

# ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LIMA METROPOLITANA: UN DESAFÍO METODOLÓGICO

Lucile Tatar<sup>1,2,3</sup>, Sandra Villacorta<sup>3</sup>, Pascale Metzger<sup>2</sup>, Paul Bertheliet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ISTERre - OSUG – Universidad de Grenoble, Francia ([lucile.tatard@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:lucile.tatard@obs.ujf-grenoble.fr))

<sup>2</sup> IRD, Lima, Perú

<sup>3</sup> INGEMMET, Lima, Perú

## INTRODUCCIÓN

85% de la población expuesta a sismos, ciclones, inundaciones y sequías vive en países en desarrollo (IPU, 2010). Esta población está directamente bajo riesgo por los movimientos de material geológico en masa, ya que los sismos, ciclones e inundaciones son las causas principales de desencadenamiento de estos fenómenos. Para contribuir a mitigar este riesgo, se puede elaborar mapas de susceptibilidad vía métodos estadísticos y análisis espaciales. El mapa de susceptibilidad indica el grado de facilidad con que ocurren los movimientos en masa: caídas, derrumbes, huaycos (flujos), deslizamientos y movimientos complejos, teniendo en cuenta los factores locales de los terrenos: litología (tipo de rocas), pendiente de los terrenos, uso del suelo, geomorfología e hidrogeología (aguas subterráneas). Estos mapas contribuirán con el ordenamiento territorial y permitirán un mejor conocimiento del riesgo asociado a estos procesos en la zona estudiada. Las técnicas empleadas en este análisis son sencillas y no necesitan muchos medios, lo que permite su adaptación a la problemática del riesgo por movimientos de material geológico en masa en los países en desarrollo. Una de las restricciones asociada con este tipo de estudio en los países en desarrollo concierne la falta de datos disponibles necesitadas para elaborar tales mapas.

A pesar de que Lima haya sido afectada por cientos de caídas de rocas y flujos de detritos desde 1970 no existe aún un mapa de susceptibilidad por movimientos en masa para Lima Metropolitana a una escala que permita una gestión efectiva de estos procesos. Además, Lima está localizada en la zona de subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa de América del Sur, donde se espera un sismo de magnitud de momento ( $M_w$ ) superior a 8 (Tavera y Bernal, 2005; Perfettini et al., 2010) que probablemente detonará un número importante de movimientos en masa. De hecho, Keefer (2002) muestra que para un sismo de magnitud  $M_w=8$  se espera más de 100,000 movimientos en masa sobre un área más grande que 10,000 km<sup>2</sup>. Es entonces una necesidad para la capital del Perú, con 8,5 millones de habitantes, contar con un mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, por lo que proponemos establecer una primera aproximación a la escala 1/50 000.

Cabe mencionar, que se han desarrollado algunas investigaciones acerca de la geodinámica y prevención de desastres de origen geológico en el área de Lima Metropolitana y El Callao, destacando: el “Estudio geodinámico de la cuenca del río Lurín” (Dávila y Valenzuela, 1996); el “Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón” (Pérez, 1979); “Estudio Geodinámico de la cuenca del Río Rímac” (INGEMMET, 1988), “Riesgos Geológicos en el Perú - Franja N° 3” (INGEMMET, 2003); “Riesgos Geológicos en el Perú - Franja N° 4” (Fidel et al., 2006) y “Zonas Críticas por Peligros Geológicos en Lima Metropolitana” (Núñez y Vásquez, 2009). Otros estudios que merecen especial atención son la “Evaluación de los peligros naturales y zonificación geodinámica para la prevención de desastres naturales en el valle del río Lurín, provincias Lima-Huarocharí, departamento de Lima” (Allende, 1998); el “Atlas Ambiental de Lima Metropolitana” (IMP, 2008) y

el Estudio “Estudio SIRAD. Recursos de Respuesta Inmediata y de Recuperación Temprana Ante la Ocurrencia de un Sismo y/o Tsunami en Lima Metropolitana y Callao” (D’Ercole et al., 2011).

Asimismo, el INGEMMET viene realizando en la actualidad como parte del Programa Nacional de Riesgos Geológicos del Perú, una investigación denominada « Geología, Geomorfología, Peligros Geológicos y Características Ingeniero Geológicas del Área de Lima Metropolitana y la región Callao » con el objetivo principal de generar información que sea de utilidad para las instituciones involucradas en el ordenamiento y desarrollo territorial de Lima Metropolitana y El Callao (Villacorta et al., 2012). Parte de este proyecto, específicamente el análisis de susceptibilidad, se viene realizando en colaboración con el IRD y la Universidad de Grenoble, Francia.

## METODOLOGÍA PROPUESTA

La base de este trabajo se apoya sobre el inventario de movimientos en masa recientes y antiguos realizado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico en Lima Metropolitana, con datos recopilados desde 1970 a la actualidad. Se cuenta con 511 eventos que corresponden a caídas de roca o a flujos de detritos (Fig. 1). Estos dos fenómenos son diferentes en términos de mecanismo y, por tanto, proponemos estudiar cada tipo de movimiento por separado. Por otra parte, debido a que no todos los eventos registrados poseen información completa relativa a geología, altitud, pendiente, etc. se reconstruyó la información con dos fuentes de datos: el modelo numérico de terreno del ASTER GDEM a 30 m y diferentes capas de información elaboradas por el INGEMMET para el Atlas Ambiental de Lima Metropolitana (IMP, 2008).

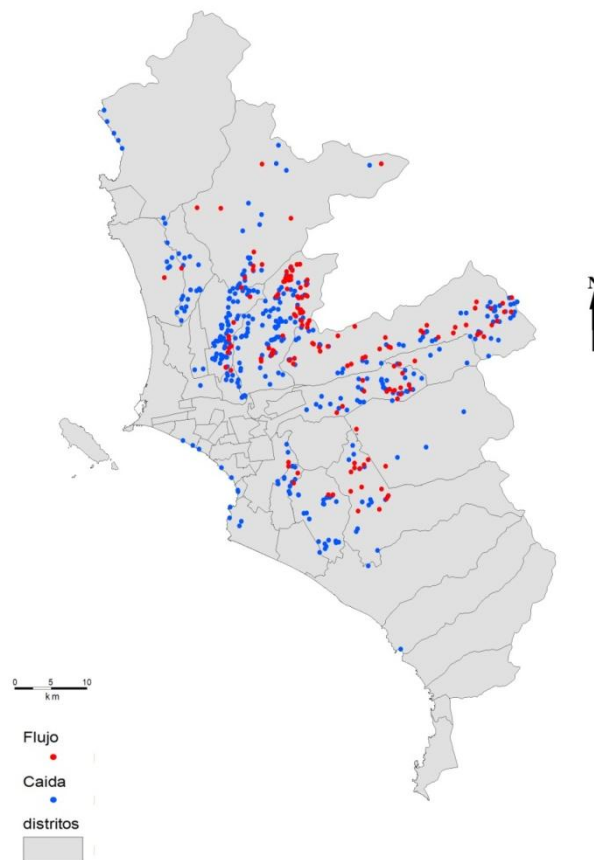


Fig. 1: Los flujos (puntos rojos) y caídas de roca (puntos azules) en Lima Metropolitana. Base de Datos Georeferenciada, INGEMMET (Inédito).

El tratamiento de los datos se hace mediante un software de Sistema de Información Geográfica con un método estadístico de análisis bivalente. En primer lugar, nos interesamos en la influencia de la altitud y de la pendiente, por separado. A partir de las distribuciones de densidades de movimientos en masa en función de la altitud o de la pendiente, se define empíricamente dos umbrales de susceptibilidad por cada parámetro. Estos umbrales delimitan tres clases de susceptibilidad: baja (casi ninguna ocurrencia de deslizamientos), media (pocas ocurrencias de deslizamientos) y alta (mayor ocurrencias de deslizamientos).

Hallamos que las tres clases de susceptibilidad para los pendientes son iguales para los flujos y las caídas. Entonces, llegamos a un mapa común de susceptibilidad en función de la pendiente para los flujos y caídas (Fig. 2). Obtenemos una tasa de éxito de 96,3%, es decir, que 96,3% de los eventos (flujos + caídas) se encuentran en las clases naranja y roja de pendiente.

De otra parte, hallamos que los flujos ocurren a una altitud más grande que las caídas de roca, resultando en diferentes mapas de susceptibilidad en función de la altitud (Fig. 3). En este caso, obtenemos tasas de éxito superior a 98% para los flujos como las caídas. Cuando se añade la información sobre la geología, buscando clases de altitud y de pendiente diferentes por cada formación geológica, no se mejoran las tasas de éxito. Tan poco se mejoran las tasas de éxito cuando se consideran juntas la altitud y la pendiente.

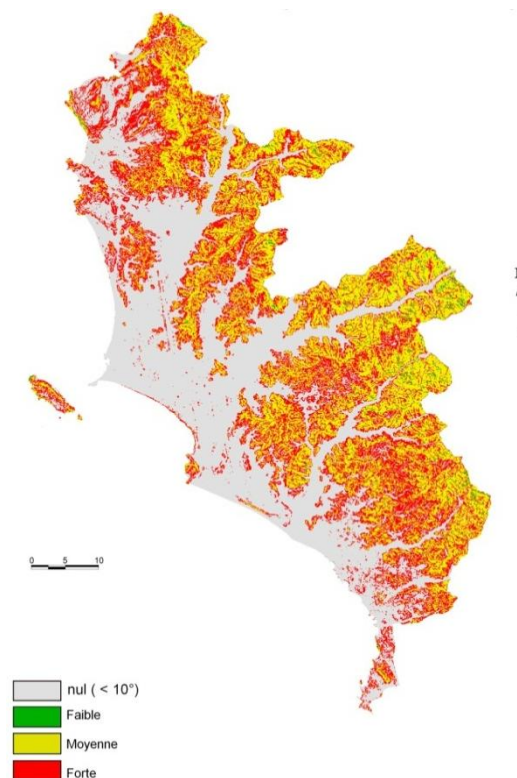


Fig. 2: Mapa de susceptibilidad en Lima Metropolitana y El Callao por movimientos en masa en función de la pendiente (Rojo: susceptibilidad alta, naranja: susceptibilidad media y verde: susceptibilidad baja)

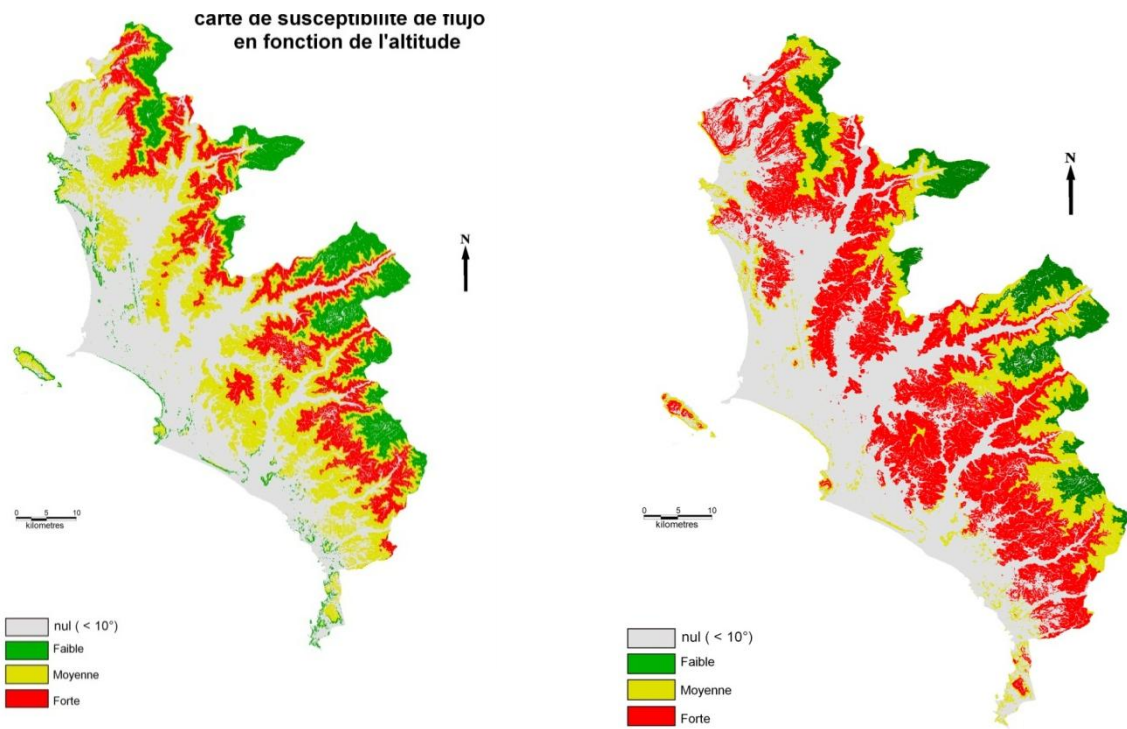


Fig. 3: Mapas de susceptibilidad en Lima Metropolitana y El Callao por flujos (izquierda) y caídas de roca (derecha) en función de la altura (Rojo: susceptibilidad alta, naranja: susceptibilidad media y verde: susceptibilidad baja).

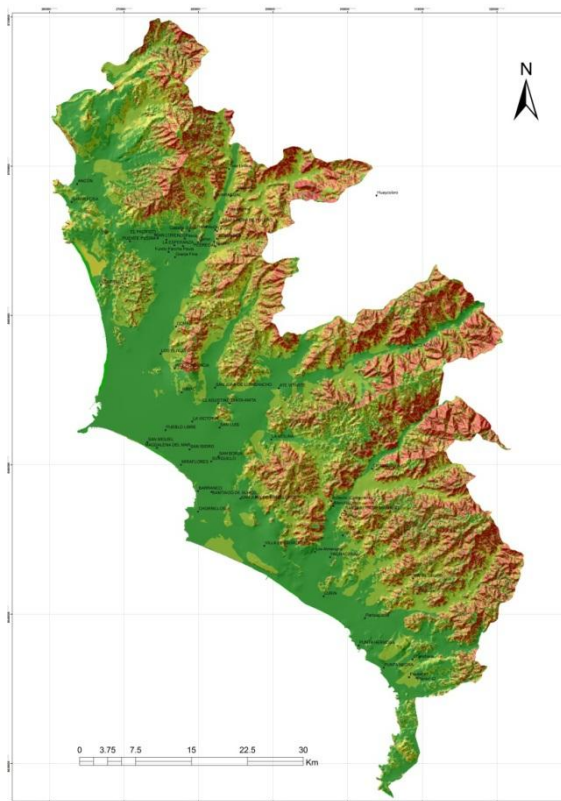


Fig. 4: Mapa preliminar de susceptibilidad por movimientos en masa. Verde oscuro: muy baja susceptibilidad, muy alta en rojo.

Respecto a la susceptibilidad por movimientos en masa incorporando las variables: unidades lito-geotécnicas y pendientes del terreno, como un primer avance se muestra el mapa de la Fig. 4. Los flujos de detritos y las caídas de rocas están incluidas como depósitos superficiales en las unidades lito-geotécnicas. Se observa en general, que la extensión total de algunos depósitos de eventos modernos (por ejemplo los de la quebrada Huaycoloro) no están evidenciados como de muy alta o alta susceptibilidad sino como moderada. Por esto, en el posterior análisis de la peligrosidad, se debe considerar otros factores como la precipitación máxima instantánea de lluvias anómalas.

También, a corto plazo, vamos a seguir este trabajo añadiendo otros parámetros para medir el éxito del método: por ejemplo el área de la superficie que está clasificada como susceptibilidad alta o susceptibilidad media. Hay un compromiso entre el tamaño de esta área y el número de movimientos explicados por el método: Se debe reducir el tamaño de estas zonas sin disminuir el número de movimientos en masa explicados para que los mapas pueden contribuir efectivamente al ordenamiento territorial.

A mediano plazo, las perspectivas son de investigar las ventajas y desventajas del análisis bivariante en comparación con el análisis multivariante. Así mismo, se buscará identificar la influencia de otros parámetros tales como la distancia a un río, a una falla, a una carretera, etc. sobre la susceptibilidad de un terreno a los movimientos en masa.

## REFERENCIAS

Allende, t. (1998) - *Evaluación de los peligros naturales y zonificación geodinámica para la prevención de desastres naturales en el valle del río Lurín, provincias Lima-Huarochirí, departamento de Lima*. Tesis de Maestría.

D'Ercole, r.; Metzger, p.; Robert, j.; Hardy, s.; Gluski-Chraibi, p.; Vernier, p.; Sierra, a.; Perfettini, h. y Guillier, b. (2011) – *Recursos de respuesta inmediata y de recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami en Lima Metropolitana y Callao – Estudio SIRAD IRD / COOPI, Proyecto Preparación ante desastre sísmico y/o tsunami y recuperación temprana en Lima y Callao*, INDECI, PNUD, ECHO, Lima, Perú, 178 p.

Dávila, s. y Valenzuela, g. (1996) - *Estudio geodinámico de la cuenca del río Lurín*. Ingemmet, 92 p.

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, 386 p.

IMP: Instituto Metropolitano de Planificación (2008) - *Atlas Ambiental de Lima Metropolitana*, Lima, Perú. 157 p.

INGEMMET, Dirección de geología ambiental (2003) – *Estudio de Riesgos Geológicos del Perú. Franja N° 3*. Boletín No 28, Serie “C”: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima, 373 p.

INGEMMET (1988). *Estudio Geodinámico de la cuenca del Río Rímac*. Boletín, Serie “C”: Geodinámica e Ingeniería Geológica; 08B, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima, 262 p.

IPU. Réduction des risques de catastrophes : Un instrument pour la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement. Trousse à outils de plaidoyer pour les parlementaires. Publicado por IPU con l'UNISDR. Geneva, Suiza, septiembre 2010.

Keefer d.k. (2002) - *Investigating landslides caused by earthquakes - a historical review*. Surveys in Geophysics, 23:573–510.

Núñez, s. y Vasquez, j. (2009) - *Zonas Críticas por Peligro Geológico en el Área de Lima Metropolitana (en línea)*. Primer Reporte. Informe Técnico. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 38 p.  
[http://www.ingemmet.gob.pe/Documentos/Geologia/ZonasCríticas/Regiones/ZONAS\\_CRITICAS\\_LI MA.pdf](http://www.ingemmet.gob.pe/Documentos/Geologia/ZonasCríticas/Regiones/ZONAS_CRITICAS_LI MA.pdf).

Pérez, a. (1979) - *Estudio geodinámico-geotécnico de la cuenca del río Chillón*, Ingemmet, 98 p.

Perfettini, h.; Avouac, j.p.; Tavera, h.; Kositsky, a.; Nocquet, j.m.; Bondoux, f.; Chlieh, m.; Sladen, a.; Audin, l.; Farber, d.l. y otros (2010) - *Seismic and aseismic slip on the Central Peru megathrust*. Nature, 465(7294).

Tavera, h. y Bernal, i. (2005) - *Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú*. Volumen especial n°6 Alberto Giesecke Matto, Sociedad Geológica del Perú, pp. 89-102.

Villacorta, s.; Núñez, s.; Pari, w.; Benavente, c. y Fidel, l. (2012) - *Geología, Geomorfología, Peligros Geológicos y Características Ingeniero Geológicas del Área de Lima Metropolitana y la región Callao*. Boletín Serie C. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Inédito.