

## MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL PERÚ

Lionel Fidel<sup>1</sup>, Sandra Villacorta<sup>1</sup>, Bilberto Zavala<sup>1</sup>, Manuel Vilchez<sup>1</sup>, Patricio Valderrama<sup>1</sup>, Segundo Nuñez<sup>1</sup>, Griselda Luque<sup>1</sup>, Malena Rosado<sup>1</sup>, Lucio Medina, Jenny Vásquez<sup>1</sup> y Magdie Ochoa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú. Email: svillacorta@ingemmet.gob.pe,

### INTRODUCCIÓN

El territorio peruano debido a su ubicación geográfica es una de las zonas más inestables del continente, cuyas características geológicas, geomorfológicas, climatológicas y sísmicas facilitan el desarrollo de Movimientos en Masa – MM, que se constituyen en peligros naturales de ocurrencia cada vez más frecuente (INDECI, 2008; 2005; 2002; 1995). Así mismo, el proceso de vulnerabilidad, se manifiesta por un crecimiento demográfico urbano marginal, acelerado y caótico que ocupa territorios que no presentan condiciones para el hábitat (Desastre & Sociedad, 1993).

Evidencias de campo e históricas, revelan que el territorio peruano ha sido afectado por movimientos en masa de gran magnitud, que condicionaron desde el desarrollo de culturas prehispánicas como Chavín (800 a 200 a.C), cuyo centro fue arrasado por un flujo de detritos de origen glaciar (Valderrama, et al, 2008), hasta la total devastación de las ciudades de Yungay y Ranrahirca (31 mayo 1970), con un saldo aproximado de cuatro mil víctimas (Evans et al, 2009).

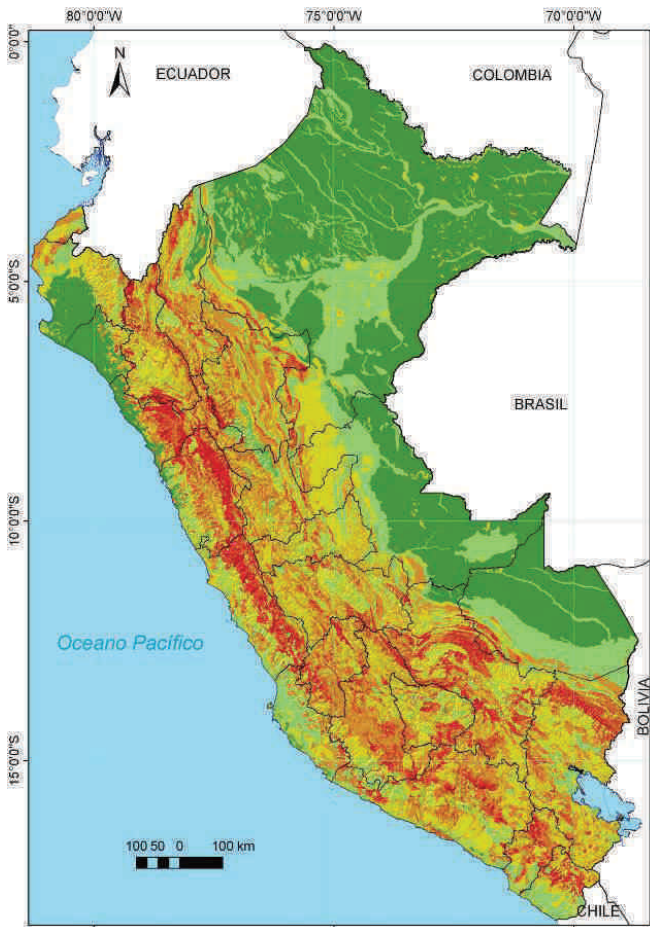
El 2009, INGEMMET a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, concluyó el inventario nacional de peligros geológicos, trabajo iniciado en el año 2000 con los estudios por franjas, y a partir del 2005 por regiones. Uno de los productos de este trabajo sistemático es el “Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú” a escala 1:1'000,000. Los objetivos de este mapa son plantear un modelo que indique las zonas de mayor propensión a los movimientos en masa del territorio nacional, a fin de contar con una herramienta para la gestión de riesgos; priorizar escenarios donde se desarrollen estudios más específicos (cartografía de detalle, monitoreo, identificación de zonas críticas, etc.); así como plantear las medidas de prevención o mitigación adecuadas para asegurar la estabilidad física de zonas urbanas y/o infraestructura vulnerables; y contribuir en el ordenamiento territorial.

La obtención de estos objetivos ha tenido como paso previo y necesario, la cartografía de MM. Para la elaboración del presente mapa, se ha considerado dos aspectos: de un lado los movimientos existentes y de otro los potenciales (Ayala-Carcedo, F. & Coraminas, Y. 2003).

### SUSCEPTIBILIDAD: CONCEPTO

La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de MM determinado. La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación de los principales factores (intrínsecos) que contribuyen en la formación de MM. 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, extrapolar los resultados de este análisis, confeccionar el mapa de susceptibilidad (Ayala-Carcedo, F. & Coraminas, Y., 2003)

Cabe destacar que los mapas de susceptibilidad a los MM, 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. Una de sus funciones más resaltantes es indicar las zonas donde se hace necesaria la realización de estudios más 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.



GRADO/CRITERIO	
	<b>Muy Alta:</b> 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 MM.
	<b>Alta:</b> 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 MM o existe la posibilidad de que ocurran.
	<b>Media:</b> 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 MM y no existe completa seguridad de que no ocurran. MM. Estos pueden ser “detonados” por sismos y lluvias excepcionales
	<b>Baja:</b> 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 MM, salvo que puede ser afectada por MM ocurridos en zonas de susceptibilidad alta a muy alta cercanas a ellas, detonadas principalmente por lluvias excepcionales
	<b>Muy Baja:</b> Laderas no meteorizadas, con discontinuidades favorables. Terrenos con pendientes menores a 5° donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.

Figura 1. Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú

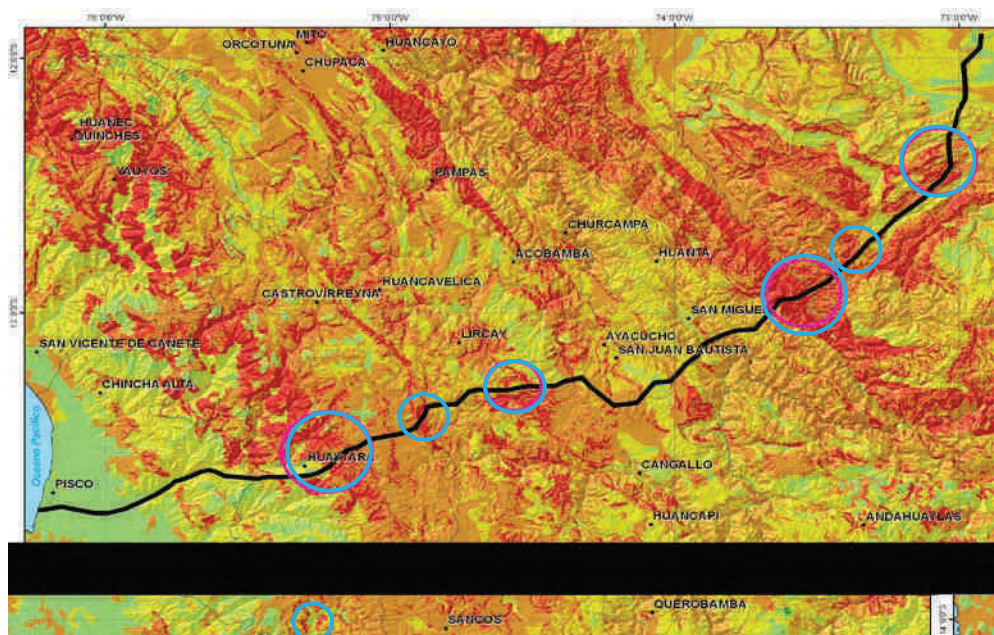


Figura 2. Gaseoducto de Camisea y ubicación de zonas de muy alta susceptibilidad, es decir donde han ocurrido MM en el pasado o existe alta posibilidad que ocurran.

## EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Tomando en cuenta la dificultad para obtener información técnica que permita la realización de análisis de estabilidad, debido a su alto costo; para el presente modelo de susceptibilidad, se ha utilizado un modelo heurístico multivariable, que consiste en la superposición de mapas (Carrara *et al.*, 1995). Para ello, se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos: uso de modelos de elevación digital (en base a topografía a escala 1/100 000 del Instituto Geográfico Nacional); inventario de MM a nivel nacional (habiéndose reconocido 28,495 MM); tipología de MM (estandarizada por el Grupo de Estandarización de Movimientos en Masa en la región Andina - GEMMA, como parte del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades - PMA:GCA, 2007); características litológicas - estructurales (del inventario y de la Carta Geológica Nacional del INGEMMET); características geomorfológicas (del inventario); características hidrogeológicas (tomadas del mapa Hidrogeológico del Perú a escala 1:2'000,000); cobertura vegetal y uso de suelo (la información utilizada proviene de la zonificación de tipos de vegetación definida por INRENA, 1995, agrupados siguiendo el modelo propuesto por SERCITEC & GEOINGENIERÍA, 2002).

Los SIG, constituyen una herramienta muy adecuada para trabajar con este método, que implica el análisis cruzado de mapas y operaciones de geoprocésamiento. Para la validación del modelo se utilizó el Inventario de Peligros Geológicos a nivel nacional. El modelo resultante arrojó, que cerca de un 86 % de los movimientos en masa inventariados se concentra en las categorías de alta y muy alta susceptibilidad. El mapa final generado se presenta a escala 1:1'000 000 (Figura 1).

## MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL PERÚ

En el mapa obtenido (Figura 1), se describe la susceptibilidad por MM, cuyo grado de susceptibilidad varía entre Muy Alta a Muy Baja.

El análisis inicial del Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú, nos muestra que las zonas de mayor susceptibilidad en el territorio peruano se agrupan en cuatro sectores:

- 1) A lo largo de una franja 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. Por ejemplo, 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; Las zonas de La Púcara y Rodeopampa (Cajamarca), afectadas por deslizamientos en el año 2000 y 2010, respectivamente, así como la Cordillera Blanca donde son recurrentes los aluviones en el país, caso de Huaráz (1725, 1941), Chavín (1945), Ranrahirca (1962) y Yungay (1970), figuran también en este sector.
- 2) Un sector de la cordillera oriental (sector central del Perú, regiones Huancavelica, Junín, Pasco y Huánuco y límite entre La Libertad y San Martín, con predominio de rocas sedimentarias y metamórficas). Los deslizamientos de Condor Sencca (1945), Mayunmarca (1975) y Uralla (2000) y la ciudad de Huancavelica, que sufrió un deslizamiento en febrero del 2010 pertenecen a este sector.
- 3) En la región suroccidental del Perú, una franja con predominio de rocas volcánicas y escasas rocas sedimentarias, extendida entre el sur de Huancavelica, Arequipa, Moquegua y Tacna; Los deslizamientos en Aricota, Pallata y Camilaca (Tacna), Lari, Madrigal y Maca (Arequipa) son algunos ejemplos de sectores ubicados en zonas de muy alta susceptibilidad.
- 4) Destaca también una franja que cubre la porción noreste de Ayacucho, Apurímac, región central de Cusco y norte de Puno (cordillera suroriental), donde se presentan capas sedimentarias y metamórficas. Ejemplos de procesos relacionados a este sector son el aluvión de Aobamba (Cuzco, 1998), Ccocha y Pumararra (Apurímac, 1997), el derrumbe –flujo en Winchumayo (Puno, 2009) y los deslizamientos y flujos ocurridos en el Valle Sagrado – Cusco a principios de 2010.

Se relacionan a estas franjas, laderas con pendientes entre 25° y 45°, rocas intensamente meteorizadas y fracturadas, con alta capacidad de retención de agua y cubiertas con depósitos superficiales.

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, 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.

Como ejemplo del uso de los mapas de susceptibilidad, presentamos la ubicación del gaseoducto de Camisea y las zonas de muy alta susceptibilidad por las cuales cruza esta importante infraestructura (Ver Figura 2). En estas zonas, los manejadores del ducto, deben contemplar estudios específicos y efectuar un monitoreo constante para prevenir la generación de MM.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los mapas de susceptibilidad por MM sectorizan las zonas potenciales a sufrir estos fenómenos, en base a las condiciones locales (intrínsecas) del terreno.

La susceptibilidad sólo identifica áreas potencialmente susceptibles y no implica un período de tiempo durante el cual pueda ocurrir un proceso.

El Mapa de Susceptibilidad de Movimientos en Masa del Perú, cuenta con un 86% de validación, con respecto al inventario de movimientos en masa.

Las zonas de mayor susceptibilidad a los MM, se localizan en: 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. Estas franjas geográficas se relacionan a una morfología regional y características litológicas particulares.

El análisis de susceptibilidad por MM en el Perú, se basa en la experiencia de diez años de investigación sistemática de este tipo de procesos a nivel nacional. Sin olvidar los trabajos realizados en años anteriores, por el Servicio Geológico del Perú con sus diferentes denominaciones.

Este mapa, debe ser utilizado y servir de base para la Zonificación Ecológica Económica y el Ordenamiento Territorial, así como en futuros planes de redistribución urbana y estudios detallados posteriores (gobiernos locales, regionales, etc.) para proporcionar información general a ser utilizada en la toma de decisiones en el manejo de grandes áreas afectadas.

## REFERENCIAS

- Ayala-Carcedo, F. & Coraminas, Y. (2003). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. IGME, Madrid – España. 194 pp.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. En: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds). Netherlands, Pág. 135-175.
- Desastre & Sociedad (1993). Revista Semestral de la Red de Estudios Sociales en Prevención de desastres en América Latina. Julio – Diciembre 1993. N° 1/Año 1
- Evans, S; Bishop, N.; Fidel, S.; Valderrama, P.; Delaney, K.; Oliver-Smith, A. (2009) A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascaran, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. *Engineering Geology*, 108, 96–118
- INDECI (2008). Compendio Estadístico de Prevención Y Atención DE Desastres-2008.
- INDECI (2005). Compendio Estadístico de Prevención Y Atención DE Desastres-2005. INDECI (2002). Compendio Estadístico DEL Sinadeci-2002
- INDECI (1995). Compendio Estadístico de Emergencias-1995
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1,995. Guía Explicativa del Mapa Forestal. Lima – Perú.
- PMA:GCA, (2007). Movimientos en masa en la región Andina: Una Guía para la evaluación de Amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Grupo de Estándares para movimientos en masa (GEMMA), Publicación geológica multinacional N° 4, 404 p.
- SERCITEC E ingeniería (2002). Diagnóstico Ambiental de Alternativas para la ubicación del Parque Minero Industrial en la provincia de Pedernales. Unidad Corporativa Minera. Santo Domingo, República Dominicana.
- Valderrama, P.; Fidel, L.;(2008) Origen y dinámica del aluvión de 1945 en el complejo arqueológico de Chavín de Huantar. XIV Congreso Peruano de Geología XIII Congreso Latinoamericano de Geología. Proceedings.
- Zavala, B., Valderrama, P. & Barrantes, R. (2010). Estudio de Riesgo geológico en la región Ancash. Informe en Prensa, 197 p.