

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL PERÚ

Sandra VILLACORTA¹, Lionel FIDEL¹ y Bilberto ZAVALA CARRIÓN¹

¹Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú. svillacorta@ingemmet.gob.pe

RESUMEN

El año 2009, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, concluyó el inventario de peligros geológicos en Perú. Siendo uno de los productos, el “Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú” escala 1:1 000 000. Los objetivos del mapa son plantear un modelo que indique las zonas de mayor propensión a los movimientos en masa del territorio, a fin de contar con una herramienta dinámica para la gestión de riesgos; priorizar escenarios donde se desarrollen estudios específicos, así como plantear las medidas de prevención o mitigación para asegurar la estabilidad física de zonas urbanas y/o infraestructura vulnerables; contribuir con la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) y el Ordenamiento Territorial, objetivos nacionales al 2021. El logro de estos objetivos tienen como paso previo, el inventario y/o cartografiado a nivel nacional de movimientos en masa. El modelo de susceptibilidad, se obtuvo usando un modelo heurístico multivariado, que implica el análisis cruzado de mapas y geoprocésamiento. Para la validación del modelo se utilizó el Inventario de Peligros Geológicos nacional, resultando que el 86% de movimientos en masa inventariados, se concentran en las categorías de alta a muy alta susceptibilidad. Como resultado del análisis se puede concluir que las zonas de mayor susceptibilidad a los movimientos en masa en Perú se localizan: 1) Al oeste, entre Cajamarca-La Libertad-Ancash-Lima-Huancavelica; 2) Ayacucho-Apurímac-Cusco-Puno, en el lado suroriental; 3) Arequipa-Moquegua-Tacna, en el lado suroccidental; 4) Junín-Pasco-Huánuco-San Martín, en la región central y nororiental; 5) Otras franjas menores.

Palabras clave. *Peligros geológicos, movimientos en masa, modelo heurístico, susceptibilidad, ordenamiento territorial.*

ABSTRACT

Susceptibility mass movements map in Perú.

In 2009, the Geological Survey of Peru through the Direction of Environmental Geology and Geological Hazard, concluded the National Inventory of Geologic Hazard. One of products of this work is the “Susceptibility Map of Mass Movements in Peru” on scale 1:1.000.000. The objectives of this map are to set up a model that indicates the zones of high propensity to mass movements, in order to count with a dynamic tool for the risk management; to prioritize scenarios where specific studies are necessary, as well to raise the measures of prevention or mitigation adapted to assure the physical stability of urban zones and vulnerable infrastructures; this tool is also to contribute with the ecologic-economical zoning and land ordering, national objectives to 2021. The obtaining of these objectives had like previous step, the cartography of mass movements. The susceptibility has been obtained using a multi-variate heuristic model, which implies the crossed analysis of maps and geoprocessing operations. For the validation of the model, it was used the Inventory of geological hazard at national level, according to that, near 86% of the mass movements inventoried were concentrates in high and very high susceptibility categories. As a result of the analysis it is possible to conclude that the mass movement higher susceptibility zones in Peru are locate at: 1) To the western of the Peruvian Andes between Cajamarca-La Libertad-Ancash-Lima-Huancavelica; 2) Ayacucho-Apurimac-Cusco-Puno, in the southwestern; 3) Arequipa-Moquegua-Tacna, in the southeastern; 4) Junín-Pasco-Huanuco-San Martin, in the central and northeastern region; 5) Other smaller strips.

Keywords: *geological hazards, mass movements, heuristic model, susceptibility, land ordering.*

INTRODUCCIÓN

El territorio peruano es una de las zonas más inestables de los Andes, siendo las causas de esta precaria condición el clima y la

geología del territorio. Es de resaltar, que las evidencias históricas revelan que el Perú ha sido afectado por procesos geológicos como los movimientos en masa, los cuales alcanzaron a centros prehispánicos como

Chavín (800 a.C. 200 a.C.) hasta la total devastación de ciudades andinas como Ranrahirca y Yungay (alud – avalancha de 1962 y 1970). Por ello, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

(DGAR) del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, se propuso elaborar el “Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú (MS-MMP)” a escala 1:1.000.000 con los objetivos de contar con una herramienta para la gestión de riesgos, priorizar escenarios donde se desarrollen estudios específicos y contribuir en el ordenamiento territorial a nivel nacional (Fig. 1). Para ello, se ha realizado un trabajo sistemático, que ha permitido recopilar datos *in situ* de los movimientos en masa y sectores afectados por este tipo de procesos (zonas críticas) que han servido para el ajuste y validación del modelo elaborado.

CONCEPTO DE SUSCEPTIBILIDAD

La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso determinado, en este caso movimientos en masa. La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación de los principales factores (intrínsecos) que contribuyen en la formación de movimientos en masa. Los mapas de susceptibilidad, se realizan a partir de datos cartográficos de

tipo topográfico, geomorfológico, litológico, estructural, vegetación, usos de suelos y otros. Parten del análisis de los factores presentes en los movimientos existentes, para, extrapolando los resultados de este análisis, confeccionar el MSMMP (Ayala-Carcedo 2002).

Cabe destacar que los mapas de susceptibilidad por movimientos en masa, si bien identifican áreas donde se puede generar potencialmente tales procesos, en ellos no figura la totalidad de zonas a ser afectadas, ni predicen cuando ocurrirán los procesos analizados (Ayala-Carcedo y Olcinas 2002). Una de sus funciones más destacables es indicar las zonas donde se hace necesaria la realización de estudios específicos y a mayor detalle (áreas críticas). Sin embargo, se debe considerar que los límites de susceptibilidad señalados deben considerarse referenciales y no como valores absolutos.

METODOLOGÍA

En la metodología utilizada se ha considerado tres fases o etapas: una previa donde se ha recopilado toda la información existente sobre los movimientos en masa en el Perú.

En una segunda fase ha sido indispensable realizar el inventario de movimientos en masa (fotografías aéreas, imágenes satelitales y salidas al campo) y posteriormente en la fase final se ha procesado la información obtenida en campo y se realiza el análisis mediante SIG.

Recopilación de Información

Para elaborar el mapa en primer lugar se tuvo que recurrir a toda la información disponible. Estudios de instituciones como el Instituto Nacional de defensa Civil – INDECI, el Instituto Geofísico del Perú – IGP, Organizaciones No Gubernamentales – ONGs, Universidades Nacionales, el archivo de INGEMMET, publicaciones en diversos diarios y revistas nacionales, fotografías aéreas (Servicio Aerofotográfico Nacional – SAN), entre otros, alimentaron la base de datos nacional de peligros geológicos, la cual sirvió como punto de partida para los trabajos de inventario (INGEMMET 2000; INGEMMET 2002; INGEMMET 2003; Fidel *et al.* 2006).

Inventario de movimientos en masa

Entre los años 2000 y 2009, la DGAR realizó el inventario nacional de peligros geológicos. Este trabajo se inició con los estudios por Franjas, que consistía en dividir al Perú en 7 franjas paralelas de sur a norte. Hasta el 2004, se culminaron 4 franjas, siendo el estudio de “Riesgos Geológicos de la Franja N° 4” (Fidel *et al.* 2006) el último producto asociado a los trabajos de este tipo. A partir del 2005, se continuó por regiones y cuencas hidrográficas (Nuñez *et al.* 2006, Zavala y Vilchez 2006; Vilchez *et al.* 2007; Nuñez y Medina 2008; Zavala *et al.* 2010a). Como resultados del inventario, se tienen alrededor de 30 614 procesos identificados a nivel nacional (al 2011) y 20 boletines con sus respectivos mapas. Todos los peligros geológicos inventariados están georeferenciados y cuentan con una ficha en la que se resumen sus principales características geológicas, geomorfológicas e ingeniero geológicas (Fidel *et al.* 2006). Cabe resaltar, que a partir de los trabajos de riesgo por regiones, se inició el cartografiado de movimientos en masa a escala 1:50.000 y 1:25.000.

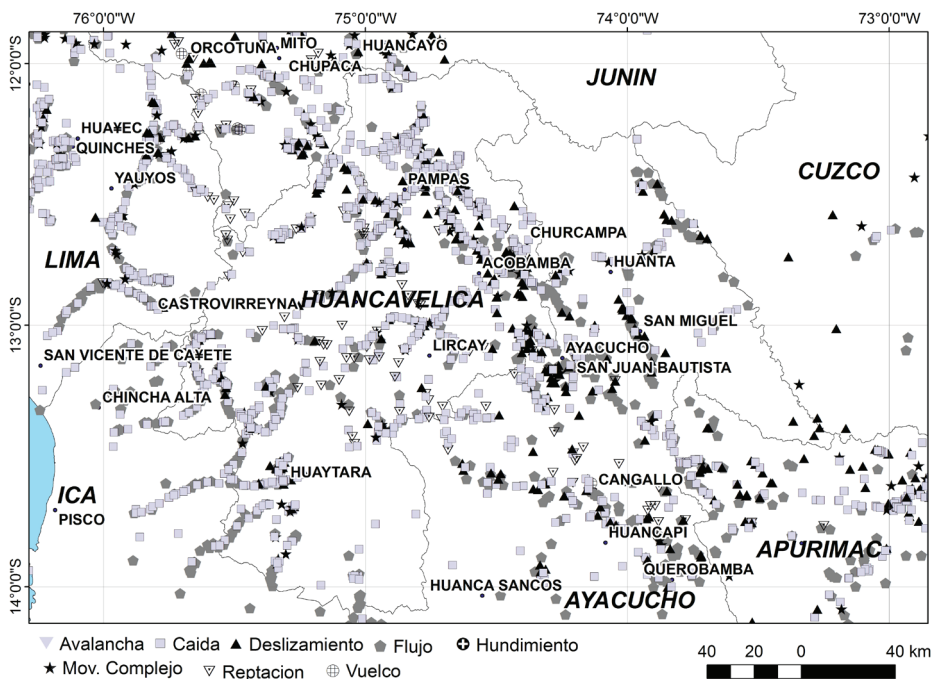


Figura 1. Extracto del mapa inventario de movimientos en masa del Perú (INGEMMET-DGAR 2010).

Producto del inventario realizado, se presentó el Mapa de Inventario de Movimientos en Masa del Perú (Fig. 1). La tipología de movimientos en masa se basa en las clasificaciones integradas y estandarizadas por el Grupo de Estandarización de Movimientos en Masa en la Región Andina - GEMMA, formado durante la ejecución del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA:GCA (2007). La cartografía de movimientos en masa ha considerado dos aspectos: de un lado los movimientos existentes y de otro los potenciales (Ayala-Carcedo y Corominas 2003).

Análisis mediante SIG

Tomando en cuenta la escala nacional, aproximación a la que se quería llegar y la dificultad de obtener información técnica que permita un análisis detallado (por su alto costo); para la evaluación de la Susceptibilidad se ha utilizado el modelo heurístico multivariado que consiste en la superposición de capas de variables (Carrara *et al.* 1995; Laín *et al.* 2005). Este método implica el análisis cruzado de mapas y operaciones de geoprocesamiento, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Uso de modelos de elevación digital – MDE: base topográfica a escala 1:100.000 proveniente del Instituto Geográfico Nacional – IGN;
- Inventario de movimientos en masa a nivel

- nacional (escalas: 1: 100.000 y 1: 50.000);
 - Tipología de movimientos en masa: estandarizada (PMA: GCA 2007);
 - Características geológico – estructurales: Carta Geológica Nacional a escala 1:1.000.000; INGEMMET (León *et al.* 1999); respaldada con mapas a escala 1:100.000;
 - Características geomorfológicas: trabajos por franjas y regiones;
 - Características hidrogeológicas del Perú a escala 1:1.000.000;
 - Cobertura vegetal y uso de suelo: INRENA (1995) a escala 1:250.000;
 - Mapas de susceptibilidad a los movimientos en masa por regiones (50% del territorio) a escalas entre 1:150.000 a 1.250.000.
- El análisis SIG se realizó por medio del software ArcGIS de ESRI, en su versión 9.2. Los factores condicionantes analizados han sido: pendiente, geomorfología, litología, hidrogeología y cobertura vegetal. Teniendo en cuenta que cada factor, influye de diferente forma sobre la estabilidad de las laderas, cada cobertura ha sido evaluada teniendo en cuenta diferentes parámetros para analizar la relación de cada unidad o clase diferenciada en esa cobertura, en relación con la ocurrencia de movimientos en masa. Se ha empleado la información disponible y se han generalizado algunas capas para que se puedan cruzar con otras capas, siendo el tamaño de pixel empleado de 100x100 m².

La combinación de factores se ha efectuado en formato raster, empleando la siguiente ecuación:

$$SMM = \frac{SCV(0.05) + SHG(0.1) + SGM(0.25) + SP(0.2) + SL(0.4)}{5}$$

Donde:

SMM: Susceptibilidad a los movimientos en masa, SCV: Susceptibilidad por cobertura vegetal, SHG: Susceptibilidad por hidrogeología, SGM: Susceptibilidad por geomorfología, SP: Susceptibilidad por pendiente, SL: Susceptibilidad por litología. Para la validación del modelo se utilizó el inventario nacional de peligros geológicos, con la totalidad de los datos recopilados hasta el 2011. El modelo resultante arrojó, que la mayor cantidad de movimientos en masa se agrupa en las categorías de alta y muy alta susceptibilidad (86 % de los eventos inventariados) y el tamaño de pixel empleado ha sido de 100x100 m². El resultado ha comprobado la representatividad de las capas empleadas a la escala final objetivo del estudio. El mapa final generado, se elaboró a escala 1:2.000.000 (Fig. 2) y los criterios de susceptibilidad se han presentado en la cuadro 1.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL PERÚ

De acuerdo al modelo resultante, las áreas con susceptibilidad alta a muy alta alcan-

CUADRO 1: Criterios de susceptibilidad por movimientos en masa

GRADO/CRITERIO	
	Muy Alta: Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas, saturadas y muy fracturadas; con discontinuidades desfavorables, depósitos superficiales inconsolidados, laderas con pendientes entre 30° a 45°, movimientos en masa anteriores y/o antiguos. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran movimientos en masa.
	Alta: Laderas que tienen zonas de falla, masas de roca con meteorización alta a moderada, fracturadas con discontinuidades desfavorables; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, laderas con pendientes entre 25° a 45°, donde han ocurrido movimientos en masa o existe la posibilidad de que ocurran.
	Media: Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados, laderas con pendientes entre 20° y 30°, donde han ocurrido algunos movimientos en masa y no existe completa seguridad de que no ocurran movimientos en masa. Estos pueden ser “detonados” por sismos y lluvias excepcionales
	Baja: Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionados, no saturados, con pocas discontinuidades favorables. Pendientes entre 10° a 20°. 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
	Muy Baja: Laderas no meteorizadas, con discontinuidades favorables. Terrenos con pendientes menores a 5° donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.

zan el 27% del territorio nacional. Estos sectores corresponden a materiales de calidad muy baja a media y laderas con fuertes pendientes (entre 30° y 45°), muy meteorizadas y alteradas, con presencia de discontinuidades con orientaciones desfavorables, cubiertas en ciertas zonas con depósitos superficiales inconsolidados a medianamente consolidados. Es notoria la presencia de cicatrices de movimientos en masa antiguos. Si consideramos que el 42% del

territorio peruano corresponde a la Amazonía, podremos deducir que el 58% del territorio restante tiene susceptibilidad alta y muy alta. Por otra parte los movimientos en masa más frecuentes en la región son las caídas de rocas (desprendimientos y derrumbes), los deslizamientos y los flujos de detritos (llamados huaycos en Perú).

En los sectores de alta y muy alta susceptibilidad, se producen recurrentemente movimientos en masa que ocasionan desastres,

teniendo como “detonantes” las intensas precipitaciones pluviales periódicas y/o excepcionales (Fenómeno El Niño) y los sismos (frecuentes en el territorio). Estos sectores los podemos agrupar en cuatro franjas:

- 1) A lo largo de una faja montañosa de Los Andes (Cordillera Occidental), principalmente en la zona norte y central del Perú (comprendida entre Cajamarca, La Libertad, Ancash, Lima y noroeste de Huancavelica), donde predominan rocas del Batolito Andino, rocas sedimentarias marinas, capas rojas y depósitos volcánicos antiguos. Es importante en esta franja, como factor de inestabilidad, la presencia de la Cordillera Blanca, la cordillera tropical más alta del mundo. En ella son recurrentes los alud – flujo de detritos (aluviones en Perú), siendo recurrentes los eventos de Huaráz (1725 y 1941), Chavín (pre históricos y 1945), Ranrahirca (1962 y 1970) y Yungay (1970). En la zona de Lima, la más alta susceptibilidad se localiza en las laderas de las cuencas medias y altas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. En esta franja se localizan las zonas de La Púcara y Rodeopampa (Cajamarca), afectadas por deslizamientos en el año 2000 y 2010, respectivamente (Zavala *et al.* 2010b).
- 2) Cordillera Oriental, sector central del Perú, regiones Huancavelica, Junín, Pasco y Huánuco y San Martín, con predominio de rocas sedimentarias y metamórficas de baja calidad. Son conocidos los deslizamientos de Cóndor Sencca (1945), Mayunmarca (1975), Uralla (2000) y deslizamiento de Santa Barbara y Potochi en Huancavelica, ocurrido en febrero del 2010 (Vilchez 2010).
- 3) En la región suroccidental del Perú, una franja con predominio de rocas volcánicas terciarias (de baja calidad) y escasas rocas sedimentarias, extendida entre el sur de Huancavelica, Arequipa, Moquegua y Tacna. En esta franja son conocidos los deslizamientos en Aricota, Pallata y Camilaca (Tacna), Lari, Madrigal y Maca (Arequipa) (Mariño *et al.* 2010).
- 4) La franja que cubre la porción noreste de Ayacucho, Apurímac, región central de Cusco y norte de Puno (cordillera suroriental), presenta rocas sedimentarias y metamórficas. También es importante

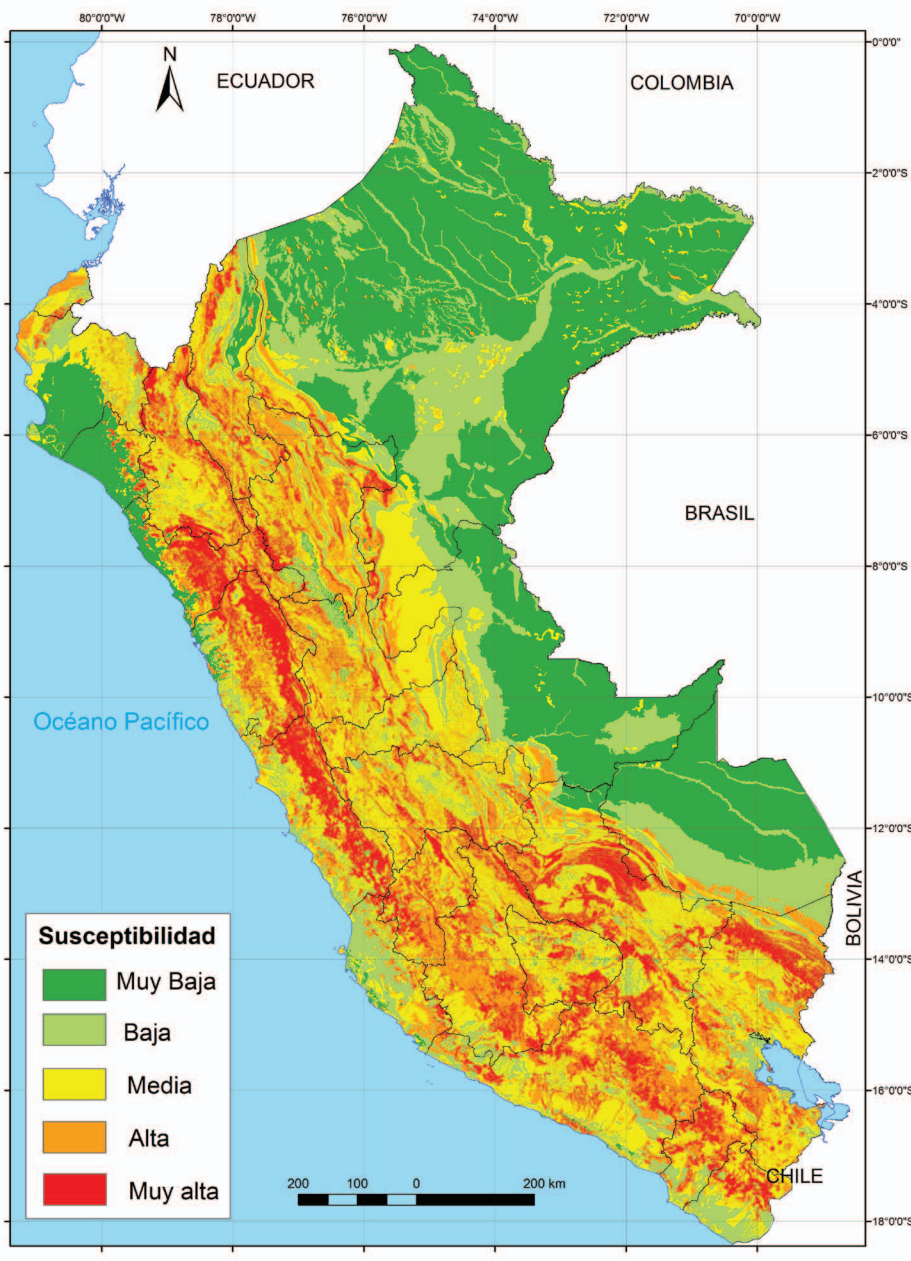


Figura 2: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú

resaltar, por su inestabilidad potencial, la presencia de las cordilleras nevadas de Vilcabamba, Vilcanota y Carabaya. Ejemplos de procesos relacionados a este sector son los aludes-flujos de detritos de Aobamba (Cuzco, en 1998), Ccocha y Pumararra (Apurímac, en 1997), el derrumbe-flujo en Winchumayo (Puno, en 2009) y los deslizamientos y flujos ocurridos en el Valle Sagrado - Cuzco a principios de 2011 (Valderrama y Roa 2011).

En la selva peruana debido a las bajas pendientes, los movimientos en masa son escasos, sin embargo hay sectores donde estos procesos son detonados por la erosión fluvial, como en el caso de Loreto y Ucayali al norte del Perú. Muchas de las zonas donde la susceptibilidad es moderada a alta, ya cuentan con poblaciones y obras de infraestructura importantes como las ciudades de Cajamarca, Huánuco, Callejón de Huaylas y Conchucos, Valle del río Vilcanota, Franja Volcánica del Sur, entre otras. Los usos de los mapas de susceptibilidad

son cada vez más importantes y en el país ya se están usando estos como insumo para la preparación de los mapas regionales de vulnerabilidad y para la ZEE y el ordenamiento territorial. Se están preparando también, los mapas que serán usados para la toma de decisiones respecto a la inversión pública. Para tal objetivo el MSMMP se combinará mediante herramientas SIG con los mapas de pobreza, índice de desarrollo y densidad poblacional, entre otros.

El MSMMP, también puede ser usado en los estudios en las fases de viabilidad y pre factibilidad de obras de infraestructura. Así como también tomarlo en cuenta para la evaluación y el mantenimiento de éstas. Por ejemplo, en el gasoducto de Camisea, obra de infraestructura que transporta el gas natural de la selva a la costa atravesando la Cordillera de Los Andes, cruza zonas de alta a muy alta susceptibilidad (Fig. 3). En estas zonas, los manejadores del ducto, deben contemplar estudios específicos y efectuar un monitoreo constante para prevenir la generación de movimientos en masa que lo puedan dañar.

EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE LOS EVENTOS 2010 - 2011

Los movimientos en masa ocurridos recientemente en el país, principalmente en el periodo 2010-2011, se han localizado en los sectores clasificados con alta y muy alta susceptibilidad, "validando" de esta manera el mapa de susceptibilidad. La avalancha de Rodeopampa (Cajamarca, 2010), el flujo de detritos de Ambo (Huánuco, 2010), los flujos de detritos de Huarcapay, Lucre, Cuzco, Zurite, Taray (Cuzco, 2010); también el flujo de detritos de Ayahuanco (Ayacucho, en enero del 2011), el flujo por deslizamiento de Yoroco (Puno, en enero 2011 (Medina y Farfan 2011) y el deslizamiento de Amata (Moquegua, enero 2011), que provocaron destrucción de viviendas, obras de infraestructura y muertes; se localizaron en zonas de alta susceptibilidad a muy alta susceptibilidad (Figs. 4a-f).

CONCLUSIONES

La susceptibilidad sólo identifica áreas po-

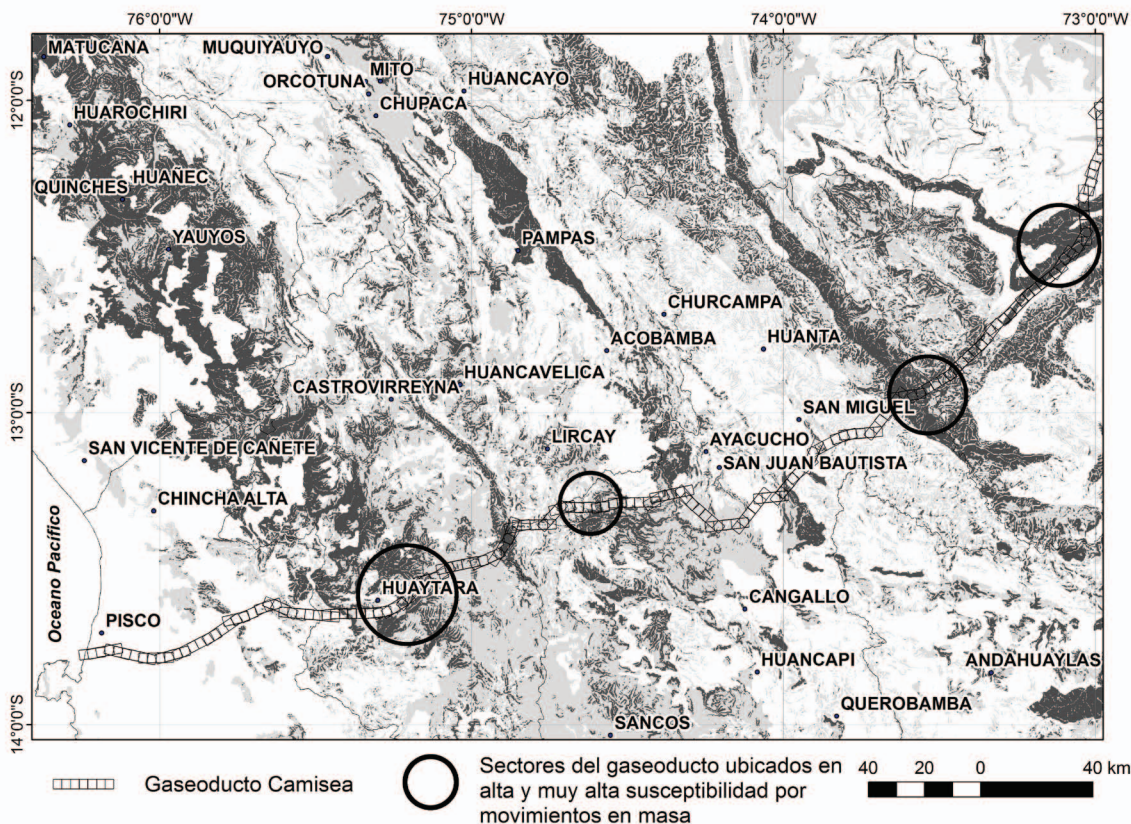


Figura 3. Gasoducto de Camisea y ubicación de zonas de muy alta susceptibilidad, es decir donde existe la muy alta posibilidad que ocurran movimientos en masa. Se han reportado deslizamientos en estas zonas.

tencialmente susceptibles y no implica un período de tiempo durante el cual pueda ocurrir un proceso; permite sectorizar las zonas potenciales a sufrir estos fenómenos, en base a las condiciones intrínsecas del terreno. El análisis de susceptibilidad presentado, se basa en la experiencia de diez años de investigación sistemática de este tipo de procesos en el Perú.

El MSMMP, cuenta con un 86% de validación en comparación con el inventario de movimientos en masa.

Las zonas de mayor susceptibilidad a los movimientos en masa en el territorio nacional, se localizan en: 1) Al oeste entre Cajamarca-La Libertad-Ancash-Lima-Huan-

cavelica; 2) Ayacucho-Apurímac-Cusco-Puno, en el lado suroriental; 3) Arequipa-Moquegua-Tacna, en el lado suroccidental; 4) Junín-Pasco-Huánuco-San Martín, en la región central y nororiental; 5) Otras franjas menores. Estas franjas geográficas se relacionan a una morfología regional y características litológicas particulares.

Una de las funciones clave de los mapas de susceptibilidad, es indicar las zonas donde se hace necesario o es conveniente hacer estudios geológicos y geotécnicos complementarios. Útil también para la viabilidad y pre factibilidad de obras de infraestructura. El MSMMP permitirá planificar, de manera más acertada, la ubicación de asenta-

mientos humanos y los planes de redistribución urbana en el Perú en el marco de la ZEE y el Ordenamiento Territorial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades del INGEMMET y todas las instituciones que colaboraron con información y facilidades durante la realización del Inventario Nacional de Peligros Geológicos del Perú. Un agradecimiento especial al Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas – PMA: GCA, por las enseñanzas compartidas y el impulso en el conocimiento de los movimientos en masa.

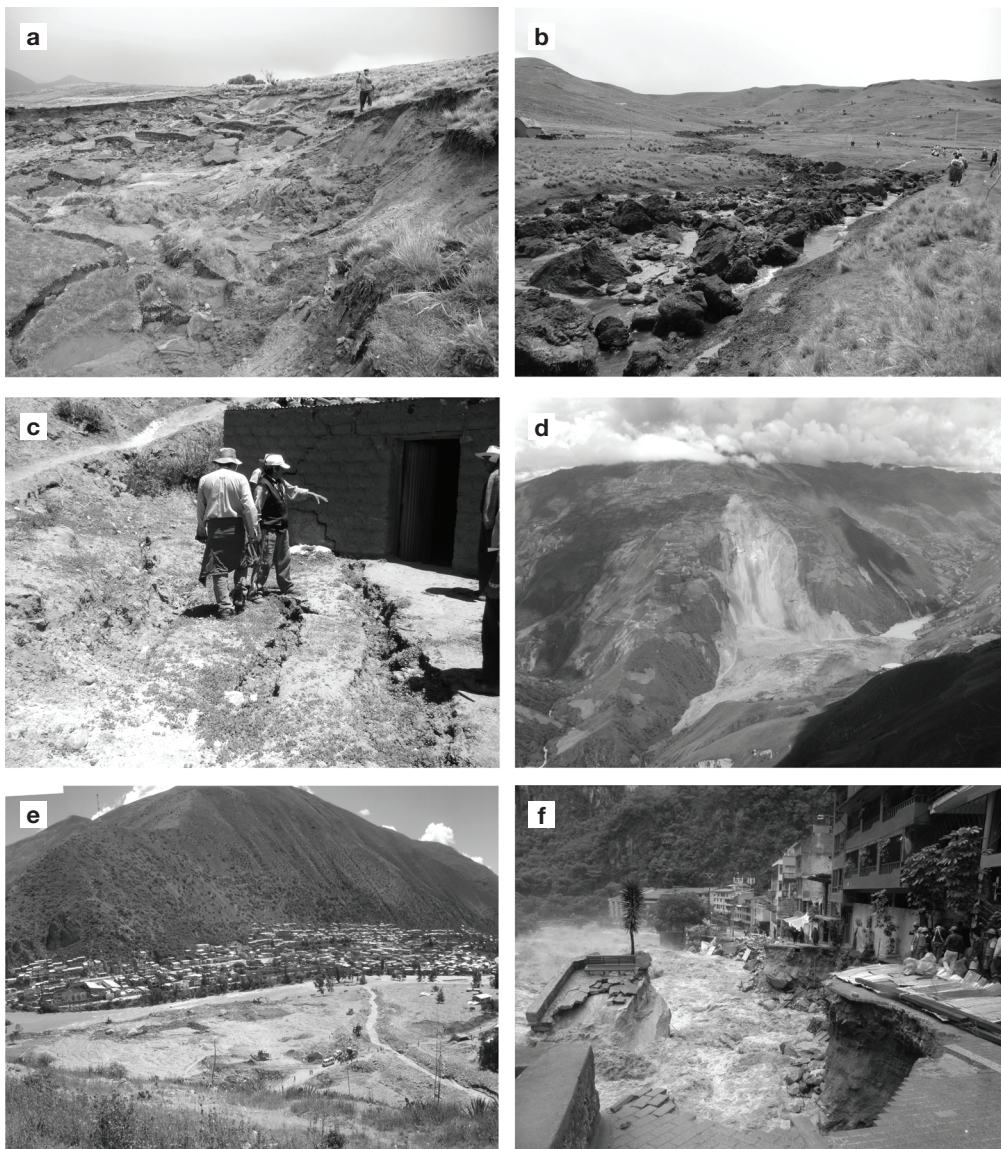


Figura 4.

a) y b) Dos vistas del flujo por deslizamiento de Yorococo (Puno); c) Deslizamiento de Amata (Moquegua); d) Avalancha de Rodeopampa (Cajamarca); e) Flujo de detritos de Ambo (Huánuco); y f) Flujo de detritos en Aguas Calientes (entrada a Machupicchu – Cusco).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ayala-Carcedo F.J. 2002. Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera. Su naturaleza, funciones, problemática y límites. En F.J. Ayala-Carcedo y J. Coraminas, (eds). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España, 7-20
- Ayala-Carcedo, F.J. y Olcinas, J. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel, Colección Ciencia, 1304 p, Barcelona.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. y Reichenbach, P. 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. En Carrara, A. y Guzzetti, F. (eds) Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers: 135-175, The Netherlands.
- Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S. y Valenzuela, G. 2006. Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 4. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 31, Lima.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1995. Guía Explicativa del Mapa Forestal. Lima
- Laín, L., Llorente, M., Díez, A., Rubio, J., Maldonado, A., Galera, J. y Arribas, J. 2005. Mapas de peligrosidad geológica en el Término Municipal de Albuñol. Documento Técnico IGME. Granada, España .162 pp.
- Instituto Geológico minero y Metalúrgico (INGEMMET). 2010. Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú, primera versión, escala 1:1000 000, Lima.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). 2003. Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3, INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 28, Dirección de Geología Ambiental, 373 p., 21 figs., 159 fotos., 17 mapas, Lima.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). 2000. Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N° 1. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 23. Dirección de Geotecnia, 330 p., 58 figs., 65 fotos., 10 mapas, Lima.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). 2002. Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N° 2. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 27, Dirección de Geología Ambiental, 368 p., 20 figs., 145 fotos., 27 mapas, Lima.
- León, W., Palacios, O., Vargas, L. y Sánchez, A. 1999. Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Perú, Esc. 1:1 000 000, edición 2000. 73 p., 19 figs., 1 perfil, 1 sección estratigráfica, Lima.
- Mariño, J., Zavala, B., Villacorta, S., Vilchez, M., Núñez, S., Macedo, L., Benavente, C., Fidel, L., Peña, F., Antayhua, Y., Pari, W., Valderrama, P., Luque, G., Rosado, M., Ochoa, M. y Vasquez, S. 2010. Investigaciones geológicas y gestión de riesgos en el valle del Colca, Arequipa. XV Congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos: 1037-1040, 4 p., Cuzco.
- Medina, L. y Farfan, J. 2011. Inspección Técnica de Peligros Geológicos: Flujo por Deslizamiento de Yorocco (distrito Huacullani, provincia Chucuito, Región Puno). Informe técnico INGEMMET. 16 Páginas. 15 fotos, 2 figuras, Lima.
- Núñez, S. y Medina, L. 2008. Riesgos Geológicos en la Región Ucayali INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 37. 161 p., 68 figs., 8 gráficos., 35 fotos, 6 mapas.
- PMA: GCA. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. 2007. Movimientos en masa en la región Andina: Una Guía para la evaluación de Amenazas. Publicación geológica multinacional N° 4, 404 p., Canadá.
- Núñez, S., Villacorta, S., Chira, J. y Rivera, R. 2006. Estudio Geoambiental de la cuenca Chancay-Lambayeque. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 33. 139 p., 61 figs., 9 gráficos., 30 cuadros., 12 tablas., 90 fotos., 10 mapas, Lima.
- Valderrama, P. y Roa, J. 2011. Evaluación de peligros geológicos en el valle sagrado de los incas, río Vilcanota. Informe técnico INGEMMET., 48 p., Lima.
- Vilchez, M., 2010. Inspección de peligros geológicos en los sectores de Santa Barbara y Potochi (distrito y provincia y región de Huancavelica). Informe técnico INGEMMET.33 p. 1 mapa, Lima.
- Vilchez, M., Villacorta, S., Chira, J., Peña, F. y Pari, W. 2007. Estudio Geoambiental de la Cuenca de los Ríos Jequetepeque y Loco de Chaman. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 36. 294 p., 107 figs., 47 tablas., 25 anexos, 8 mapas, Lima.
- Zavala, B. y Vilchez, M. 2006. Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 34. 147 p., 16 mapas, Lima.
- Zavala, B., Valderrama, P. y Barrantes, R. 2010a. Riesgos Geológicos en la Región Ancash. 2009. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 38. 265 p., 19 figs., 45 cuadros, anexos., 153 fotos, 18 mapas, Lima.
- Zavala, B., Gómez, J. y Herrera, B. 2010b. Deslizamiento del cerro Rodeopampa y embalse del río Socota - Región Cajamarca. Informe técnico INGEMMET. 34 p., Lima.

Recibido: 11 de febrero, 2012

Aceptado: 23 de abril, 2012