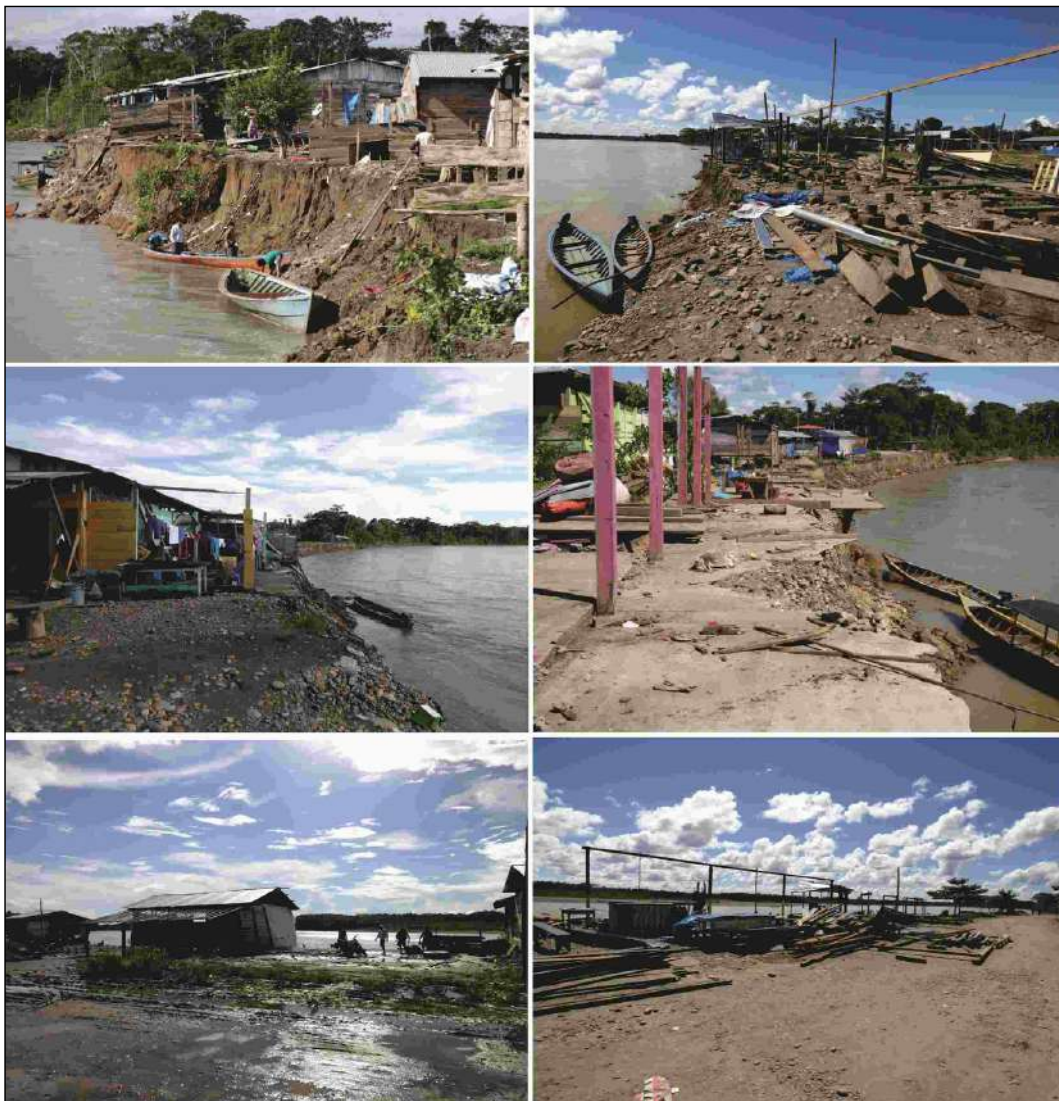


Figura 7.15 Vistas del sector Sarayacu, como producto de la erosión fluvial-inundación colapsaron 27 viviendas. la inundación llegó hasta el sector Virgen de la Candelaria, km 338 de la carretera Interoceánica.



Figura 7.16 Derrumbes en los km 287+830 de 80 m de longitud y 15 m de alto (A), km 277+000 con presencia de filtraciones en talud superior de la carretera interoceánica, sector Santa Rosa (B)



Figura 7.17 Tramo de carretera Interoceánica es cortado por quebradas por las que discurren huacos a consecuencia de lluvias intensas. En enero del 2014 se desbordó y afectó viviendas que se encuentran en ambas márgenes del Jr. Masuko del poblado de mismo nombre. Los colectores de drenaje pluvial también desembocan en estas quebradas (A, B y C). En el km 261+863 se ha colocado dos alcantarillas por donde pasa la tubería de agua potable, marcado por el círculo de color rojo (D).

Cuadro 7.2
Zonas críticas en la provincia de Tahuamanu

Paraje/Sector Distrito	Áreas Sujetas a/comentario Geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
11 Iñapari, Barrio Virgen del Rosario, Av. León Velarde, UPIS Brisa Yaverija Iñapari	<p>Inundación fluvial, erosión fluvial, erosión de laderas.</p> <p>El río Acre tiene aproximadamente 50 m de ancho de cauce. A consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales en febrero de 2012 y marzo de 2014, se incrementó el nivel del río Acre, se desbordó por su margen derecha y la margen izquierda del río Yaverija y afectó severamente viviendas de Iñapari y asentamientos humanos Brisas del Yaverija y Virgen del Rosario.</p> <p>Otra condicionante es la topografía, debido a que una parte del casco urbano de la ciudad de Iñapari, próxima al puente Internacional (Av. León Velarde), se encuentra por debajo del área que ocupa el meandro, lo cual favorece el embalsamiento. Hace 6 años se colocó muros de contención en la margen derecha del río Acre, lo cual ayudó a que el poblado Iñapari no se inundara en su totalidad. En este sector el cauce del río ha ido migrando constantemente por lo que se requiere evaluar la movilidad y divagación del río Acre.</p> <p>También se produjo erosión fluvial en la margen izquierda del río Yaverija en un tramo de aproximadamente 100 m de longitud, donde se ubica la UPIS Brisa Yaverija, en un área declarada no habitable. La zona también es afectada por la generación de cárcavas debido a la construcción de un canal colector (figuras 7.18 al 7.23).</p>	<p>En febrero del 2012, el 80 % de la ciudad de Iñapari se encontró inundada (seis km de calles anegadas) y los daños fueron valorizados en 15 millones 230 mil nuevos soles (El Comercio, 2012). En el 2014, 54 viviendas afectadas de los asentamientos humanos Brisas y Virgen del Rosario, 600 m de vías urbanas, el 90 % de red de desagüe, el 70 % de red de alcantarillado, 270 afectados. Se realizó la evacuación de las familias. Puede afectar puente Internacional de 240 m de luz. Afectó aproximadamente 30 viviendas de la UPIS Brisa Yaverija hasta el cruce de Jr. 07 de Octubre y Av. José Olaya.</p>	<p>Implementar un sistema de alerta temprana. Para evitar futuros daños en la estructura del puente, se debe colocar espigones y muros de contención en la margen derecha del río Acre. Instalar una regla hidrométrica en la orilla del río Acre. Prohibir el uso de las fajas marginales para fines de asentamiento humano, agrícola u otra actividad que las afecte. Diseñar e instalar un sistema de drenaje pluvial. Reubicar las viviendas afectadas de UPIS Brisas Yaverija. Colocar defensa ribereña para evitar la erosión y pérdida de terrenos en la margen izquierda del río Yaverija.</p>



Figura 7.18 Vista de las terrazas bajas sujetas a inundación en la margen derecha del río Acre. Parte del poblado Iñapari se encuentra dentro de estas áreas.



Figura 7.19 A) Inundación del año 2012, Av. León Velarde afectada (tomada por Indeci). B) Vista del desnivel de la carretera Interoceánica, parte del casco urbano de la ciudad de Iñapari, próxima al puente Internacional (Av. León Velarde). Se encuentra por debajo del área que ocupa el meandro del río Acre, lo cual favorece el embalsamiento en la época de lluvias intensas.



Figura 7.20 A) Erosión fluvial en la margen izquierda del río Yaverija. Aquí se encuentra asentado la UPIS Brisas de Yaverija. En enero del 2014 incrementó el caudal del río, se desbordó hasta la Av. José Olaya (80 m) y afectó aproximadamente 30 viviendas. La zona también es afectada por cárcavas debido a la intensa erosión originada por la evacuación de un colector de drenaje pluvial mal diseñado identificado con el círculo de color rojo. B) Vista más cercana del colector de drenaje pluvial.



Figura 7.21 A y B) Vista de la inundación del 17 de febrero de 2012 en la ciudad de Iñapari. C) Av. León Velarde, Barrio Virgen del Rosario, el nivel del agua alcanzó 1.5 m de altura en la ciudad. D y E) Vistas tomadas en el interior de la municipalidad provincial de Iñapari, afectó documentos, archivos, sistema integrado, comunicación, equipos de cómputo, mobiliario y los patrimonios de almacén. F) Vista de la Av. León Velarde (carretera Interoceánica y el puente Internacional). G) Plaza de armas de Iñapari y Banco de la Nación totalmente inundados.

Fuente: Indeci, 2012

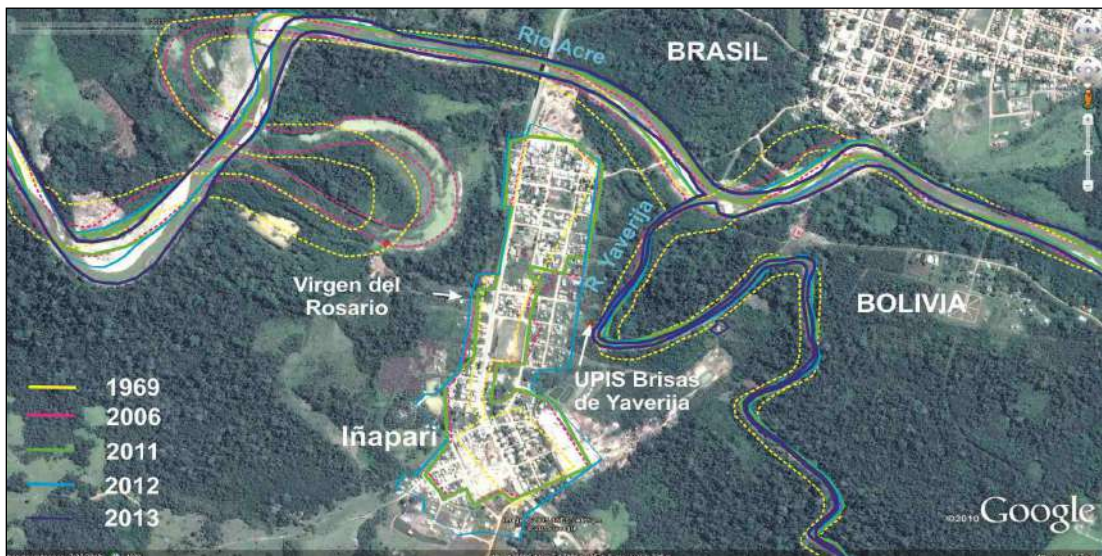


Figura 7.22 Se puede observar el cambio de los cursos de los ríos Acre y Yaverija. Se ha utilizado las imágenes multitemporales de Google Earth (1969-2013).



Figura 7.22 Se observa el área de color amarillo, zona sujeta a inundación. Parte del poblado Iñapari se encuentra dentro de esta zona. En color magenta se indica la zona afectada por inundación en el año 2012.

Fuente: Imagen de Google Earth.

Cuadro 7.3
Zonas críticas en la provincia de Manu

Paraje/sector Distrito	Áreas sujetas a/comentario geodinámico	Vulnerabilidad y/o daños ocasionados	Recomendaciones
12 Poblado de Manu Fitzcarrald	Erosión fluvial. Localizado en la margen izquierda del río Madre de Dios, muy cerca de la confluencia de los ríos Manu y Alto Madre de Dios. A consecuencia de la subida del nivel del río Madre de Dios en el último periodo lluvioso del año 2013, produjo erosión fluvial en su margen izquierda en un tramo de aproximadamente 2 km de longitud. El poblado de Boca Manu se encuentra asentado en una terraza aluvial conformada por arenas, limolitas y conglomerados, poco consolidados (figura 7.24).	Causó la destrucción total del local de la comisaría del distrito, también ocasionó la pérdida de terreno en la plaza principal.	Se debe tener presente como recomendación principal que la construcción de viviendas, así como cualquier tipo de infraestructura importante, tiene que encontrarse a suficiente distancia del borde del río Manu, así como de sus afluentes, ya que la dinámica divagante, meandriformes y anastomado que presenta el curso del río por tramos, hace que las terrazas sean muy susceptibles de ser erosionadas por nuevas variaciones o migraciones del curso principal.
13 Sectores El Vado y Gamitana Manu	Flujos de detritos, erosión fluvial. El cauce del río Carbón se estrecha hasta unos 80 m. Aquí se construye un puente vehicular que permitirá el acceso durante todo el año hacia las localidades de Salvación, Shintuya y Puerto Edén, ya que en las actuales condiciones solo existe paso en los meses de estiaje. El río Carbón tiene un ancho máximo de 900 m cerca de su desembocadura. Estos cambios en las dimensiones del ancho del cauce originan que, en periodos lluviosos, las masas de agua que transporta el río Carbón produzcan erosión en los sectores donde se estrecha (fotografía 7.3).	Puede afectar puente y terrenos de cultivo.	Para evitar futuros daños en la estructura del puente, la protección de los estribos del puente puede hacerse por medio de la construcción de muros de gaviones cuyas dimensiones deben ser calculadas por medio de estudios hidrológicos. De igual forma estos gaviones deben estar muy bien cimentados en el cauce para evitar socavación en la base. También se debe colocar espigones en ambas márgenes para controlar la erosión que se produce a lo largo de las márgenes, aguas arriba y abajo del puente.
14 Tramo carretero de 10 km entre las localidades de Salvación y Mansilla Manu	Flujos de detritos, erosión fluvial. Tramo de carretera Salvación-Mansilla de aproximadamente 10 km es cortado por los cursos fluviales de los ríos Salvación, Yunguyo y las quebradas Adanrayo, Cabo de Hornos y Mansilla. Por estos ríos en periodos de lluvia discurren flujos de detritos y grandes caudales de agua que cortan el tránsito por esta carretera de penetración, y dificultan el tránsito de personas y el intercambio comercial, además de representar un alto peligro para la seguridad física de las personas que transitan por estas vías en periodos de lluvia. Los materiales que transportan estas quebradas están constituidos principalmente por arenas y gravas donde los clastos tienen diferente composición (fotografía 7.4).	Interrumpe el tránsito hacia las localidades de Shintuya y Puerto Edén en periodos de lluvia.	Se requiere la realización de obras de encauzamiento de quebradas por medio de muros de gaviones, reparación o reconstrucción de los que ya existen en algunas quebradas. Así también la construcción de badenes, limpieza y descolmatado del cauce de quebradas.



Figura 7.24 Proceso erosivo en la margen izquierda del río Madre de Dios en el distrito de Boca Manu, produjo la pérdida de terrenos en la plaza principal y la destrucción de la comisaría del distrito.



Fotografía 7.3 Vista aguas abajo del río Carbón. Se puede observar el nuevo puente vehicular que se está construyendo. Este debe contar con buenas defensas ribereñas en los estribos del puente, los cuales deben estar muy bien cimentados para que resistan los caudales que discurren por el río.



Fotografía 7.4 Río Yunguyo que corta la carretera de acceso a Shintuya y Puerto Edén. El río tiene un ancho de cauce de 200 m, los flujos de detritos que por él discurren acarrear material gravoso y troncos.

CAPÍTULO VIII

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS GEODINÁMICOS

8.1 GENERALIDADES

Los factores que influyen en la inestabilidad de las laderas pueden ser naturales o antropogénicos. Se describirá brevemente cada uno de ellos a continuación.

Factores naturales. Están ligados a las condiciones intrínsecas del terreno, tales como tipo de litología (suelo o formaciones superficiales, sustrato rocoso), pendiente del terreno, precipitaciones pluviales, movimientos sísmicos, entre otros.

La litología que caracteriza al sustrato puede estar dominada por fracturamiento que resulta de esfuerzos y otros procesos. Además, si el macizo rocoso está meteorizado, la roca es de mala calidad (no competente). Por otro lado, la alternancia de rocas con diferente competencia como los conglomerados, las areniscas y arcillitas (formaciones Chonta, Pozo, Tarma, Ambo, Copacabana, San Gabán y Ananea), como también rocas formadas por pizarras, cuarcitas y metareniscas (Formación Sandía y Grupo San José), puede generar movimientos en masa (intercalación de rocas fuertes y rocas débiles).

Las lluvias de gran intensidad, sean de corta, moderada o de larga duración, se infiltran y ocasionan el incremento de la presión intersticial. Así, el peso unitario de los materiales humedecidos incrementa el grado de inestabilidad de los materiales de las laderas. La región Madre de Dios se caracteriza por ser de tipo lluviosa, y en tiempos de lluvias excepcionales se registran precipitaciones mayores a 700 mm anuales. Cuando se presentan lluvias muy intensas en la región, los terrenos o suelos pierden estabilidad y se generan fenómenos de movimientos en masa.

Las pendientes naturales del terreno pueden ser muy bajas ($<1^\circ$), zonas de llanura amazónica en fondo de valles, terrazas y terrenos planos ondulados; o tener valores bajos (1° - 5°), terrenos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de la llanura amazónica; terrenos con pendiente moderada (5° - 15°), presentan buena distribución en la zona de montañas, colinas y lomadas; pendiente fuerte (15° - 25°), en laderas con pendiente fuerte en colinas y montañas; y pendientes escarpadas a muy escarpadas ($>25^\circ$) en laderas de montañas,

acantilados y escarpas de valles. Las zonas donde se presenta la mayor cantidad de movimientos en masa son las últimas.

Las aguas de escorrentía originan erosión de fondo y lateral, así como desestabilización de las márgenes. Ocurren también desprendimientos que incrementan material suelto en los lechos de las quebradas y valles, los cuales generan los flujos o huacos cuando hay lluvias fuertes.

Los tipos de cobertura vegetal existentes en la cuenca, así como el grado de intervención al cual están sujetos, determinan el nivel de protección que presentan las laderas.

Factores antropogénicos. Están relacionados con las actividades realizadas por el hombre (la agricultura, minería, el pastoreo, la ocupación antropogénica, la construcción de carreteras, entre otros).

Cuando se construyen viviendas o se habilitan áreas donde hay cultivos, el suelo se altera y pierde su perfil. La deforestación se origina por la demanda de áreas de terreno cultivable y la extracción de madera, lo que ocasiona la pérdida de cobertura natural de los suelos que proveía protección.

Modificación de los taludes por la construcción de carreteras que permiten la comunicación con las diferentes comunidades de la zona.

El uso de un sistema de riego inadecuado. Cuando el riego es en exceso produce la sobresaturación de los terrenos y los hace susceptibles de la generación de movimientos en masa.

Modificación y/o pérdida del perfil del suelo, vegetación y drenaje superficial durante las operaciones mineras: desmonteras, construcción de carretera, campamentos, oficinas, etc.

8.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS

En esta sección, se dan algunas propuestas de solución para la región, con la finalidad de evitar la generación de nuevas ocurrencias y minimizar las ocurrencias de deslizamientos, derrumbes, caídas de roca, flujos, procesos de erosiones de ladera, entre otros.

8.3 OTRAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA DESLIZAMIENTOS, DERRUMBES, CAÍDA DE ROCAS

Las medidas correctivas se pueden realizar en: 1) taludes en construcción, 2) laderas que tienen pendientes fuertes y es necesaria su estabilización, 3) para estabilizar fenómenos de rotura, sobre todo, aquellos que pueden trabajarse a nivel de construcción. Para definir la solución ideal es necesario valorar diferentes parámetros, sean de tipo constructivo o económico.

Corrección por modificación de la geometría del talud

Cuando un talud es inestable o su estabilidad es precaria se puede modificar su geometría con la finalidad de obtener una nueva disposición que resulte estable. Esta modificación busca lograr al menos uno de los dos efectos siguientes:

Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa.

Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura.

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento y lo segundo incrementando el volumen en el pie del mismo.

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.

Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área el peso

del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello, la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

Construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente (figuras 8.1 y 8.2).

El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud, pudiéndose estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura. Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta además como un elemento resistente propiamente dicho.

Algo que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante, pues en caso contrario, su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud. Para ello puede recurrirse al empleo de membranas geotextiles.

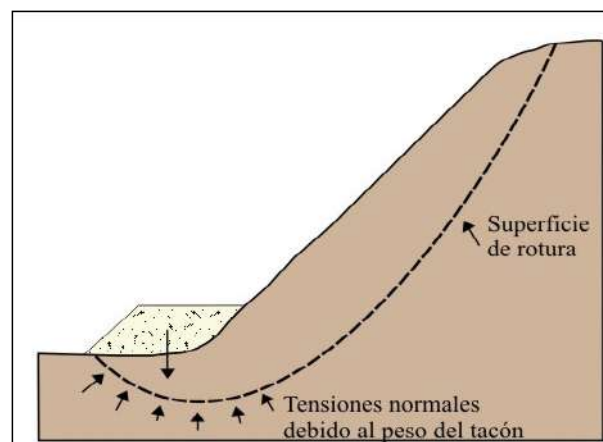


Figura 8.1 Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno (tomado de Inggemmet, 2000)

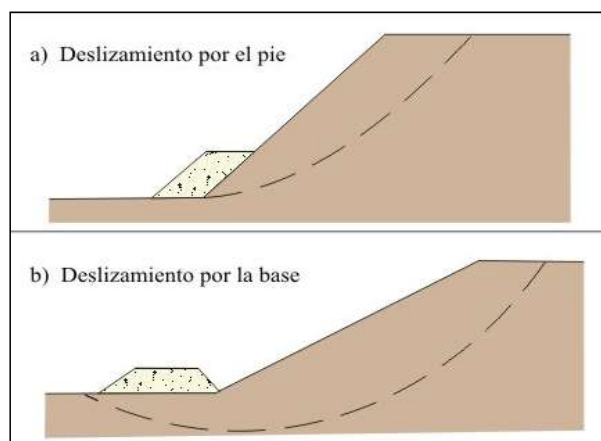


Figura 8.2 Colocación de escolleras (tomado de Ingemmet, 2000)

Tratamiento de taludes con escalonamiento. Es una medida que puede emplearse tanto cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes de que este se produzca. Su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud. Retiene las caídas de fragmentos de roca –indeseables en todos los casos– y si se coloca en ellos zanjas de drenaje, entonces se evacuará las aguas de escorrentía,

disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales (figura 8.3).

Este escalonamiento se suele disponer en taludes en 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.

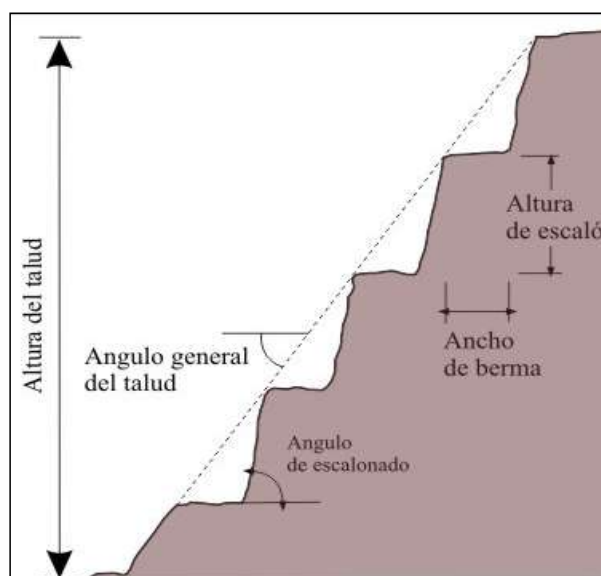


Figura 8.3 Esquema de un talud con bermas intermedias (tomado de Ingemmet, 2000)

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), lo que aumenta su resistencia y disminuye el peso total y, por 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, evitándose su infiltración (figura 8.4).

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 la misma, de manera que eviten la llegada del agua a las grietas de tensión que podrían existir o no. El cálculo de la sección debe hacerse con los métodos hidrológicos.

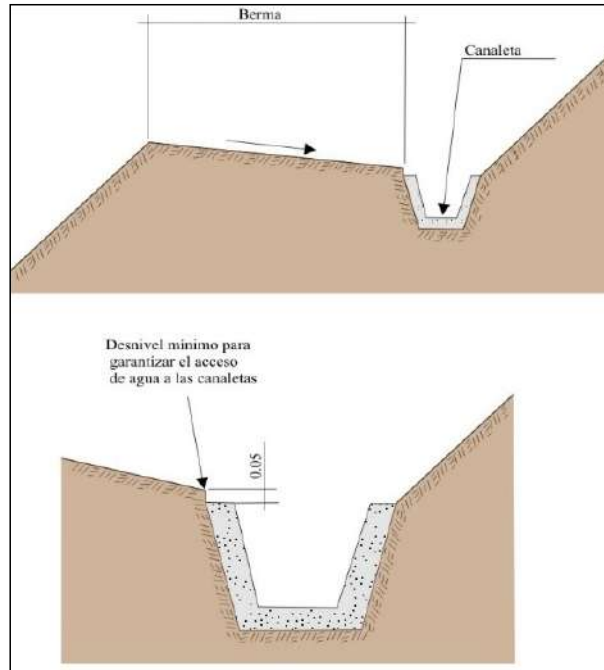


Figura 8.4 Detalle de una canaleta de drenaje superficial (tomado de Ingemmet, 2000)

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 8.5).

Se clasifican en los siguientes grupos:

b.1 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 del mismo (figuras 8.5 y 8.6).

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.

b.2 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 ratio de acción y la efectividad del sistema de drenaje es necesario instalar drenes perforados desde galería (figuras 8.5 y 8.6).

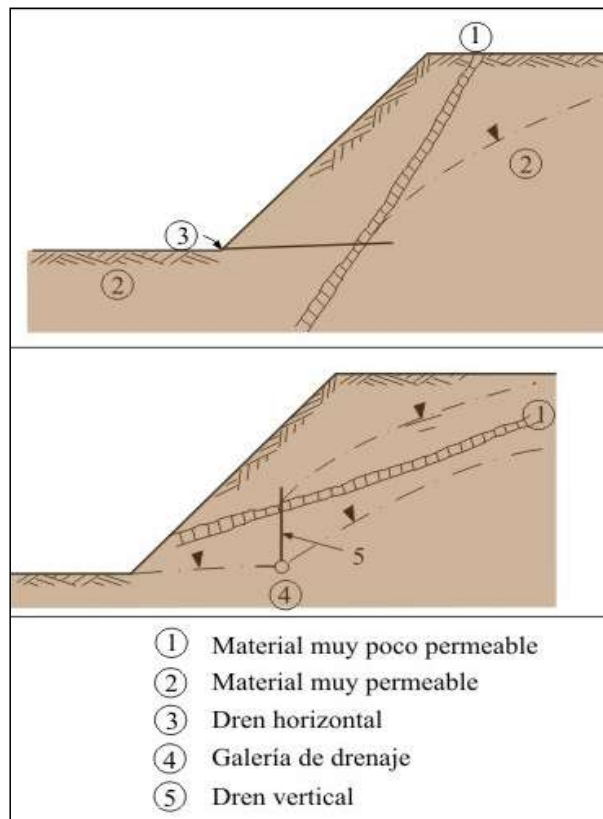


Figura 8.5 Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos

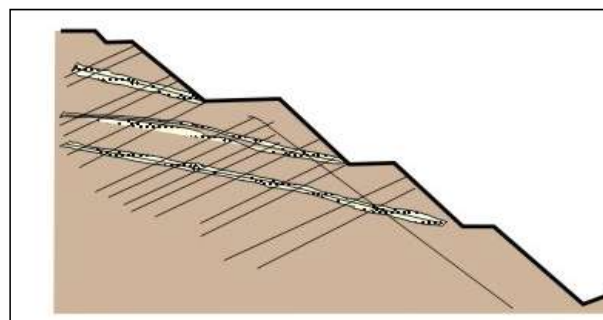


Figura 8.6 Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos (López García, 1984)

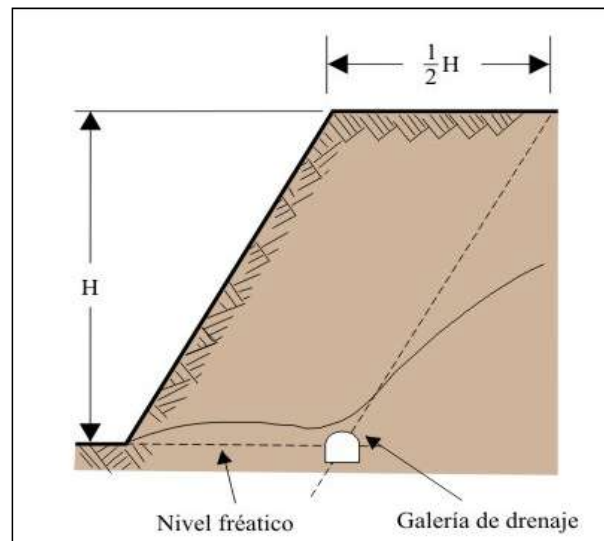


Figura 8.7 Posición óptima de una galería de drenaje (Hoek y Bray, 1997)

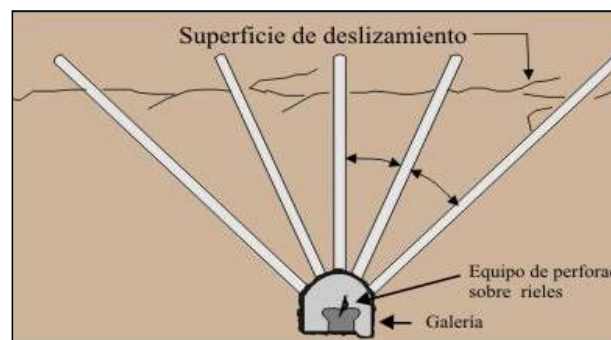


Figura 8.8 Drenaje de superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje (Canmet, 1997).

Dentro de sus ventajas se cuentan las siguientes:

- Mayor capacidad drenante debido a su gran sección transversal.
- Apropriadadas para operaciones a largo plazo, dado que el drenaje se realiza por gravedad.
- Sirven para determinar la cantidad del terreno.
- No afectan a la superficie del terreno.
- Apropriadadas para zonas de climas fríos debido a que se ubican a gran profundidad.

b.3 Zanjas con relleno drenante. Dispuestas en la superficie del talud o al pie de él. Consisten en zanjas rellenas de material drenante, excavadas en el talud o más allá del pie de este y cuya acción drenante se limita a profundidades pequeñas (figura 8.9).

Puede 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 8.10).

Zanjas horizontales: Son paralelas al talud y se sitúan al pie de este.

Son útiles los drenes en forma de espina de pescado (figura 8.11). Estos 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 deben tener buena vigilancia.

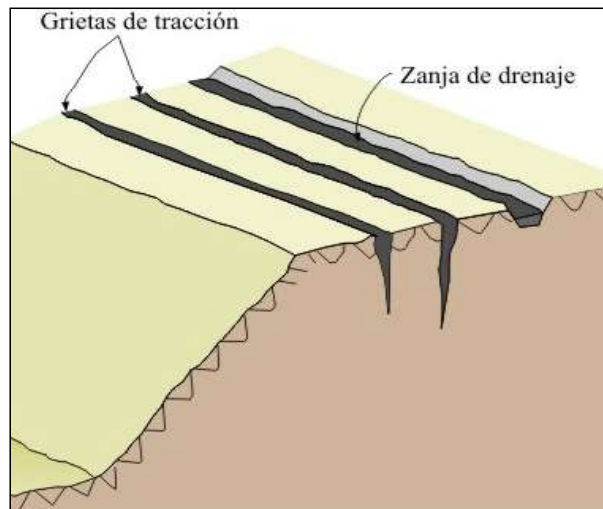


Figura 8.9 Disposición de zanjas de drenaje en un talud (tomado de Ingemmet, 2000)

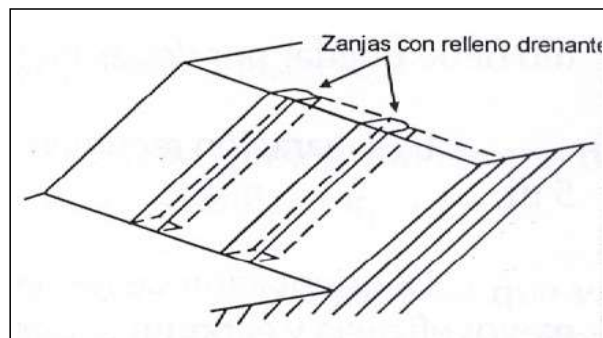


Figura 8.10 Zanjas de talud (tomado de Ingemmet, 2000)

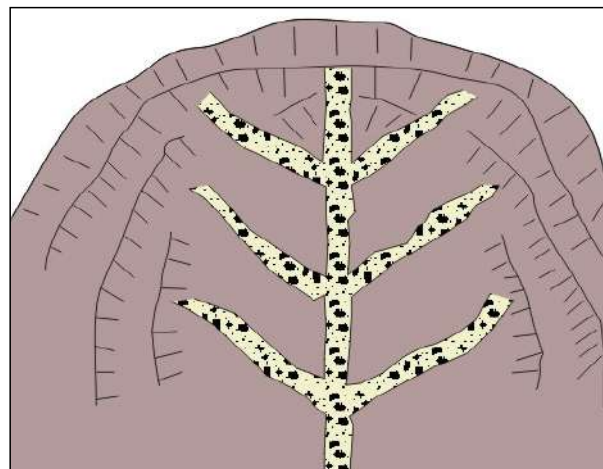


Figura 8.11 Drenaje tipo espina de pescado (tomado de Ingemmet, 2000)

C) Corrección por elementos resistentes

C.1 Anclajes. Los anclajes son armaduras metálicas, alojadas en taladros perforados desde el talud y cementadas (figura 8.12), que se emplean como medida estabilizadora de taludes, tanto en roca como 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 que 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.

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. Esta debe incluirse 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 10° o 15°. La dirección más económica depende de diversos factores, entre ellos la posición de la roca que se desea estabilizar.

C.2 Muros. Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 8.13).

En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (figura 8.14). 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 quiera 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 sobre excavación requerido si aquel no se realiza. La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia, pues en muchos casos son la única solución viable.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (figura 8.15):

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 cimientto.
- 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.

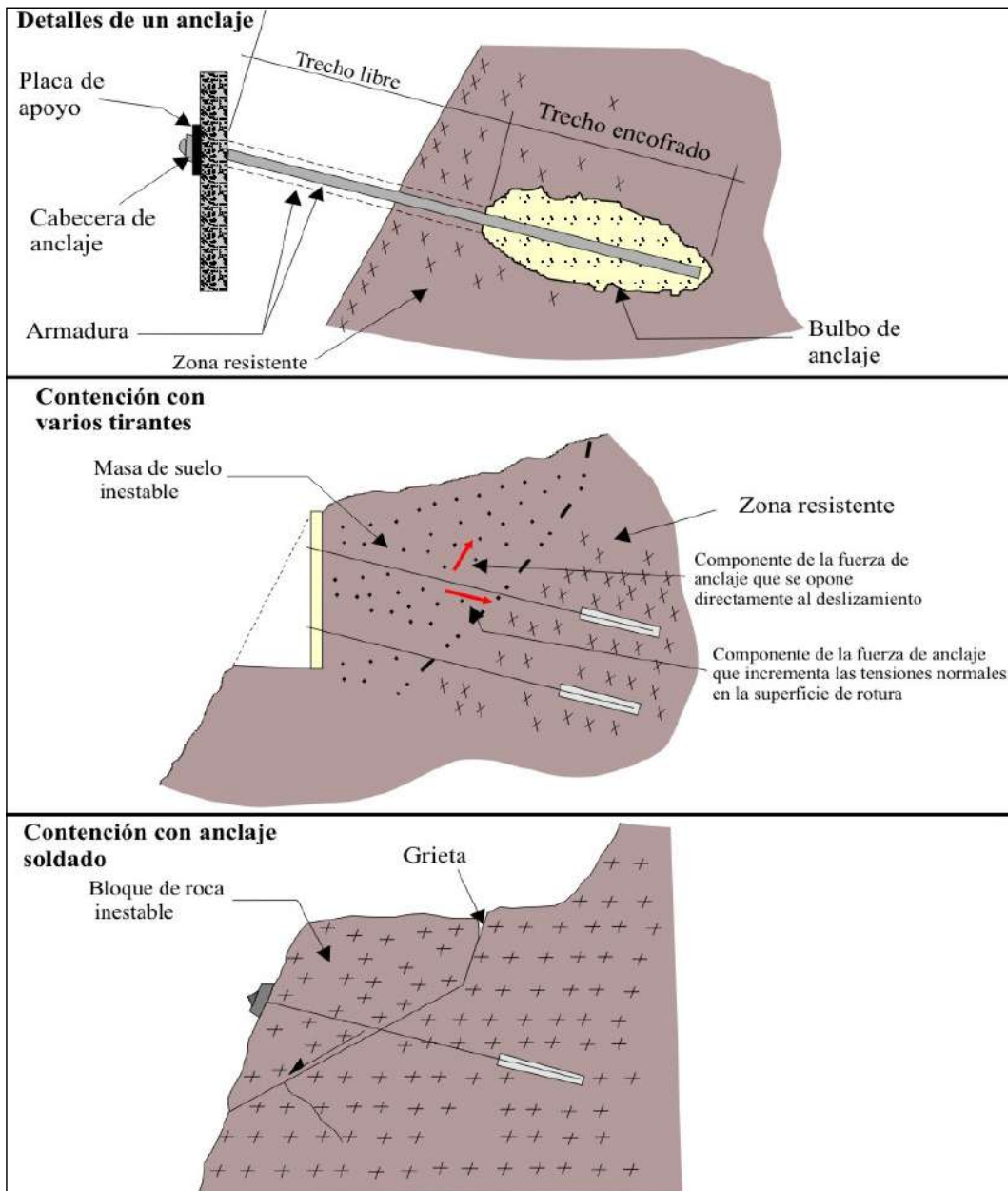


Figura 8.12 Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación (tomado de Ingemmet, 2000)

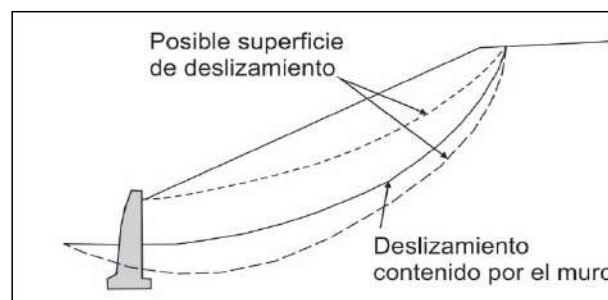


Figura 8.13 Contención de un deslizamiento mediante un muro (tomado de Ingemmet, 2000)

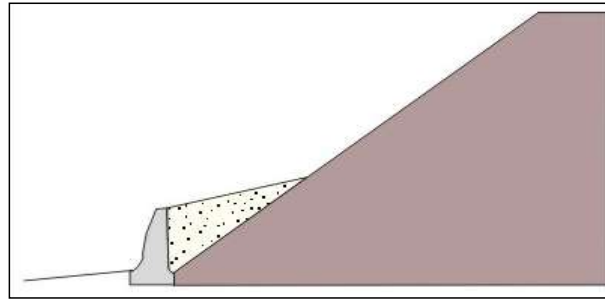


Figura 8.14 Relleno estabilizador sostenido por el muro (tomado de Ingemmet, 2000)

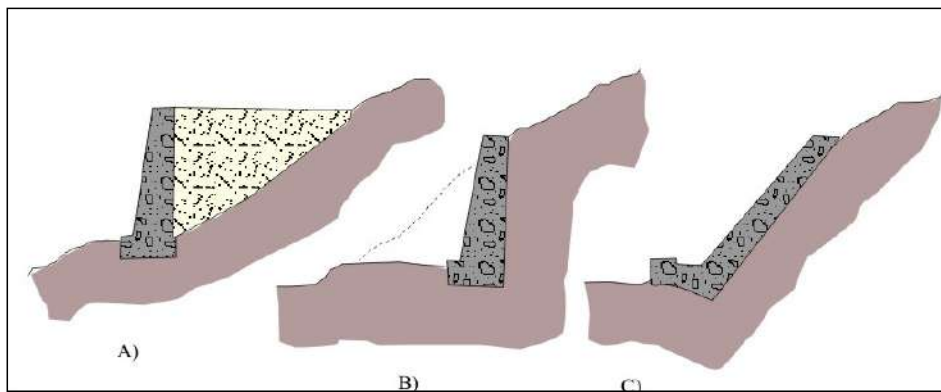


Figura 8.15 a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento (tomado de Ingemmet, 2000)

Tipos de muros

Muros de gravedad: Son los muros más antiguos, son elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (figuras 8.16 – 8.18).

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.

Muros aligerados: Son muros de hormigón armado y existen dos tipos fundamentales:

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 en el momento estabilizador de las tierras situadas sobre el talón (figura 8.19 y 8.20).

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 (Ingemmet, 2000)

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 8.21).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de la base es muy variable, y suele estar comprendida entre 1.7 a 2.4.

Las ventajas que presenta 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.

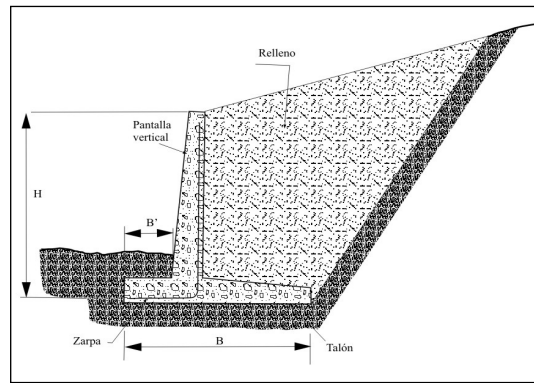


Figura 8.19 Muros de espesor máximo (tomado de Ingemmet, 2000)

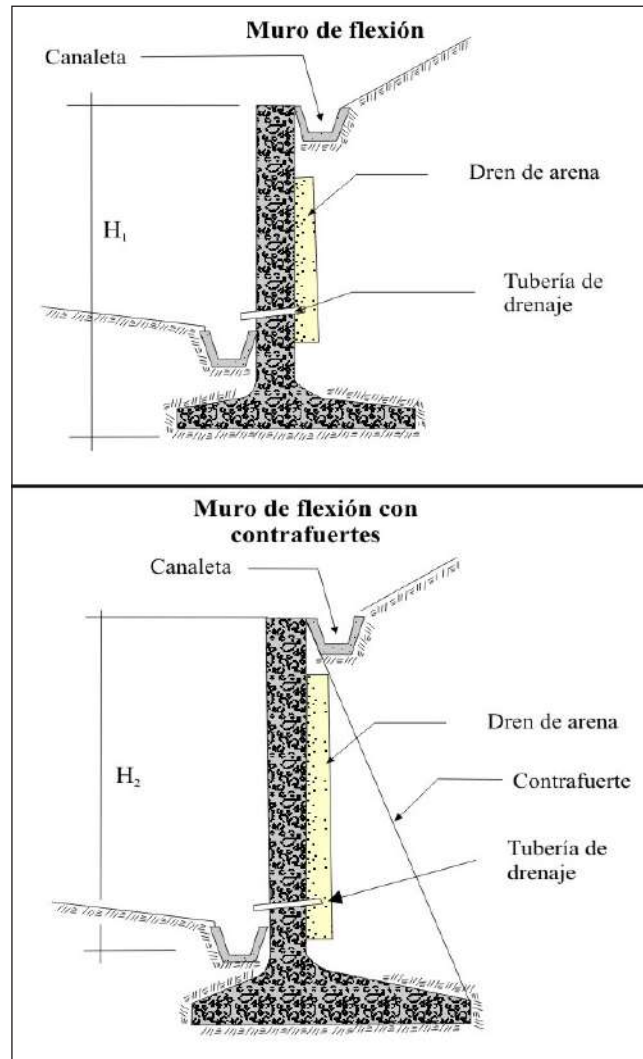


Figura 8.20 Muros de concreto armado tipo flexión (tomado de Ingemmet, 2000)

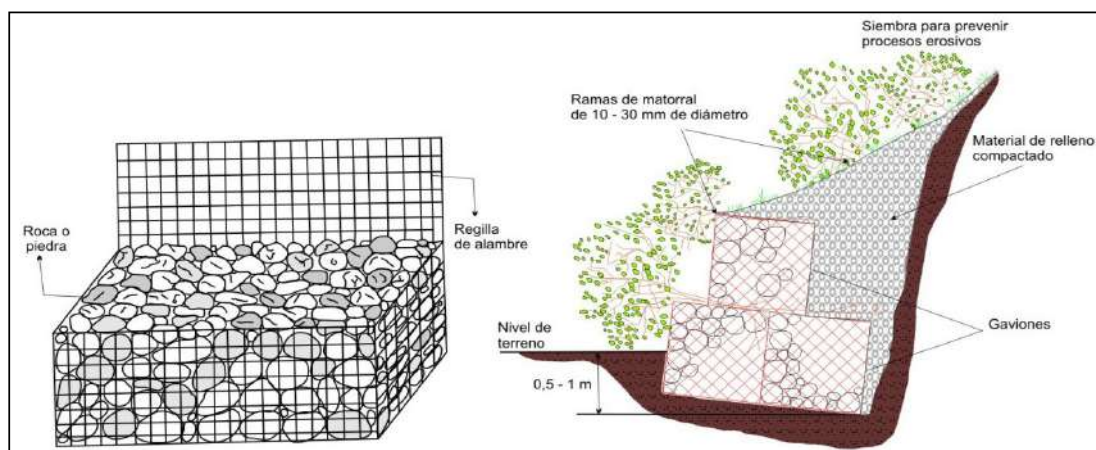


Figura 8.21 Muro de gavión

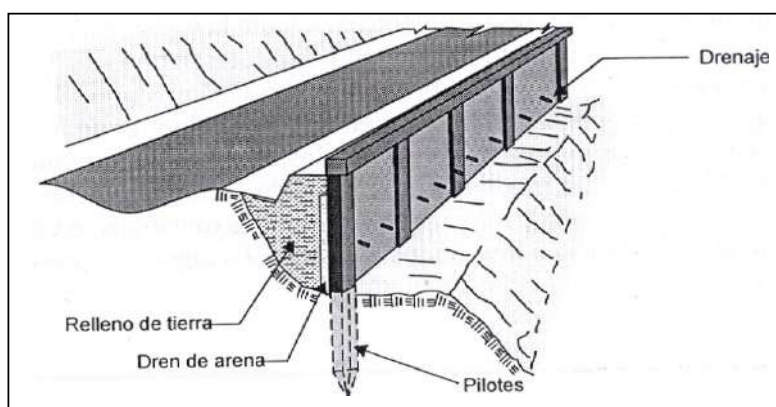


Figura 8.22 Ejemplo de muros con pilotes (tomado de Ingemmet, 2000)

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: cilindros metálicos rellenos de hormigón y reforzados con perfiles metálicos, o con grupos de cables y barras de alta resistencia e inyectados a presión. En algunas ocasiones, se emplean pilotes pretensados. El diámetro de los pilotes que se emplean en taludes varía entre 40 cm 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 (ver figura 10.23). A diferencia de estas, los

muros pantalla constituyen elementos continuos. Como medida estabilizadora de taludes, tienen su máxima aplicación frente a las pantallas de pilotes cuando el material inestable y el sustrato son de fácil excavación.

Para construir un muro pantalla, se excava una trinchera sin entibación, cuyas paredes se mantienen estables gracias a la utilización de lodos bentoníticos con los que se rellenan las zanjas a medida que se extrae el detritus de la excavación. Una vez colocados los tubos junta o tubos de encofrado, cuya misión es conseguir una buena junta de hormigonado, y una vez instalada la armadura, se procede al hormigonado a través de un conducto que llega hasta el fondo de la zanja. El hormigón va relleno la excavación, y al mismo tiempo desplaza al lodo.

El tamaño del muro depende de las características de la maquinaria, y puede alcanzar una profundidad hasta de 40 m. Fundamentalmente existen dos técnicas para la ejecución de la excavación: la excavación con cuchara bivalva y la perforación con circulación inversa.

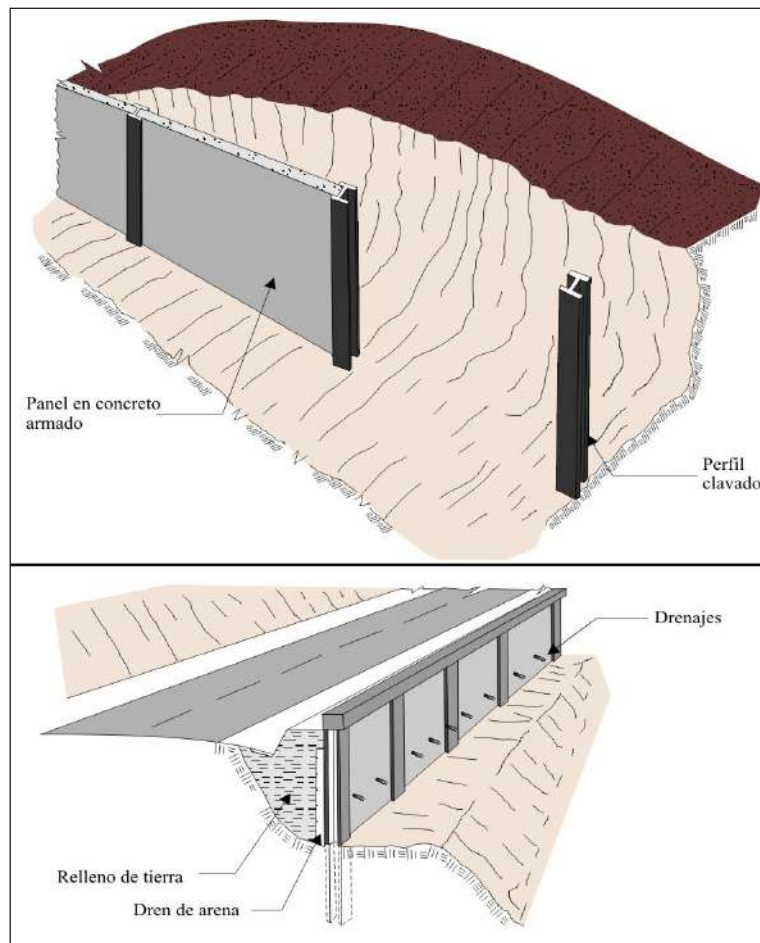


Figura 8.23 Ejemplo de muros de pantalla (tomado de Ingemmet, 2000).

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.

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 hierro galvanizado retienen los fragmentos sueltos de rocas y conducen los trozos desprendidos hacia una zanja en el pie del talud. Son apropiados cuando el tamaño de roca a caer se encuentra entre 0.60 y 1.00 m.

La malla se puede fijar al talud de varias maneras: siempre en la parte superior del talud o en bermas intermedias. Como sistemas de fijación pueden emplearse bulones, postes introducidos en bloques de hormigón que pueden a su vez ir anclados o simplemente 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 1 m por encima de la zanja de acumulación de piedras.

d.2) Sembrado de taludes

Mantener una cobertura vegetal en un talud produce indudables efectos beneficiosos, entre los cuales destacan los siguientes:

- Las plantaciones evitan la erosión superficial tanto hídrica como eólica, que puede ocasionar la ruina del talud en el largo plazo.
- La absorción de agua por las raíces de las plantas produce un drenaje de las capas superficiales del terreno.
- Las raíces de las plantas aumentan la resistencia al esfuerzo cortante en la zona del suelo que ocupan.

Para sembrar en taludes se emplean hierbas, arbustos y árboles, privilegiando especies capaces de adaptarse a las condiciones a las que van a estar sometidos (climas, tipo de suelo, presencia de agua, etc.). Suelen convenir especies de raíces profundas y de alto grado de transpiración, lo que indica un mayor consumo de agua. Generalmente la colonización vegetal de un talud se hace por etapas, comenzando por la hierba y terminando por los árboles.

Es conveniente no dejar un talud muy plano, sino con salientes que sirvan de soporte, así cuando más tendido sea un talud resultará más fácil que retenga la humedad. Para mantener una cubierta vegetal es más favorable un terraplén que un desmonte.

Los suelos arenosos y areno-arcillosos son ventajosos para un rápido crecimiento de la hierba. Las arcillas duras son inadecuadas a menos que se añadan aditivos o se are el terreno. Cuando la proporción de limo más arcilla es superior al 20 % se puede esperar un crecimiento satisfactorio, pero si es inferior al 5 % el establecimiento y mantenimiento de la hierba resultarán difíciles.

8.4 MEDIDAS PARA ZONAS DE FLUJOS Y CÁRCAVAS

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

Las zonas donde existen cárcavas de gran longitud y presentan un desarrollo irreversible, donde no se pueden corregir con labores de cultivo, se debe prohibir terminantemente cualquier actividad agrícola. El control físico de zonas con procesos de cárcavamiento debe de ir integrado a prácticas de conservación y manejo agrícola de las laderas adyacentes por medio de:

- Regeneración de la cobertura vegetal.
- Empleo de zanjas de infiltración y desviación entre las principales.

Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan:

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 8.21 al 8.24).

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 8.24 y 8.27), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.

Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. 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 evitar la quema de pajonales.

Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas de las cuencas.

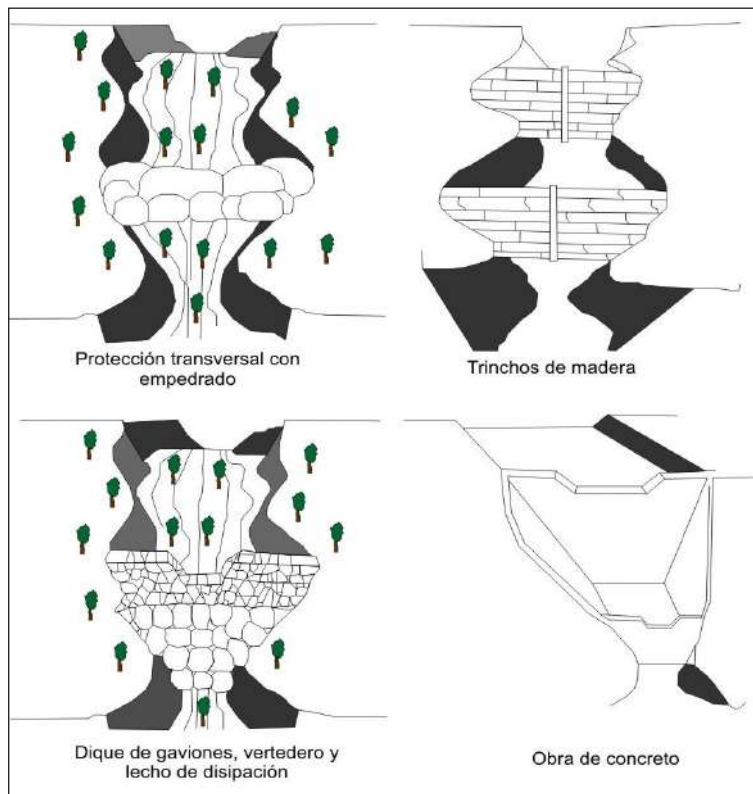


Figura 8.24 Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas (tomado de Ingemmet, 2000)

8.5 OTRAS MEDIDAS PARA DESLIZAMIENTOS Y CÁRCAVAS

El proceso de deslizamientos y cárcavas ocurre esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso. Asimismo, por el socavamiento del río al pie de deslizamientos, la utilización de canales sin revestir, etc. Algunas medidas que se proponen para el manejo de estas zonas son:

Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.

Los canales deben ser revestidos para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.

El sistema de cultivo debe ser por surcos en contorno y conectados al sistema de drenaje, para una evacuación rápida del agua.

No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece la infiltración y saturación del terreno.

La remoción de la tierra para realizar el cultivo debe ser superficial, pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.

En las cuencas altas se debe favorecer el cultivo de plantas que requieran poca agua y proporcionen una buena cobertura del terreno para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el terreno.

El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.

Los tramos de carretera que cruzan cauces de quebradas, en donde se producen flujos, deben de ser protegidos por medio de gaviones para evitar los efectos de los huaicos y el socavamiento producido por avenidas en las quebradas. Los gaviones deben ser construidos teniendo en cuenta los caudales máximos de las quebradas y deben ser cimentados a una profundidad de 1 m como mínimo.

Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos.

Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. Se recomienda que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración a curvas de nivel con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.

Evitar el sobrepastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal. Se debe realizar un manejo de las zonas de pasturas mediante el repoblamiento de pasturas nativas, empleando sistemas de pastoreo rotativo, y evitar la quema de pajonales.

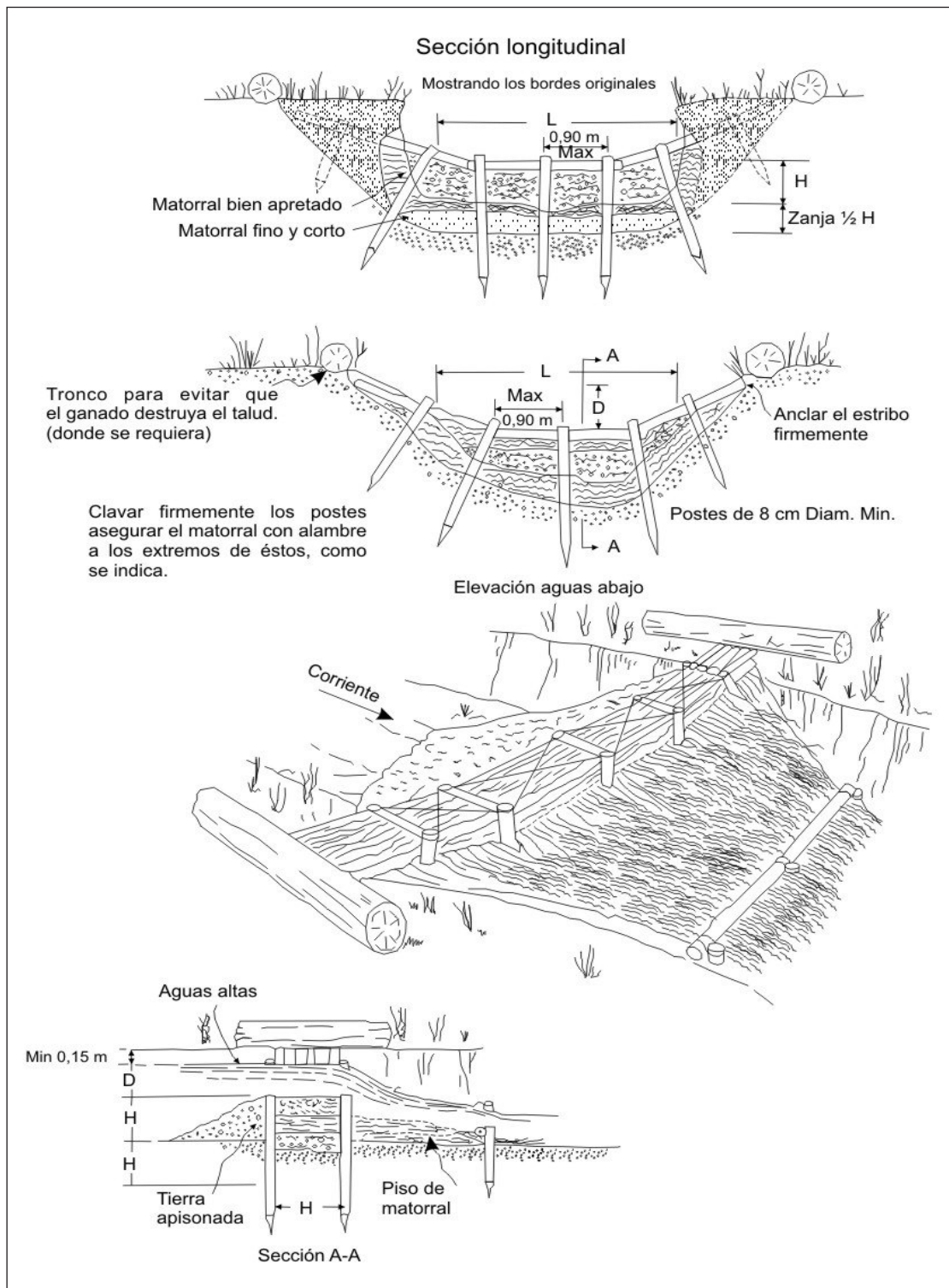


Figura 8.25 Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964)

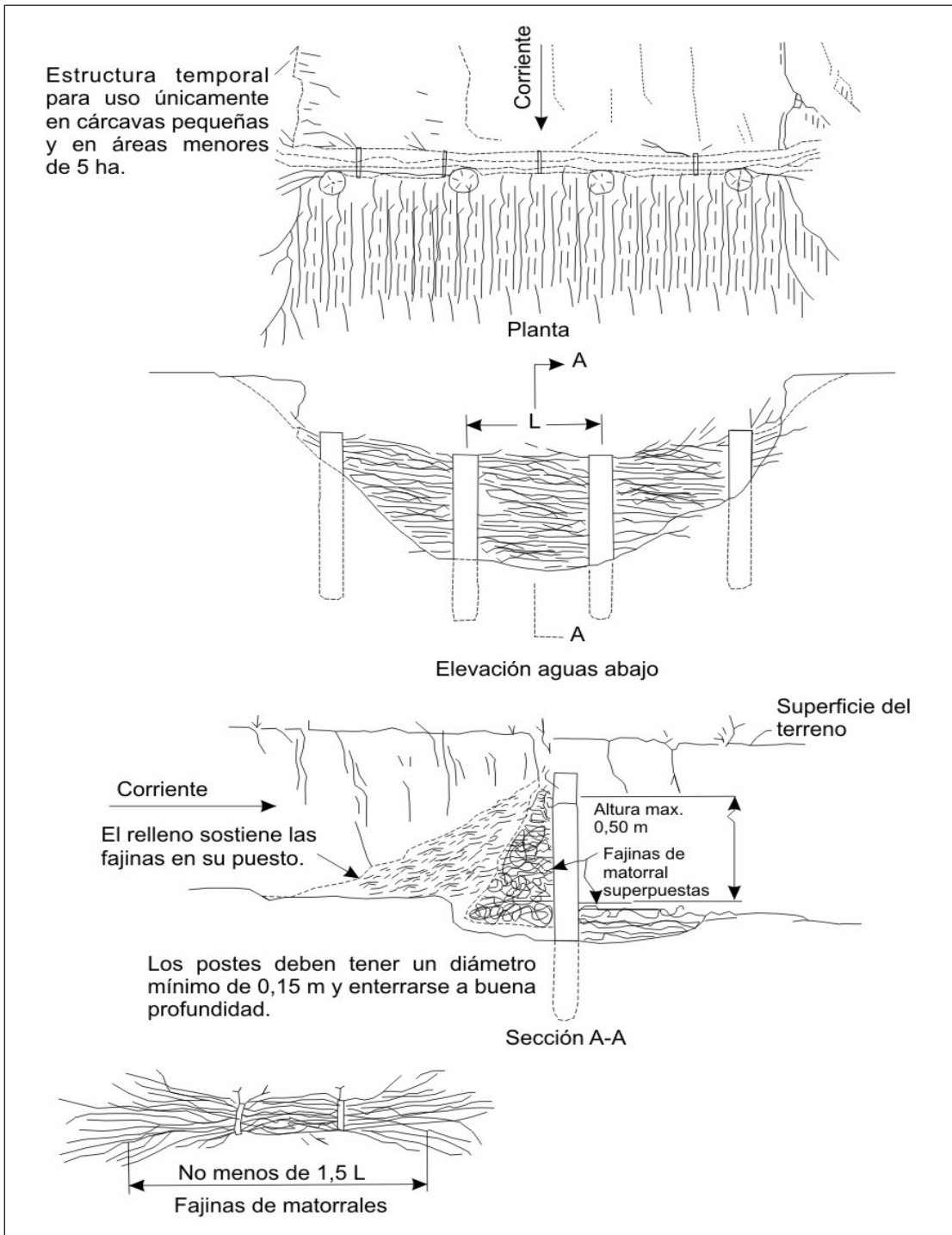


Figura 8.26 Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964)

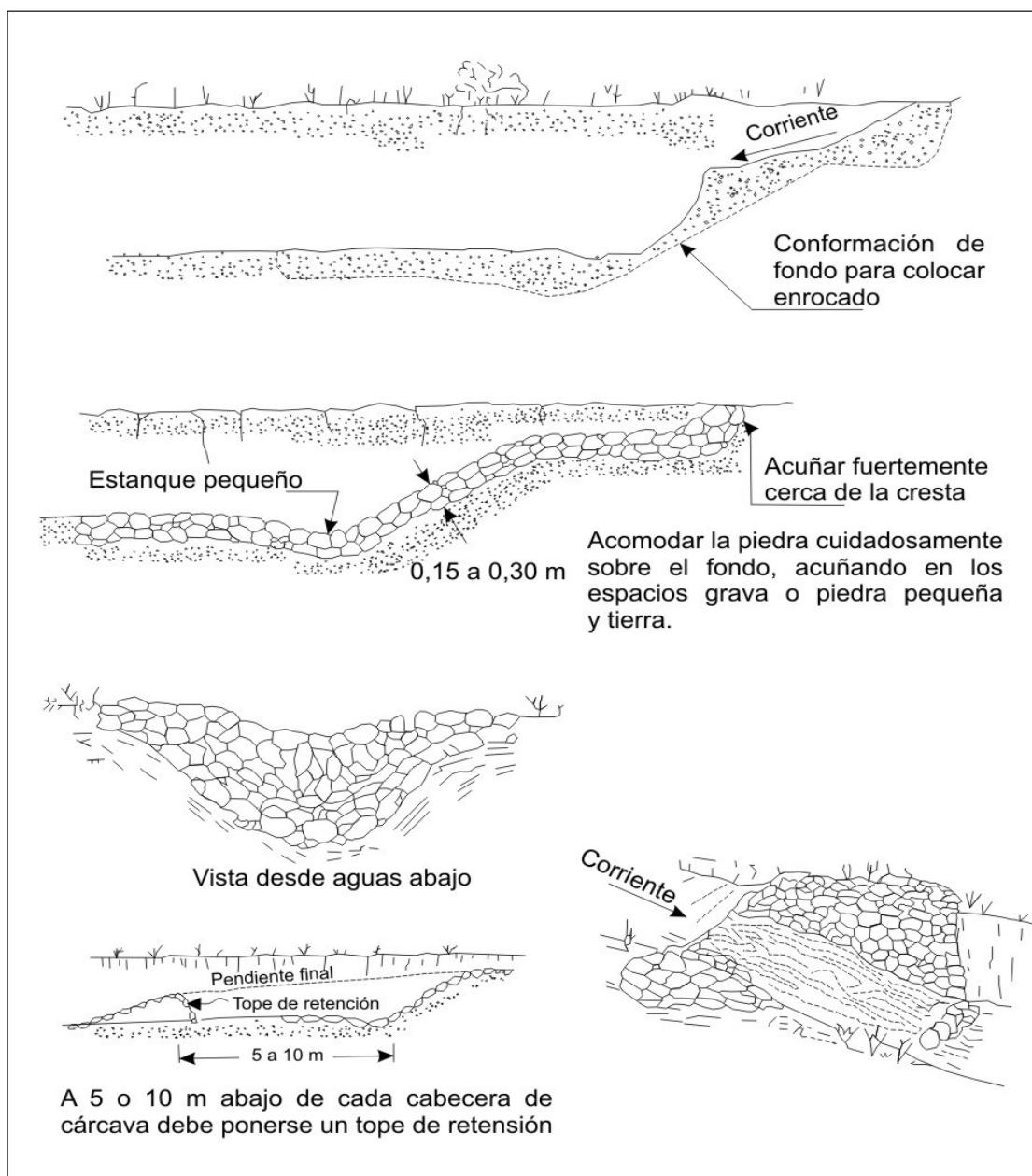


Figura 8.27 Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964)

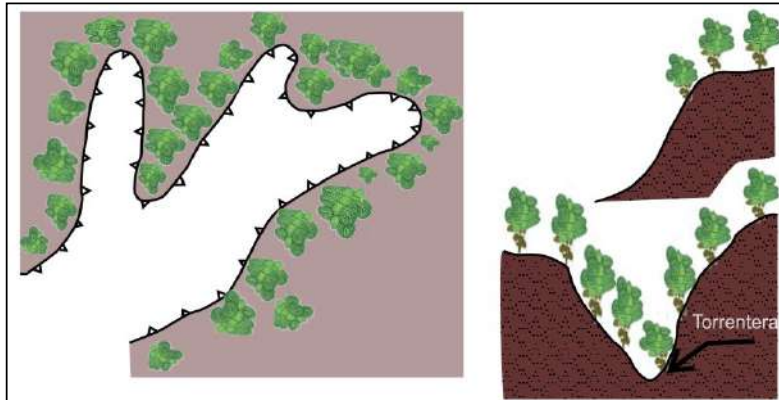


Figura 8.28 Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables (tomado de Ingemmet, 2000)

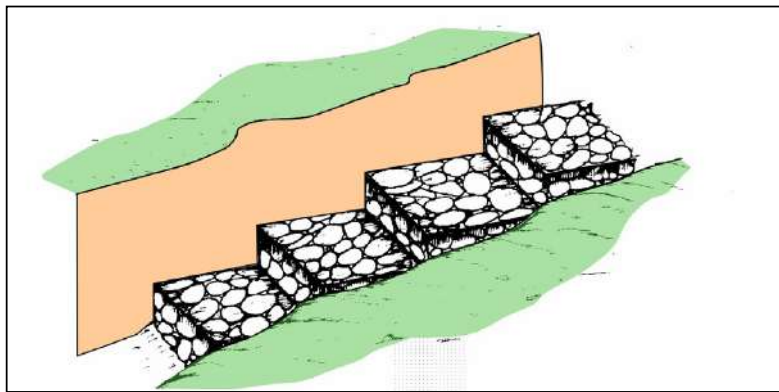


Figura 8.29 Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), en bloques de roca o concreto armado (tomado de Ingemmet, 2000)

8.6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTIVAS PARA INUNDACIONES Y FLUJOS RÁPIDOS

Las medidas de protección para este tipo de peligros pueden ser:

Permanentes

Tratamiento de la cuenca para disminuir el flujo de aguas, por ejemplo, la construcción de andenes, por su forma escalonada impiden que el agua corra pendiente debajo de manera violenta y retienen suelos cargados de nutrientes aprovechables para fines agrícolas. Asimismo, proteger la cobertura vegetal, ya que mediante el resembrado de gramíneas y árboles se protege los suelos de la erosión devolviéndoles su capacidad de retención del agua.

Construcción de obras de ingeniería como presas, reservorios de regulación y construcción de canales que permitan mantener ciertas áreas libres de inundaciones.

Efectuar obras de regulación para asegurar el uso económico de las llanuras anegadizas. Estudios sencillos que se realicen en estas áreas permitirán determinar los niveles máximos alcanzados en pasadas inundaciones delimitándose las zonas amenazadas por este fenómeno.

De emergencia

- Construcción de defensas o refugios y mejoramiento de las existentes.
- Limpieza de canales y acequias.
- Acciones para combatir la inundación o el flujo rápido.
- Evacuación de personas y propiedades de las zonas amenazadas.
- Reprogramación de actividades para reducir las pérdidas e interrupciones ocasionadas por las inundaciones y flujos rápidos.

Sistemas de protección contra inundaciones

Deben consistir en:

Una línea principal de defensa que proteja toda la zona.

Líneas locales de defensa que protejan diversas partes de la zona, si queda destruida la línea principal de defensa.

Las estructuras de las líneas de defensa de protección contra las inundaciones deben consistir en:

- Diques de defensa (malecones) o terraplenes erigidos para proteger el terreno situado detrás. Deberá preverse un margen bastante amplio de altura para el caso de que las condiciones de cimentación sean deficientes, con el fin de compensar un exceso de asiento del terraplén.
- Muros de encauzamiento de avenidas, muelles y terraplenes contruidos para proteger los asentamientos humanos.
- Compuertas de seguridad para crecidas y un sistema de canales para que el agua de la inundación se encauce hacia los embalses provisionales.
- Un sistema de canales, pozos y alcantarillado, con su equipo correspondiente, que influya en el de la capa acuífera subterránea (napa freática).
- Capacidad de bombeo suficiente para evacuar el agua de drenaje en el interior del sistema de diques de defensa.
- Carreteras y otras vías de comunicación para el acceso al sistema de defensa, que permita el tránsito de personas y equipos durante las operaciones de defensa o para los trabajos de mantenimiento.
- Sistemas de comunicación por internet, teléfono y radio.
- Instalaciones hidrométricas y de otra índole para observar y comunicar la aproximación y desplazamiento de olas de inundaciones y fluctuaciones de la capa acuífera subterránea.

En los periodos en que no surjan situaciones de emergencia deberán mantenerse en buen estado la zona de evacuación de crecidas y el sistema de defensa contra inundaciones. Se concluye:

- Reparación de los terraplenes, el mantenimiento de la capacidad de los cursos de agua mediante el dragado y limpieza, y la conservación de las esclusas compuertas y otros equipos.
- Mantenimiento de las estaciones hidrométricas y la prestación de un servicio diario de información sobre el nivel de las aguas que afecte a la situación hidrológica de la zona protegida.
- Mantenimiento de las instalaciones de almacenamiento de los materiales y equipos a utilizarse en una emergencia.
- Tener un cuidado especial para evitar la abertura de brechas en los sistemas de defensa existentes durante la construcción de nuevas obras de infraestructura o asentamientos poblacionales.

8.7 MEDIDAS PARA EL MANEJO DE SUBCUENCAS CON LECHOS FLUVIALES SECOS

En la región, existen lechos fluviales y quebradas secas que corresponden a quebradas de régimen temporal, subcuencas con presencia de huaicos periódicos a excepcionales, con pendientes medias a fuertes, los cuales pueden transportar volúmenes importantes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación:

Encauzamiento del canal principal de los lechos fluviales secos, con remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes (figura 8.30).

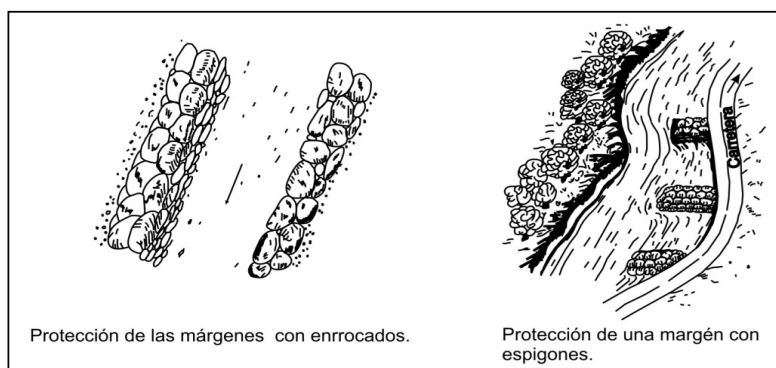


Figura 8.30 Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños (tomado de Ingemmet, 2000)

Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos.

La construcción de obras e infraestructuras que crucen estos cauces secos debe hacerse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre paso de huacos, evitándose obstrucciones y represamientos, con posteriores desembalses más violentos.

Realizar la construcción de presas de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos

de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos (figura 8.31).

Evitar en lo posible la utilización del lecho fluvial como terreno de cultivo que permita el libre discurrir de los flujos hídricos.

Encauzamiento y dragado de lechos fluviales secos que se activan durante periodos de lluvia excepcional (Fenómeno de El Niño), que permitan el libre discurrir de crecidas violentas provenientes de la cuenca media y alta.

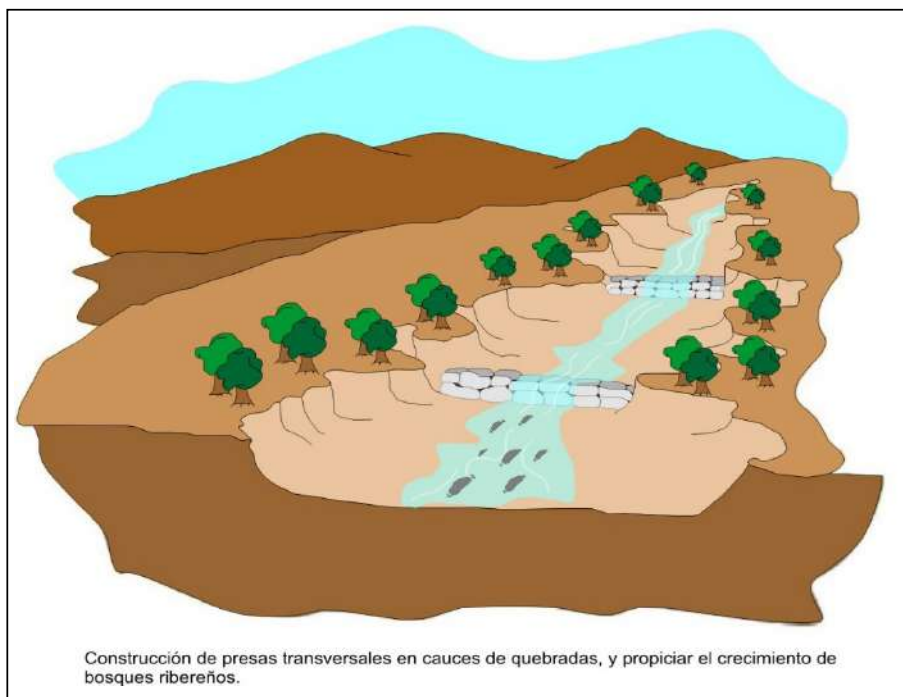


Figura 8.31 Presas transversales a cursos de quebradas (tomado de Ingemmet, 2000).

CONCLUSIONES

1. Litológicamente, el 83 % de la superficie de la región Madre de Dios está cubierta por sustrato rocoso (rocas intrusivas, sedimentarias, metamórficas) y el resto, por depósitos inconsolidados de origen fluvial, aluvial, coluvial-aluvial y químico, así como laderas y vertientes.
2. La pendiente de los terrenos es un aspecto importante en la clasificación de las unidades geomorfológicas. Para ello se tomó en consideración seis rangos o grados de pendiente: terrenos llanos: $< 1^\circ$ (79.26 %), terrenos inclinados con pendiente suave: $1^\circ - 5^\circ$ (11.56 %), terrenos con pendiente moderada: $5^\circ - 15^\circ$ (7 %), terrenos con pendiente fuerte: $15^\circ - 25^\circ$ (1.61 %), terrenos con pendiente escarpada: $25^\circ - 45^\circ$ (56 %) y terrenos con pendiente muy escarpada: $> 45^\circ$ (0.02 %).
3. Las unidades geomorfológicas diferenciadas en la región se han producido por dos grandes grupos de unidades de relieve: a) geoformas de carácter tectónico-degradacional y erosional, b) geoformas de carácter depositacional y agradacional. Las primeras geoformas mencionadas se agrupan en montañas, colinas, lomadas y laderas; presentan mayor distribución en la región (55.86 %); su origen está ligado a procesos sismo-tectónicos y erosivos ocurridos a lo largo de su historia geológica. En cuanto a las unidades de carácter depositacional y agradacional (44.14 %), se dividen en función de su origen: piedemontes, planicies aluviales, terraza aluvial, complejo de orillares meándricos, sistema de pantanos, islas fluviales, barra de arena, meandros abandonados, cauce de río y depósitos antropógenos como actividad minera.
4. En función de su permeabilidad, las unidades rocosas y depósitos inconsolidados conforman acuíferos porosos no consolidados, acuíferos fisurados sedimentarios, acuitardos (sedimentario e intrusivo) y acuicludos.
5. Producto de los trabajos geológicos de campo y de gabinete en la región, se ha identificado un total de 225 eventos, según su origen: por movimientos en masa (33.3 %), peligros geohidrológicos (66.2 %) y otros peligros geológicos (1 %). En función de la tipología similar una mayor frecuencia de: erosión fluvial (40.44 %) inundación fluvial (25.78 %), flujo de detritos y lodo (16 %), derrumbes (15.6 %), deslizamientos (1.8 %) y otros peligros geológicos como erosión de laderas (0.5 %).
6. El estudio de la sismicidad en la región Madre de Dios indica que se han producido sismos que afectaron a dicha área, con intensidades máximas de entre IV hasta VII en la escala modificada de Mercalli. Es el caso de los sismos con epicentros cercanos a la región: el sismo del 31 de marzo de 1650 (terremoto del Cusco), el sismo del 9 de abril de 1928 (Ayapata-Puno), el 10 de enero de 1998 (Cusco) y el sismo del 24 de noviembre de 2015. Este último, con 7,5 grados de magnitud y de foco profundo (602 km), sacudió la zona centro sur del Perú, con epicentro en la amazónica frontera con Brasil, y fue percibido en varios países sudamericanos. Según el Mapa de Zonificación Sísmica de Perú, que actualmente es utilizado en el nuevo Reglamento de Construcción con la norma técnica de edificación E.30 "Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones" actualizado al 2016 (Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016), el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas y de acuerdo con este mapa de zonificación sísmica del Perú, la región Madre de Dios se ubica en las zonas 1 y 2, correspondiente a una zona de sismicidad baja a intermedia. Para una ventana de tiempo de 50 años de vida útil, correspondientes a 475 años de periodos de retorno, respectivamente, para un 10 % de excedencia, se ha determinado en forma general de acuerdo con los valores de aceleraciones máximas esperadas para la región de Madre de Dios, las categorías de moderadamente alta y alta.
7. Los trabajos de campo y gabinete nos permitieron identificar zonas críticas por peligros geológicos e hidrológicos, donde la existencia de población vulnerable que se encuentra asentada en las áreas correspondientes a las fajas marginales de ríos y la afectación de tramos carreteros importantes, hace necesario la elaboración del mapa de inventario de peligros geológicos y del mapa de susceptibilidad de inundaciones de la región, a fin de que las autoridades competentes puedan realizar un buen ordenamiento territorial de acuerdo a la morfología de su territorio. Se debe realizar un intenso trabajo de sensibilización con la población, por medio de charlas. Se debe prohibir el asentamiento de nuevas poblaciones u obras de infraestructura en zonas de peligro, que son susceptibles de tener inundaciones y erosión fluvial. Cabe mencionar que las obras de mitigación deben realizarse por un especialista.

RECOMENDACIONES

1. Para realizar una buena planificación urbana, se deben tener en cuenta los mapas de susceptibilidad en los diferentes procesos. Antes de elegir la ubicación, diseño, método constructivo, tecnología, materiales y planes de contingencia de nuevas urbanizaciones e infraestructura proyectadas, es necesario considerar las condiciones geológicas y el comportamiento local del suelo frente a un sismo severo, así como las precipitaciones probables y los procesos que originarían, con el fin de prevenir futuros desastres.
2. En las zonas que indicaron valores de susceptibilidad alta y muy alta es necesario investigar al detalle las zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos para poder elegir la mejor solución posible, ya sea obras de mitigación, sistemas de alerta temprana o reubicación de viviendas. Es preciso mencionar que las recomendaciones que se indican en este informe deben realizarse con especialistas.
3. Para fortalecer la capacidad local es muy importante educar a la población involucrada para que sepan cómo actuar ante eventos catastróficos. Así también, que conozcan los peligros geológicos que existen dentro de su jurisdicción, para así minimizar las pérdidas de vidas humanas y económicas a causa de estos desastres.
4. La mejora de la calidad de vida de la población debe ser incorporada como meta en los planes de desarrollo e inversión que formulen e impulsen los municipios, las regiones y el gobierno central.
5. Se deben realizar obras de defensa ribereña en los tramos donde la distancia del eje de la carretera interoceánica al borde del acantilado fluvial es muy corta.
6. Rediseñar un sistema de drenaje pluvial en las ciudades de Puerto Maldonado e Iñapari. En los sectores donde no se pueda realizar obras de defensa ribereña debido a la dimensión de los cauces de los ríos, se debe implementar Sistemas de Alerta Temprana (SAT).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, J. (1983) - *Breve historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú* (en línea). Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 4, Lima, Perú, 12 p. Disponible en: http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis16_a.pdf
- Alva, J. & Chang L. (1987) - *Mapa de áreas de deslizamientos por sismos en el Perú* (en línea). Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, 5, Lima, Perú, 11 p. Disponible en: 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, Perú, 11 p. Disponible en: http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis17_a.pdf
- Bernal, I. & Tavera, H. (2002) - *Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 63 p.
- Cabrera, J. (1988) - *Néotectonique et sismotectonique dans la Cordillère andine au niveau du changement de géométrie de la subduction: la région de Cusco (Pérou)*. Thèse Docteur 3ème cycle, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, Paris, 275 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>
- Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Romero, D.; Valdivia, W. & Jaimes, F. (1998) – Geología de los cuadrángulos de Soledad y Alegría. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 107, 176 p., 2 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/65>
- 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.
- Chávez, A.; Salas, G.; Cuadros, J. & Gutiérrez, E. (1998) – Geología de los cuadrángulos Fitzcarrald y Rio Los Amigos. Hojas 25-u y 25-v. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 106, 92 p., 2 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/64>
- De la Cruz, N.; Zapata, A. & Larico, W. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Timpia, Calangato y Río Providencia. Hojas: 25-q, 25-r y 25-s. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 121, 224 p., 3 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/81>
- Fidel, L.; Boulanger, E. & Cavero, R. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Río Las Piedras 23-s, Río Citiyacu 23-t, Esperanza 23-u, Tayacome 24-s, Paquitsa 24-t y Río Lidia 24-u. Hoja: SC 19-13. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 113, 131 p., 6 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/72>
- Fidel, L.; Zavala, B; Núñez, S. & Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 29, 376 p., 19 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/263>
- Gutiérrez-Elorza, M. & Peña-Monnéb, J.L. (1996) - Geomorphology and late Holocene climatic change in Northeastern Spain. *Geomorphology*, 23(2-4): 205-217. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00004-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00004-X)
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 3. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 28, 373 p., 17 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/262>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2019) - *Evaluación de peligro por erosión de ladera en el sector Cárcava El Balcón. Región Madre de Dios, provincia Tambopata, distrito Tambopata*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A6888, 32 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2137>
- León, W.; Palacios, O.; Vargas, L. & Sánchez, A. (2000) – Memoria explicativa del mapa geológico del Perú, Escala 1:1 000 000, 1999. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 136, 73 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/97>.

- Lipa, V.; Zedano, J. & Ticona, P. (1997) - Geología de los cuadrángulos de Palestina 19-u, Curanjillo 20-t, Puerto Esperanza 20-u, Río Curanja 21-s, Balta 21-t, José Gálvez 21-u, Alerta 22-s, Río Cocama 22-t y Río Yaco 22-u. Hojas: 19-5 y SC 19-9. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 108, 125 p., 6 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/66>
- Macharé, J. & Leureyro J. (1991) - *Mapa neotectónico 1991. Actualización sobre la base del mapa neotectónico preliminar de 1982*. Lima: Instituto Geofísico del Perú.
- 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>
- 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.
- Palacios, O.; Molina, O.; Galloso, A. & Reyna, C. (1996) - Geología de los Cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Tambopata. Hojas: 26-u, 26-v, 26-x, 26-y, 27-u, 27-v, 27-x, 27-y. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 81, 189 p., 8 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/37>
- 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.
- Romero, L.; Morales, M. & Carpio, M. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Río Acre 22-v, Iñapari 22-x, Qda. Mala 23-v, Iberia 23-x, San Lorenzo 23-y, Puerto Lidia 24-v, Río Manuripe 24-x, Mavila 24-y, Santa María 24-z, Valencia 25-z, Palma Real 26-z y Río Heath 27-z. Hojas: SC 19-10, SC 19-14, SC 19-15, SD 19-3 y SD 19-7. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 123, 199 p., 12 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/83>
- Salas, G.; Chávez, A. & Cuadros, J. (1999) - Geología de los cuadrángulos de Quebrada Honda y Parobamba. Hojas 26-r y 26-s. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 128, 122 p., 2 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/88>
- Sébrier, M.; Blanc, J.L.; Bonnot, D.; Cabrera, J.; Deza, E.; Huamán, D. & Macharé, J. (1985) - Observaciones acerca de la neotectónica del Perú. En: Centro Regional de Sismología para América del Sur. *Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina (Proyecto SISRA)*. Lima: CERESIS, vol 14, p. 254-269.
- Sébrier, M.; Huamán, D.; Blanc, J.L.; Macharé, J.; Bonnot, D. & Cabrera, J. (1982) - *Observaciones acerca de la neotectónica del Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú, 107 p. (Proyecto SISRA – Grupo Peruano de Neotectónica).
- Silgado, E. (1978) - Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). *Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 3, 130 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/251>
- Tavera, H. & Buforn, E. (2001) - Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology*, 5(4): 519-539. <https://doi.org/10.1023/A:1012027430555>
- Vargas, L. & Hipólito, A. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Río Pinquén, Pilcopata y Chontachaca. Hojas: 25-t, 26-t y 27-t. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 116, 155 p., 3 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/75>
- Vílchez, M.; Luque, G. & Rosado, M. (2013) - Riesgo geológico en la región Piura. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica*, 52, 267 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/294>
- Villota, H. (2005) - *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. 2a. 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.
- Zárate, H.; Galdos, J. & Geldres, M. (1998) - Geología de los cuadrángulos de Sepahua 23-p, Miaría 23-q, Unión 23-r, Quirigueta 24-p, Camisea 24-q y Río Cashpajali 24-r. Hoja: SC 18-16. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 125, 203 p., 6 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/85>
- Zavala, B. (2011) - Mapas geomorfológicos, herramienta temática básica para el ordenamiento territorial. *INGEMMET. Revista Institucional INGEMMET*, 3(10): 8-9.

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapa

Mapa 1	Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.
Mapa 2	Mapa litológico.
Mapa 3	Mapa de pendientes.
Mapa 4	Mapa geomorfológico.
Mapa 5	Mapa hidrogeológico.
Mapa 6	Mapa de inventario de peligros geológicos.
Mapa 7	Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa.
Mapa 8	Mapa de susceptibilidad de erosión fluvial e inundaciones.
Mapa 9	Mapa de zonas críticas por peligros geológicos.

Cuadros

Cuadro 2.1	Provincias y distritos de la región Madre de Dios
Cuadro 2.2	Población censada urbana y rural, según provincia, 2017
Cuadro 2.3	Crecimiento Poblacional, según provincia, 2017
Cuadro 2.4	Grupos de departamentos con niveles de pobreza monetaria estadísticamente semejante, 2017
Cuadro 2.5	Vivienda y tipo de vivienda en el departamento de Madre de Dios, 2017
Cuadro 2.6	Población censada de 15 y más años de edad, según nivel educativo alcanzado 2017
Cuadro 2.7	Profesionales de la Salud en el departamento de Madre de Dios
Cuadro 2.8	Población censada del departamento de Madre de Dios con seguro, 2007-2017
Cuadro 2.9	Población censada con cobertura de salud, según el tipo de seguro, 2017
Cuadro 2.10	Sector agropecuario 1/
Cuadro 2.11	Sector Pesca 1/
Cuadro 2.12	Sector Minería 1/
Cuadro 4.1	Rango de pendientes del terreno en grados.
Cuadro 4.2	Zonas susceptibles a la formación de meandros abandonados.
Cuadro 6.1	Asignación de recursos presupuestales para el Programa Presupuestal 0068, AF2001 – 2016
Cuadro 6.2	Asignación de recursos presupuestales según medios directos identificados en el diseño del PP0068, en los tres
Cuadro 6.3	Cronología y relato histórico de los principales peligros geológicos en la región Madre de Dios
Cuadro 6.4	Ponderación de variables temáticos
Cuadro 6.5	Unidades consideradas y susceptibilidad a los movimientos en masa en el departamento de Madre de Dios
Cuadro 6.6	Susceptibilidad a los movimientos en masa en el departamento de Madre de Dios

Cuadro 6.7	Ponderación de las variable
Cuadro 6.8	Unidades consideradas y susceptibilidad a las inundaciones
Cuadro 6.9	Grados de susceptibilidad a las inundaciones en el departamento de Moquegua
Cuadro 6.10	Datos macro sísmicos de la Región Madre de Dios y alrededores
Cuadro 6.11	Factores de zona Z
Cuadro 6.12	Clasificación del factor detonante (sismicidad)
Cuadro 7.1	Zonas críticas en la provincia de Tambopata
Cuadro 7.1	Zonas críticas en la provincia de Tahuamanu
Cuadro 7.1	Zonas críticas en la provincia de Manú

Figuras

Figura 2.1	Mapa de ubicación de la región Madre de Dios
Figura 4.1	Colina y lomada disectada en roca sedimentaria por los rios de la zona. Cerro Salvació, Márgen derecha del río Madre de Dios.
Figura 4.2	Piedemonte aluvial. Se ubica al norte de la quebrada Tazón, margen derecha del río Inambari, en el límite con la Región de Puno. <i>Fuente Google earth.</i>
Figura 4.3	Planicie aluvial disectada. Margen izquierda de río Madre de Dios en la zona de los poblados Chiringayoc y Lagarto.
Figura 4.4	Terraza aluvial en las márgenes del río de Las piedras, entre las fallas Savaluyoc y Colpayoc. Zona del poblado de Faber.
Figura 4.5	En la margen derecha del río De Las Piedras se observa terraza alta.
Figura 4.6	Terraza baja aluvial en el río Palma Real y en la quebrada Patuyacu
Figura 4.7	En ambos lados de río Madre de Dios se observa terraza aluvial con meandros abandonados. Zonas Boca amigo, Las Palmeras, Cinco Islas.
Figura 4.8	Por la morfología que presenta la imagen se observa la diferencia del Complejo de orillares meándricos antiguos (Com-a) y el Complejo de orillares meándricos recientes (Com-r). Se ubica en ambas márgenes del río Madre de Dios.
Figura 4.9	Sistema de pantanos y aguajales (SP) ubicada en la margen izquierda del río Madre de Dios, naciente de la quebrada Pacal.
Figura 4.10	Isla fluvial (Isla Laberinto) en el río Madre de Dios. Norte del poblado de Laberinto
Figura 4.11	Vista de meandros abandonados en los límites de los distritos de Madre de Dios, Laberinto e Inambari. Zona de los poblados de San Juan Chico, cerro Colorado, Boca Amigo, Las Palmeras y Cinco Islas.
Figura 4.12	Estrangulamiento de meandro en el río Madre de Dios. Puerto Maldonado
Figura 4.13	Estrangulamiento de meandro en el río Madre de Dios, en el sector Tres Islas.
Figura 6.1	Esquema de derrumbe
Figura 6.2	Esquema de flujo de detritos
Figura 6.3	Esquema de un deslizamiento rotacional
Figura 6.4	Esquema de un deslizamiento traslacional
Figura 6.5	Esquema de erosión fluvial
Figura 6.6	Erosión en cárcavas que afectan al talud superior e inferior de carretera
Figura 6.7	Mapa de Isosistas del Sismo del 31 de marzo de 1650.

- Figura 6.8** Mapa de Isosistas del Sismo del 24 de noviembre del 2015
- Figura 6.8** Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas
- Figura 6.10** Distribución espacial de los Sismos en los alrededores de la Región Madre de Dios
- Figura 6.11** Mapa de Distribución de Isoaceleraciones (Gals) para un 10% de excedencia en 20 años
- Figura 6.12** Mapa de Distribución de Isoaceleraciones (Gals) para un 10% de excedencia en 50 años
- Figura 6.13** Mapa de Distribución de Isoaceleraciones (Gals) para un 10% de excedencia en 100 años
- Figura 6.14** Zonificación Sísmica del Perú
- Figura 6.15** Curva de Peligro Anual para la ciudad de Puerto Maldonado-Tambopata
- Figura 6.16** Curva de Peligro Anual para el poblado de Ñapari
- Figura 6.17** Curva de Peligro Anual para el poblado de Salvacion – Manu
- Figura 7.1** Zonas críticas por provincias en la región Madre de Dios.
- Figura 7.2** Total de ocurrencias de peligros inventariados en la región Madre de Dios
- Figura 7.3** Imágenes donde se puede observar los niveles alcanzados por las inundaciones producidas por los ríos Madre de Dios y Tambopata. A) Viviendas de la Av. Circunvalación afectadas por el desborde del río Tambopata. (INDECI, tomado el 03 de febrero 2014), B) Inundación alcanzó 1,9 m de alto como se puede observar en las paredes aún se muestran las marcas en las viviendas (tomado en julio de 2014). C) Vistas del poblado de Pueblo Viejo días después de la inundación (INDECI, 03/02/2014) y D) Vistas del poblado Pueblo Viejo meses después de la inundación
- Figura 7.4** Vistas de la erosión fluvial en la margen izquierda del río Tambopata, en una extensión de 1100 m, como se observa en (A) las viviendas se encuentran de 8 a 35 m de distancia hacia el borde del río, (B) debido a la constante erosión y a la intervención del hombre, colapsó un colector construido para evacuar el drenaje de precipitaciones, pero los pobladores de la zona lo usaron como desagüe, acelerando el proceso de erosión.
- Figura 7.5** A) Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios, B) Formación de pequeños surcos generados por la escorrentía superficial y la filtración de agua de las tuberías que se encuentran en pésimas condiciones, C) Dimensiones de la cárcava El Balcón
- Figura 7.6** Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios, sector Otilia, se llevó tramo de carretera Cachuela Otilia-Puerto Arturo
- Figura 7.7** Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios, produjo la pérdida de 20 m de ancho x 600 m de longitud y destruyó extensas áreas de cultivo en el sector Boca Piedras
- Figura 7.8** Vista de erosión fluvial en la margen derecha del Río Madre de Dios, en el Sector PETROPERU, afecta un tramo de 1.2 km de longitud
- Figura 7.9** Imagen del Google Earth, se identifica el área sujeta a inundaciones en ambas márgenes del río Madre de Dios y Tambopata, y las zonas afectadas por erosión fluvial
- Figura 7.10** Comparación de imágenes de los años 1969 y 2013 consultada del Google Earth, en 44 años la distancia entre los meandros de los sectores La Pastora y Nuevo Amanecer se ha reducido hasta 43 m aproximadamente
- Figura 7.11** Imagen del Google Earth, el poblado Puerto Laberinto se encuentra en un área sujeta a inundación (líneas de color amarillo), el evento del 2012 (línea de color magenta) afectó a una parte del poblado
- Figura 7.12** Vistas aéreas tomadas el 05 de febrero de 2012 en Puerto Laberinto. A) debido a la erosión fluvial de 200 m de longitud, colapsó un grifo, se ha colocado costales de arena a fin de mitigar dicho proceso. B) Vista más cercana del puerto Laberinto (Tomado por INDECI, 2012)
- Figura 7.13** Vistas del Puerto Laberinto debido a la erosión fluvial de 200 m de longitud, colapsó un grifo, se ha colocado costales de arena a fin de mitigar dicho proceso

- Figura 7.14** Vistas del sector Sarayacu, como producto de la erosión fluvial-inundación colapsaron 27 viviendas, la inundación llegó hasta el sector Virgen de la Candelaria, Km 338 de la carretera Interoceánica
- Figura 7.15** Vistas del sector Sarayacu, como producto de la erosión fluvial-inundación colapsaron 27 viviendas, la inundación llegó hasta el sector Virgen de la Candelaria, Km 338 de la carretera Interoceánica
- Figura 7.16** Derrumbes en los Km 287+830 de 80 m de longitud y 15 m de alto (A), Km 277+000 con presencia de filtraciones en talud superior de la carretera interoceánica, sector Santa Rosa (B).
- Figura 7.17** Tramo de carretera interoceánica es cortado por quebradas, a consecuencia de lluvias intensas discurren huacos. En enero del 2014 se desbordó afectando viviendas que se encuentran en ambas márgenes del jr. Masuko del poblado de mismo nombre; los colectores de drenaje pluvial también desembocan en estas quebradas (A, B y C). En el Km 261+863 se ha colocado dos alcantarillas, por donde pasa la tubería de agua potable marcado por el círculo de color rojo (D)
- Figura 7.18** Vista de las terrazas bajas sujetas a inundación, en la margen derecha del río Acre. Parte del poblado Iñapari, se encuentra dentro de estas áreas.
- Figura 7.19** A) Inundación del año 2012, Av. León Velarde afectado (tomado por Indeci). B) Vista del desnivel de la carretera interoceánica, parte del casco urbano de la ciudad de Iñapari, próxima al puente internacional (Av. León Velarde) se encuentra por debajo del área que ocupa el meandro del río Acre, lo cual favorece el embalsamiento en la época de lluvias intensas
- Figura 7.20** A) Erosión fluvial en la margen izquierda del río Yaverija, aquí se encuentra asentado la UPIS Brisas de Yaverija. En enero del 2014 incrementó el caudal del río desbordándose hasta la Av. José Olaya (80 m) afectando aproximadamente 30 viviendas, la zona también es afectada por cárcavas debido a la intensa erosión originado por la evacuación de un colector de drenaje pluvial mal diseñado identificado con el círculo de color rojo. B) Vista más cercana del colector de drenaje pluvial
- Figura 7.21** A y B) Vista de la inundación del 17 de febrero de 2012 en la ciudad de Iñapari. C) Av. León Velarde, Barrio Virgen del Rosario, el nivel del agua alcanzó 1,5 m de altura en la ciudad. D y E) Vistas tomadas en el interior de la municipalidad provincial de Iñapari, afectó documentos, archivos, sistema integrado, comunicación, equipos de cómputo, mobiliario y los patrimonios de almacén. F) Vista de la Av. León Velarde (carretera interoceánica y el puente Internacional. G) Plaza de armas de Iñapari y Banco de la Nación totalmente inundados. Fuente INDECI, 2012
- Figura 7.22** Se puede observar el cambio de los cursos de los ríos Acre y Yaverija, se ha utilizado las imágenes multitemporales del Google Earth (1969-2013)
- Figura 7.23** Imagen de Google Earth, se observa el área de color amarillo, zona sujeta a inundación, parte del poblado Iñapari se encuentra dentro de esta zona, en color magenta indica la zona afectada por inundación en el año 2012
- Figura 7.24** Proceso erosivo en la margen izquierda del río Madre de Dios en el distrito de Boca Manú, produjo la pérdida de terrenos en la plaza principal y la destrucción de la comisaría del distrito
- Figura 8.1** Efecto de una escollera sobre la resistencia del terreno (tomado de INGEMMET, 2000)
- Figura 8.2** Colocación de escolleras (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.3** Esquema de un talud con bermas intermedias (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.4** Detalle de una canaleta de drenaje superficial (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.5** Disposición de sistema de drenaje en taludes no homogéneos.
- Figura 8.6** Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos (López García, 1984)
- Figura 8.7** Posición óptima de una galería de drenaje (Hoek y Bray, 1997)
- Figura 8.8** Drenaje de superficie de deslizamiento desde una galería de drenaje (CANMET, 1997).

- Figura 8.9** Disposición de zanjas de drenaje en un talud (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.10** Zanjas de talud (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.11** Drenaje tipo espina de pescado (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.12** Detalles de un anclaje y ejemplos de aplicación (tomado de INGEMMET, 2000)
- Figura 8.13** Contención de un deslizamiento mediante un muro (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.14** Relleno estabilizador sostenido por el muro (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.15** a) Muro de sostenimiento b) Muro de contención c) Muro de revestimiento (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.16** A) Muros de gravedad de piedra seca, B) Muros de gravedad de piedra argamasada (tomada de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.17** Muros de gravedad de concreto ciclópeo.
- Figura 8.18** Muros de espesor máximo (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.19** Muros de espesor máximo (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.20** Muros de concreto armado tipo flexión (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.21** Muro de gavión.
- Figura 8.22** Ejemplo de muros con pilotes (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.23** Ejemplo de muros de pantalla (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.24** Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.
- Figura 8.25** Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).
- Figura 8.26** Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).
- Figura 8.27** Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).
- Figura 8.28** Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables. (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.29** Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), en bloques de roca o concreto armado. (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.30** Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños (tomado de INGEMMET, 2000).
- Figura 8.31** Presas transversales a cursos de quebradas (tomado de INGEMMET, 2000).

Fotografías

- Fotografía 3.1** Depósito fluvial constituido por bolones, grava y arena en la margen izquierda del río Madre de Dios
- Fotografía 3.2** Depósito fluvial constituido por bolones, grava y arena e350794-8571300 en la quebrada Tingo Mayo
- Fotografía 3.3** Depósito aluvial constituido por gravas, arena y arcilla en la margen derecha del río Madre de Dios
- Fotografía 3.4** Vista de depósitos aluviales constituidos por arenas limo arcillosas en la margen izquierda del río Tambopata
- Fotografía 3.5** Niveles de lutitas, lodolitas y limoarcillitas de la Formación Ipururo, en el sector Santa Rosa, km 287+800 de la carretera Interoceánica Mazuco-Santa Rosa. El depósito inconsolidado obstruye las cunetas.
- Fotografía 3.6** Niveles de arenisca con lutitas y limolitas de la Formación Ipururo, en la carretera Mazuco-Santa Rosa (carretera Interoceánica km 286+700)
- Fotografía 3.7** Niveles de arenisca con presencia de humedad, intercalado con lutitas y limolitas de la Formación Ipururo, en la carretera Mazuco-Santa Rosa (carretera Interoceánica km 286+400).

- Fotografía 3.8** Afloramiento de areniscas de la Formación Ipururo en la carretera Mazuco-Santa Rosa, km 284.
- Fotografía 3.9** Afloramiento de areniscas grises y marrones, de grano medio, en estratos medianos con contenidos de materia orgánica con intercalaciones de limoarcillitas marrones a parduzca, arcillosas, de la Formación Chambira, en el sector Puente Tazón, confluencia de las quebradas Palmera y río Inambari.
- Fotografía 4.1** Montaña estructural modelada en rocas sedimentarias con ladera de pendiente muy escarpada, superior a 50°
- Fotografía 4.2** Se observa el rumbo y buzamiento de las secuencias sedimentarias. Sector río Inambari.
- Fotografía 4.3** Colina en roca sedimentaria, cubierta con abundante vegetación, vista desde Quebrada Avispa.
- Fotografía 4.4** Colinas en roca sedimentaria, cubiertas por abundante vegetación, vista en la ruta carretera Inambari, saliendo del Cp. Villa Santiago.
- Fotografía 4.5** Corte de carretera, en donde se puede ver la composición sedimentaria de la Formación Ipururo del Neógeno. Vista en corte de carretera, sector Centro Poblado Santa Rosa.
- Fotografía 4.6** Subunidad de planicie disectada aluvial con presencia de ondulaciones en el terreno. Norte del poblado Iberia, distrito de Iberia
- Fotografía 4.7** Ondulaciones del terreno vista en la carretera Puerto Maldonado - Iñapari
- Fotografía 4.8** Barra de arena en la margen izquierda del río Madre de Dios. Puerto Maldonado
- Fotografía 4.9** Defensa ribereña en base a espigones metálicos en la margen derecha de río Madre de Dios, sector La Pastora – Puerto Maldonado.
- Fotografía 4.10** Montículos de sedimento producto de la actividad minera fluvial. Fotografía tomada en sureste de Huaypetuhe.
- Fotografía 4.11** Tomada cerca al poblado de Nueva Arequipa, se observa “chutes” para la extracción de oro aluvial.
- Fotografía 4.12** Tomadas en el río Madre de Dios, al norte de la ciudad Puerto Maldonado, aguas arriba antes de la confluencia con el río de Las Piedras, se actividad minera fluvial
- Fotografía 4.11** Altiplanicie sedimentaria, ubicada al sur de la ciudad de Ayacucho y sobre la cual se asienta el distrito de Carmen Alto
- Fotografía 4.12** Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, ubicado en el sector de Maisondo, margen izquierda del río Occopa, en el distrito de Quinua
- Fotografía 4.13** Terraza aluvial formada en ambas márgenes del río Huatata, en el sector del mismo nombre, entre los distritos de San Juan Bautista y Tambillo
- Fotografía 6.1** Derrumbe margen izquierda de la quebrada Olivetti – distrito Manú
- Fotografía 6.2** Derrumbe carretera Shintuyo – distrito Manú
- Fotografía 6.3** Derrumbe Talud superior carretera Shintuyo - Santa Rosa km 8+00, distrito Manú
- Fotografía 6.4** Derrumbe, tramo de carretera Mazuco km 287+830, distrito Inambari
- Fotografía 6.5** Flujo de detritos en la quebrada Gamitor – distrito Manu
- Fotografía 6.6** Flujo de detritos en el río Yunguyo, distrito Manu
- Fotografía 6.7** Flujo de lodo, kilómetro 2.75+100 de la carretera Mazuco – Tambopata
- Fotografía 6.8** Deslizamiento traslacional, ubicado a la margen izquierda de la quebrada, la masa se desplaza con una dirección norte 167°, afectando plataforma de carretera y estructura del pontón
- Fotografía 6.9** Erosión fluvial, margen izquierda del río Madre de Dios afecta secuencias de capas rojas limo arenoso
- Fotografía 6.10** Erosión fluvial margen derecha del río Queros produce pérdida de plataforma de carretera afectando 300 m de longitud
- Fotografía 6.11** Erosión fluvial margen derecha del río Madre de Dios
- Fotografía 6.12** Erosión fluvial, margen izquierda del río Madre de Dios, sector puerto Arturo

- Fotografía 6.13** Erosión fluvial, margen derecha del río Madre de Dios confluencia con el río Las Piedras, sector boca piedras
- Fotografía 6.14** Inundación fluvial, en las llanuras de inundación ubicado en la confluencia de los ríos Piñi piñi y Pilcopata
- Fotografía 6.15** Inundación fluvial, Valle del río Hospital, confluencia con la quebrada sin nombre
- Fotografía 6.16** Inundación fluvial, margen derecha del río Madre de Dios, puerto La Pastora sector San Jacinto
- Fotografía 6.17** Inundación fluvial, margen derecha río Madre de Dios, Puerto Carlos
- Fotografía 6.18** Inundación fluvial, margen izquierda del río Acre, afecta barrio Viejo del Rosario, La Colonia, Av. León Velarde
- Fotografía 7.1** Erosión en cárcavas formadas en la margen derecha del río Madre de Dios, en el cruce de la Av. Circunvalación y Andrés Avelino Cáceres.
- Fotografía 7.2** Erosión fluvial en la margen derecha del río Madre de Dios, sector San Juan Cachuela
- Fotografía 7.3** Vista aguas abajo del río Carbón, se puede observar el nuevo puente vehicular que se está construyendo, este debe contar con buenas defensas rivereñas en los estribos del puente, los cuales deben estar muy bien cimentados para resistan los caudales que discurren por el río
- Fotografía 7.4** Río Yunguyo que corta la carretera de acceso a Shintuya y Puerto Edén, el río tiene un ancho de cauce de 200 m, los flujos de detritos que por el discurren acarrear material gravoso y troncos



Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú

Teléfono: 051 - 1 - 618 9800

Fax: 051-1-225-3063 | 051-1-225-4540

www.gob.pe/ingemmet

comunicacion@ingemmet.gob.pe