

MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO

SUCCEPTIBILITY BY MASS MOVEMENT IN METROPOLITAN LIMA AND THE CALLAO

Sandra Villacorta⁽¹⁾, Segundo Núñez⁽¹⁾, Christian Obregón⁽²⁾ & Lucile Tatard⁽³⁾

RECIBIDO: 01/06/2014 – APROBADO: 21/06/2014

RESUMEN

Se presentan los resultados de la evaluación geológico-geodinámica y el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa que constituyen riesgos potenciales para Lima Metropolitana y el Callao. Ello involucra la caracterización y el inventario de procesos de geodinámica superficial, realizados por el INGEMMET entre los años 1970 y 2011, los que han permitido identificar las zonas críticas vulnerables a estos fenómenos.

En el área de estudio, se han registrado un total de 848 peligros geológicos recientes y antiguos. Para ello, se recurrió a fuentes bibliográficas técnicas, herramientas de teledetección (fotografías aéreas e imágenes de satélite), así como del trabajo de campo para cartografiar y georreferenciar los procesos y representarlos en mapas temáticos mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG).

Para prevenir los posibles desastres por movimientos en masa en Lima Metropolitana y el Callao, es necesario evaluar al detalle las zonas críticas de muy alta susceptibilidad. En tal sentido, el mapa de susceptibilidad representa una herramienta clave en la toma de decisiones y contribuye considerablemente a la gestión del riesgo geológico de las regiones involucradas*.

Palabras clave: Peligros geológicos, susceptibilidad, prevención de desastres, Lima Metropolitana y el Callao.

ABSTRACT

The results of the geological and geodynamic assessment are presented. Besides analysis of landslide susceptibility is made which are of high potential risks to Metropolitan Lima and Callao. This involves the characterization and inventory of surface geodynamic processes, performed by the Geological Institute of Peru (INGEMMET) between 1970 and 2011, which have led us to identify the critical areas vulnerable to these surface geodynamic processes.

In the study area, there have been a total of 848 recent and ancient geological hazards. To do this, we have used technical literature sources, tools of remote sensing (aerial photographs and satellite images). A fieldwork was done as well, for mapping and geo-referencing processes and represent them in thematic maps using Geographic Information Systems (GIS).

To prevent potential landslide disasters in Lima and Callao Metropolitan is necessary to evaluate in detail the critical areas of high susceptibility. In this regard, the susceptibility map is a key tool in the decision making process and significantly contributes to the management of geological risk regions involved.

Keywords: Geological hazards, susceptibility, disaster prevention, Lima Metropolitana and the Callao.

* 1. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Perú. E-mail: svillacorta@ingemmet.gob.pe
 2. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. E-mail: christian.obregon.mtm@gmail.com
 3. ISTerre - OSUG - Universidad de Grenoble, Francia. E-mail: [lucile.tatard@ujf-grenoble.fr](mailto: lucile.tatard@ujf-grenoble.fr)

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como parte de su Programa Nacional de Riesgos Geológicos, desarrolló entre los años 2007 y 2011 el proyecto titulado: "GA11: Geología, Geomorfología y Peligros Geológicos de Lima Metropolitana y el Callao". Dicho proyecto encontraba su justificación al no existir mapas de peligrosidad de Lima Metropolitana y el Callao, a una escala apropiada que permitan su inclusión dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y en las medidas de prevención frente a desastres de origen geológico.

El objetivo principal de este estudio ha sido contribuir con información geológica a la prevención de desastres en Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao. Para ello, se realizó un trabajo sistemático, que ha permitido recopilar datos in situ de los procesos geodinámicos (inventario de peligros geológicos) para su representación temática mediante mapas de susceptibilidad.

II. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el Proyecto GA11, se sistematizó la información proveniente del análisis de imágenes de satélite Google Earth y fotografías aéreas del año 1970, a escala 1:40,000. Sobre un total de 31 hojas topográficas a escala 1/25,000 se cartografiaron contactos litológicos, fallas, fracturas y áreas afectadas por peligros geológicos, datos hidrometeorológicos, y otras cuestiones relevantes de interés.

Gran parte del área de Lima Metropolitana y el Callao está cubierta por viviendas y obras de desarrollo urbano de difícil acceso, que dificultan la elaboración del cartografiado geológico-geodinámico. Por este motivo, los movimientos en masa fotointerpretados han sido posteriormente comprobados en campo. En el año 2002, 2003 y 2008 se desarrollaron trabajos de campo para cartografiar e inventariar los sitios seleccionados de las imágenes y fotos aéreas. Este trabajo ha permitido actualizar el inventario del Programa Nacional de Riesgos Geológicos para ese sector (Fidel et al, 2006). Los datos recopilados por el proyecto GA11 (848 procesos inventariados) clasificaron a los eventos en función de su tipología y actividad.

Estos se integraron en un SIG para su utilización posterior en el análisis geoespacial del área (Figura N° 1).

El desglose de los 848 peligros geológicos incluye 718 movimientos en masa y 130 eventos hidrometeorológicos (inundaciones y erosión fluvial). De estos procesos 285 son relativamente jóvenes (ocurridos entre 2000 y 2010) y el resto es de actividad anterior al año 2000 (545). El inventario sugiere que en el área de estudio son más frecuentes las caídas de rocas (47% del total de procesos inventariados) y los flujos de lodo (36%) (Figura N° 1). En menor cantidad destacan por los daños que generan los fenómenos de inundación, arenamiento, erosión y hundimiento (que suman en conjunto un 17 % del total).

III. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Origen y características de los procesos evaluados

Los peligros geológicos de mayor incidencia en Lima Metropolitana y el Callao están relacionados a procesos fluviales y gravitatorios detonados por tres causas principales: actividad antrópica, precipitaciones pluviales y eventos sísmicos.

Eventos de caídas de rocas en distritos como Comas, Independencia, San Juan de Lurigancho, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo y el Rímac habrían sido detonados por causas antrópicas, como la construcción de viviendas, carreteras, entre otras; sin considerar la estabilidad de los afloramientos rocosos, ni el ángulo de reposo natural de los taludes. Uno de los casos más notorios es el de La Rinconada, en Villa María del Triunfo, donde alrededor de 1,900 personas viven en zonas propensas a las caídas de rocas. Otro caso emblemático sucede en Morales Duárez (Callao), aquí las viviendas construidas sobre las terrazas fluviales del río Rímac están en peligro de colapsar, debido a la erosión fluvial de los materiales inconsolidados que las conforman en tiempos de crecidas del río Rímac (Figura N° 2).

De otro lado, eventos excepcionales de flujos de detritos y de lodo habrían sido detonados por lluvias excepcionales, como las originadas por el Fenómeno ENSO. Estos procesos han afectado algunas quebradas actualmente sin actividad, como Huaycoloro y Media Luna (San Juan de Lurigancho); Huaycán, Cantuta, Quirio y Pedregal (Chosica); Collique y Progreso (Comas), entre otras.

La naturaleza y las características de los movimientos en masa están condicionadas por la actividad tectónica asociada al levantamiento de la Cordillera de los Andes. Asimismo, la localización geográfica del área evaluada, frente a la zona de subducción de la Placa de Nazca bajo de la Placa Sudamericana, la asocia con una alta probabilidad de que ocurran eventos sísmicos con magnitud mayor de ocho ($ML > 8.0$) en la escala Richter. Considerándose la sismicidad como factor detonante de los procesos en remoción en masa.

En relación con los materiales a los que se asocian los procesos identificados, la mayoría de peligros geológicos está principalmente relacionada a depósitos inconsolidados de edades Pleistocena y Holocena y a las rocas intrusivas del batolito de la costa (Cretácico superior- Paleógeno). Tal es el caso, para los primeros, de los materiales que constituyen las dumas eólicas de Villa El Salvador, que presentan una baja compactación y propensión a la licuación. En el segundo, de las rocas intrusivas con alto grado de fracturamiento y meteorización, que las hace propensas a generar caídas y/o desprendimientos de rocas.

3.2. Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa

La evaluación de la susceptibilidad se realizó en función del modelo heurístico multivariado. El fundamento del método lo constituye la superposición de capas temáticas (Carrara et al., 1995; Laín et al., 2005) de los principales factores que determinan la ocurrencia de los movimientos en masa (factores condicionantes). Ello implica el análisis cruzado de mapas de entrada y operaciones de geoprocésamiento SIG en formato ráster (Villacorta et al., 2012). El análisis SIG se realizó con el uso del software ArcGIS de ESRI, en su versión 10.0, incorporando las variables mostradas en la tabla N° 1. A cada variable considerada, se le asignó un peso ponderado en relación con la ocurrencia de movimientos en masa en la región, según la opinión de expertos.

El modelo de susceptibilidad generado (Figura N° 02) constituye el primer mapa de este tipo para Lima Metropolitana y el Callao a escala 1: 500,000. El mapa muestra cinco niveles de intensidad: muy baja, baja, media, alta y muy alta. En síntesis, indica que las zonas con mayor probabilidad para la ocurrencia de movimientos en masa se distribuyen al este de Lima Metropolitana, principalmente relacionado con las laderas inestables de las estribaciones del batolito de la costa. De esta forma, el mapa permite priorizar y definir áreas donde se deben realizar investigaciones en escalas mayores y proporciona instrumentos de análisis a las instituciones encargadas de la ordenación del territorio, la planificación urbanística y la gestión de los riesgos que afectan a la población y sus actividades económicas.

Tatard et al. (2012) adicionalmente analizaron estadísticamente los datos del inventario para relacionarlos con la altitud y la pendiente de la región de Lima Metropolitana y el Callao. Sus resultados muestran que los flujos de detritos y de lodo ocurren a mayor altitud que las caídas de rocas. En las Figuras N° 4 y 5 se muestra el área y número de movimientos en masa en las cinco categorías de susceptibilidad. De ellos se puede inferir que el 38% de los movimientos en masa en Lima Metropolitana y el Callao se encuentran dentro de dos clases de susceptibilidad más altas, con una superficie de 33%, y el 15% de los eventos registrados están presentes en parte de la zona de estudio atribuida a la clase de susceptibilidad más baja (24%).

IV. ALCANCES, RELEVANCIA Y APORTES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación ha generado mapas de peligros y de susceptibilidad a los movimientos en masa de Lima Metropolitana y el Callao. No se ha evaluado el riesgo que los procesos analizados implican para la población y sus actividades económicas, porque se ha considerado que es una tarea multidisciplinaria que compete a otras instituciones. Sin embargo, la metodología de identificación de zonas críticas es una contribución que podrá servir para el análisis de riesgos a escala regional.

Tabla N° 1. Criterios espaciales utilizados en el modelo de susceptibilidad por movimientos en masa para Lima Metropolitana y el Callao.

Parámetro	Fuente	Escala	Resolución	Clases (**)
Pendiente	IGN	1:25000	25x25m	5
Litología	INGEMMET	1:50000	Vector	14
Cartografía de deslizamientos (*)	INGEMMET (2007-2011)	1:25000	Vector	4
Uso de suelo y cobertura vegetal	INRENA (1995)	1:50000	Vector	5
Hidrogeología (lito permeabilidades)	INGEMMET	1:50000	Vector	6

(*) Considera desde la zona de arranque hasta el máximo alcance de los depósitos.

(**) El número de clases es resultado de la reclasificación.

Los mapas y el inventario proporcionan información fiable para los modelos de susceptibilidad a los movimientos en masa, con diversas ventajas. El método es sencillo de aplicar, el procesamiento de datos espaciales requiere un tiempo relativamente breve y es útil para una eficiente toma de decisiones. Además, la estandarización de las bases de datos para realizar el análisis geoespacial ha permitido optimizar los resultados de los modelos de susceptibilidad a los movimientos en masa. No obstante, el método también tiene una desventaja: requiere datos más precisos para trabajar en escalas de detalle. En estos casos es recomendable realizar estudios específicos de las zonas críticas, incluyendo análisis de frecuencias, especialmente los periodos de retorno de los peligros geológicos detonados por lluvias intensas y fuertes sismos. Para rentabilizar la investigación, es preciso aumentar el detalle de la escala de análisis, aunque sea menor la escala de la presentación final de los resultados. El perfil de los encargados de aplicar la metodología debe incluir amplio criterio geológico, experiencia en cartografía y estadística y suficiente dominio de software SIG.

Los resultados de este tipo de estudios deben ser útiles para el ordenamiento territorial. En este sentido, es importante señalar que la evaluación de los peligros geológicos no solo incluye analizar la peligrosidad, sino también las causas de la vulnerabilidad de la población.

Alcanzar ese objetivo necesita un esfuerzo interdisciplinario, la implicación de diferentes actores y el apoyo de especialistas nacionales e internacionales. Se espera que los resultados obtenidos incentiven el trabajo coordinado de las instituciones encargadas de la prevención de desastres en Lima Metropolitana y el Callao.

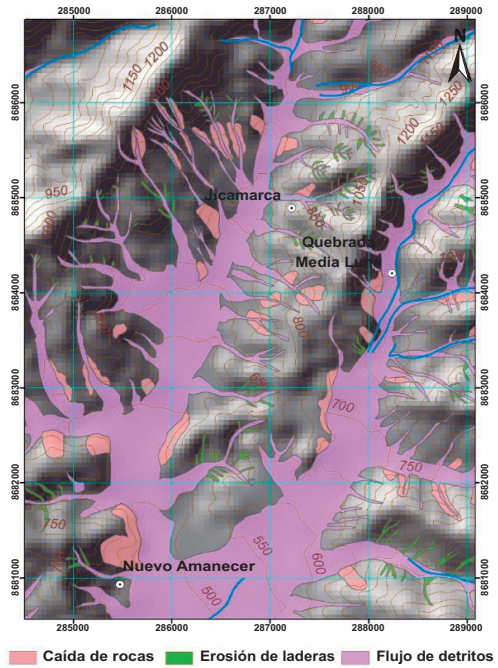


Figura N° 1. Flujos de detritos, caídas de rocas por gravedad y cárcavas, identificadas en imágenes satelitales y confirmadas por trabajos de campo en las quebradas Jicamarca y Media Luna (San Juan de Lurigancho).



Figura N° 2. Viviendas ante eminente colapso debido a la erosión lateral del río Rímac en el tramo próximo al Puente del Ejército (Villacorta et al.) 2014).

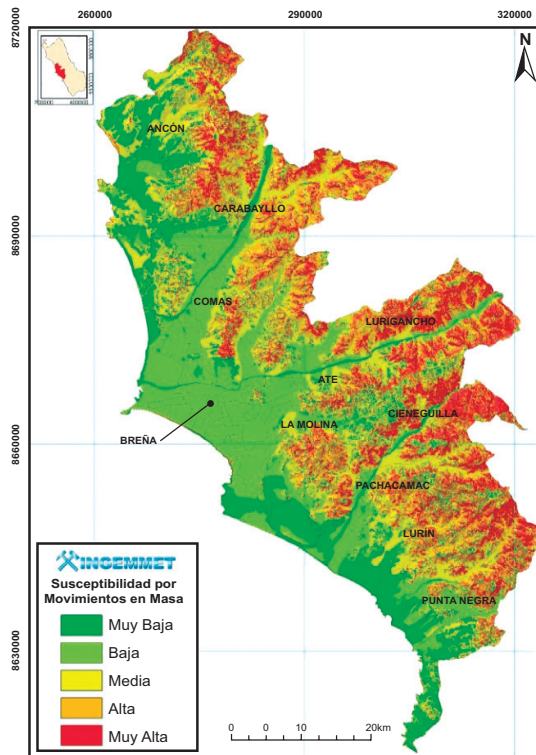
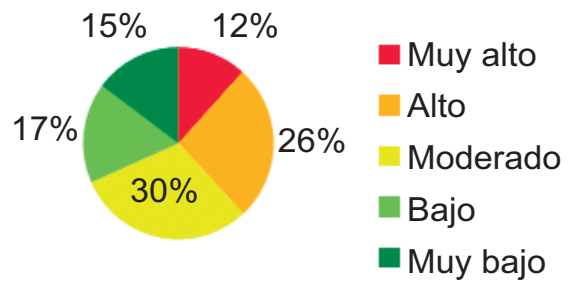
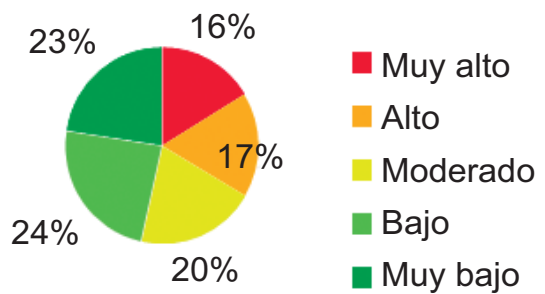


Figura N° 3. Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de Lima Metropolitana y el Callao (Villacorta et al., 2014). En rojo: las zonas de arranque más susceptibles por movimientos en masa. En amarillo: sectores sensibles a los depósitos de los huaycos detonados por lluvias excepcionales (ENSO).

N° EVENTOS



ÁREA %



Figuras N° 4 y N° 5. Superficie total y frecuencia de movimientos en masa en los cinco niveles de susceptibilidad.

4.1. Zonas críticas por movimientos en masa

El mapa ha permitido identificar áreas vulnerables a los procesos descritos (81 zonas críticas). Dichos sectores son potencialmente susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa y necesitan de estudios a detalle. Esto permitirá diseñar y ejecutar obras de prevención y/o mitigación (Fidel et al., 2006). Además, es necesario monitorear los movimientos en masa activos, principalmente en las zonas más vulnerables, como las quebradas La Cantuta y Quirio (Chosica), La Rinconada (VMT), la Costa Verde, la quebrada Huaycoloro (S JL), donde no existen estudios específicos de riesgo.

Es importante destacar que el 36% de la población de Lima Metropolitana vive en laderas inestables (MCLCP, 2007). Madera, esteras y, en menor cantidad, quincha y adobe son los materiales empleados para la construcción de sus viviendas. Este es un importante factor de vulnerabilidad física, por lo que las construcciones son estructuralmente endebles y es muy probable su colapso ante precipitaciones diarias de 10-15 mm, registrados en episodios de lluvia excepcional por el fenómeno ENSO (Capel, 1999).

Bajo esas condiciones, precipitaciones moderadas pueden generar elevados caudales en la escorrentía, que fluye por las laderas, sin encauzarse, alimentando un flujo turbulento con alta capacidad de erosión y transporte (los huaycos). De este modo, la litología, el clima (en escalas de decenas de años) y la meteorología (precipitación en un solo día) pueden desencadenar desastres. Algunos ejemplos notables de huaycos sucedieron en Chosica durante los años 1982, 1983, 1998 y 2012, que provocaron importantes pérdidas humanas y materiales. En todas las quebradas que cruzan Chosica y Ricardo Palma se encuentran viviendas que fueron construidas sin el debido conocimiento, por parte de la población, de las zonas de riesgo geológico.

V. CONCLUSIONES & RECOMENDACIONES

1. El mapa de susceptibilidad representa una herramienta cartográfica fundamental en la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) de Lima Metropolitana y la región Callao.
2. Hasta el presente se han inventariado 848 peligros geológicos e hidrometeorológicos.
3. Se han identificado 102 zonas críticas, con alta susceptibilidad frente a tales procesos.
4. En la mayoría de los asentamientos humanos de Lima Metropolitana y el Callao, el factor de riesgo principal es el tipo de material empleado para la construcción de viviendas, que podrían derrumbarse cuando sucedan precipitaciones excepcionales (p.e. durante el evento ENSO).
5. Es necesario realizar obras de prevención y/o remediación, o reubicación de viviendas, de sectores inestables de la margen izquierda del río Rímac, a la altura del puente del Ejército, Carabaylo (Torre Blanca, Punchauca, Progreso, Nueva Unión, Los

Ángeles de Carabaylo, quebrada Progreso), Comas (Collique 8va zona, La Merced, 2 de Mayo, Cerro Sinaí, Integral 2000, Cristo Rey), Independencia (Ermitaño, Paraíso, Vista Alegre), San Juan de Lurigancho (Zárate, Mangamarca, Caja de Agua, Canto Chico, quebradas Media Luna, Jicamarca), San Juan de Miraflores (El Mirador, Villa Los Ángeles, Nueva Rinconada), Villa María del Triunfo (Alberto Fujimori, cerro Conchita, El Arbolito, Rinconada, Manchay Bajo), Chosica (quebradas Huaycoloro, Vizcachera, Tensiómetro, La Cantuta, La Ronda, California, Santa María, Libertad y Pedregal), Villa El Salvador (Lomo de Corvina), entre otros.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. En: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds). Netherlands, pp. 135-175.
2. Capel, J. (1999). Lima, un clima de desierto litoral. Anales de geografía de la universidad complutense. Madrid. 19 pp. 25-45.
3. IMP: Instituto Metropolitano de Planificación (2008) - Atlas Ambiental de Lima Metropolitana, Lima, Perú, 157 pp.
4. INRENA (1995). Guía Explicativa del Mapa Forestal. Lima
5. 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.
6. Mesa de Concertación para la Lucha contra la Pobreza (MCLCP), (2007). Lima Metropolitana. Balance de la lucha contra la Pobreza: el rol de la Mesa de Concertación. 40 pp. Lima.
7. Tatard, L., Villacorta, S. Metzger, P., Berthelie, P. (2012) - Análisis de la susceptibilidad por movimientos en masa en Lima Metropolitana: un desafío metodológico. Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, PE, 23-26 setiembre 2012, Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú 2012, 6 p.
8. Villacorta, S., Fidel, L., Zavala, B. (2012). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 69 (3): 393-399.
9. Villacorta, S.; Núñez, S.; Benavente, C., Pari, W.; Fidel, L. (2014). Peligros Geológicos en el Área de Lima Metropolitana y la región Callao. Boletín 59, Serie C. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. En edición.