

SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DETERMINACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO

Sandra Villacorta (1), Segundo Nuñez (1), & Lucile Tatar (2), Christian Obregon (3)

1: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Perú.
2: ISTerre - OSUG – Universidad de Grenoble, Francia
3: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

RESUMEN

Se presentan los resultados de la evaluación geológica – geodinámica y el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa que constituyen riesgos potenciales para Lima Metropolitana y El Callao. Ello involucra la caracterización e inventario de dichos procesos realizados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico entre los años 1970 y 2011, los que han permitido identificar las zonas críticas vulnerables a estos fenómenos.

En el área de estudio, se ha registrado 721 eventos de movimientos en masa recientes y antiguos utilizando fuentes bibliográficas técnicas, herramientas de teledetección (fotografías aéreas e imágenes de satélite) y trabajo de campo.

Mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica, se ha elaborado el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, información clave y orientadora en la toma de decisiones para la prevención, mitigación y que contribuye considerablemente en la gestión del riesgo de desastres. Para la ejecución de obras de prevención que ayuden a prevenir posibles desastres por movimientos en masa que podrían presentarse en Lima Metropolitana y El Callao, es necesario evaluar a detalle las zonas vulnerables ubicadas en áreas de alta y muy alta susceptibilidad.

Palabras Claves: peligros geológicos, susceptibilidad, prevención de desastres, Lima Metropolitana y El Callao.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como parte de sus investigaciones en el 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 se sustentó en la ausencia de mapas de peligrosidad para el área de Lima Metropolitana y El Callao, a una escala apropiada que permita su inclusión dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial y en las medidas de prevención frente a desastres de origen geológico de la ciudad capital.

El objetivo principal de este estudio ha sido el de contribuir con información geológica a la prevención de desastres en Lima. 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, así como el análisis de zonas críticas identificadas en campo y su relación espacial en el mapa resultante.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y CLIMÁTICAS

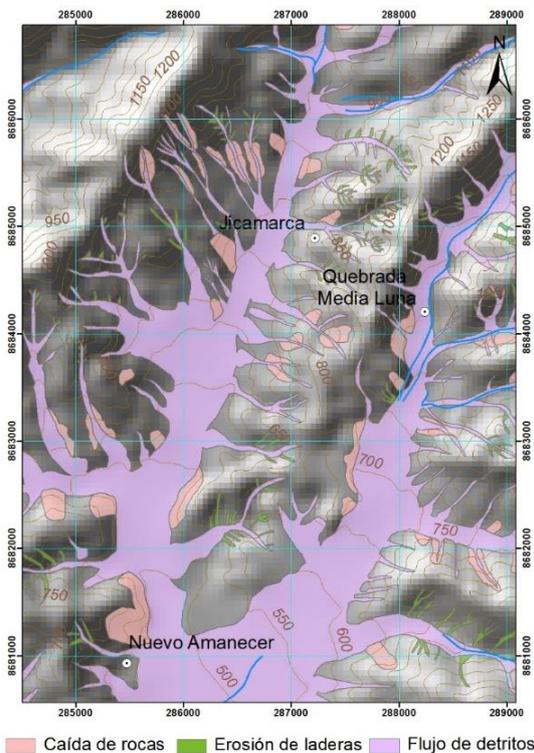
En el territorio de Lima Metropolitana y El Callao se distinguen unidades litológicas con edades comprendidas entre el Jurásico superior (de hace 154-135 Ma) y el Pleistoceno (de hace 1.7 Ma). Las rocas más antiguas afloran en los relieves relictos (Morro Solar, cerros: El Pino, Mulería, Oquendo, entre otros) como resultado del encajamiento de la red de drenaje en las primeras estribaciones andinas. Los materiales más recientes conforman el relleno de los fondos de valle y las planicies que descienden hacia la costa del océano Pacífico, en donde la erosión marina ha originado los acantilados de la Costa Verde.

La localización geográfica frente a la zona de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana asocia a este territorio con una alta probabilidad de que ocurran eventos sísmicos con magnitud mayor a ocho ($ML > 8.0$) en la escala Richter; considerándose a la sismicidad como uno de los factores detonantes de las caídas y derrumbes en el área de estudio (Tatar et al, 2012). Tales procesos son los registrados en mayor cantidad en el inventario efectuado (Gráfico 1).

Entre las formas de relieve recientes destacan los depósitos de flujos (de detritos y lodo), o las dunas y otras formas de sedimentación eólica que recubren amplios sectores del paisaje limeño en escalas de detalle. También se observan formas antiguas como los relieves aislados (inselbergs), alineaciones montañosas y los abanicos fluviales sobre los que se asienta la ciudad. En conjunto indican condiciones climáticas pasadas áridas o semiáridas y la excavación del territorio y su relleno posterior por los materiales arrastrados por los ríos Chillón, Rímac y Lurín.

Lima Metropolitana y El Callao se encuentran en un dominio geomorfológico hiperárido, cuya principal característica es la escasez de precipitaciones y por lo tanto la total ausencia de vegetación en las vertientes. Bajo esas condiciones, precipitaciones moderadas pueden generar elevados caudales en la escorrentía, que fluye por las laderas sin encauzarse alimentando flujos de detritos con alta capacidad de erosión y transporte. De este modo, la litología, el clima (en escalas de decenas de años) y la meteorología (precipitación en un solo día) pueden desencadenar eventos destructivos que a pesar de tener periodos de recurrencia muy largos (aún no evaluados) quedan registrados por los daños que pueden causar.

ADQUISICIÓN DE DATOS Y METODOLOGÍA

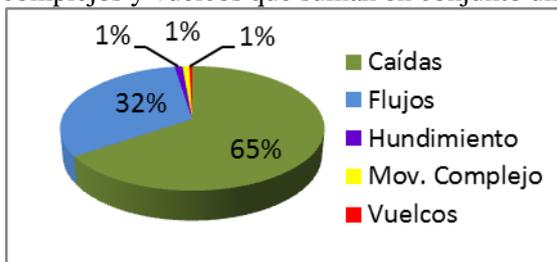


Se sistematizó la información proveniente de la información bibliográfica, del análisis de imágenes de satélite Google Earth y fotografías aéreas del año 1970, a escala 1:40,000. Sobre un total 31 hojas topográficas a escala 1/25 000. Se cartografiaron contactos litológicos, fallas, fracturas y áreas 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 que dificultaron el cartografiado. Los movimientos en masa foto interpretados y posteriormente comprobados en campo fueron estudiados entre los años 2002-2003 y 2008-2010. Los datos recopilados por el proyecto GA11 se clasificaron en función de su tipología y actividad. Estos se integraron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su utilización posterior en el análisis geoespacial del área (figura 1) con los diferentes parámetros condicionantes o factores intrínsecos que condicionan la susceptibilidad a los procesos mencionados.

Figura 1. Flujos de detritos, caídas de rocas por gravedad y cárcavas para la zona de las quebradas Jicamarca y Media Luna (San Juan de Lurigancho).

De los 721 movimientos en masa, 285 son procesos relativamente jóvenes (ocurridos entre el 2000 y 2010) y el resto de actividad anterior al año 2000 (436). A partir del inventario (Grafico 1) se puede apreciar que son más frecuentes las caídas de rocas (65% del total de procesos inventariados) y los flujos de lodo (32%). En menor cantidad destacan los eventos de hundimiento, movimientos complejos y vuelcos que suman en conjunto un 3 % del total.



Gráficos 1: Estadística de los movimientos en masa inventariados.

La evaluación de la susceptibilidad se realizó en base a un 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 movimientos en masa (factores condicionantes). Ello implica el análisis cruzado de mapas de entrada y operaciones de geoprocésamiento en formato ráster (Villacorta *et al.*, 2012). El análisis mediante SIG se realizó con el uso del software ArcGis de ESRI en su versión 10.0, incorporando las variables mostradas en la tabla 1. A cada variable considerada se le asignó un peso ponderado en relación con la ocurrencia de los procesos evaluados, en base a la opinión de expertos.

Tabla 1. Parámetros 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 (litopermeabilidades)	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

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS EVALUADOS

Los peligros geológicos de mayor incidencia en Lima Metropolitana y El Callao están relacionados a procesos fluviales, hidro-gravitacionales y gravitacionales detonados por actividad antrópica, precipitaciones pluviales y eventos sísmicos. La actividad antrópica actúa tanto como condicionante y detonante.

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, tienen como detonante a causas como la apertura de taludes para la construcción de carreteras, sin considerar la estabilidad de los afloramientos rocosos, ni el ángulo de reposo natural de los taludes; entre otras. Uno de los casos más notorios de dichas prácticas es el de La Rinconada, en Villa María del Triunfo, donde alrededor de 2000 personas viven en zonas susceptibles al desprendimiento de bloques rocosos. Otro caso emblemático es el de la peleduna denominada “Lomo de Corvina” en Villa El Salvador donde viven miles de familias en construcciones precarias y expuestas a hundimientos, arenamientos y licuación de suelos.

De otro lado, eventos excepcionales de flujos de detritos y de lodo habrían sido detonados por lluvias excepcionales como las originadas por el Fenómeno El Niño Southern Oscillation (ENSO) de 1982-83 y 1997-98 que activaron algunas quebradas normalmente sin actividad como Huaycoloro y Media Luna (San Juan de Lurigancho); Huaycán, Cantuta, Quirio y Pedregal (Chosica) Collique y Progreso (Comas).

Otros eventos climáticos anómalos habrían sido causantes de los notables procesos ocurridos en temporadas de lluvias “normales” por ejemplo en el 2002 en Media Luna y en Chosica el 2012 con daños importantes en vidas humanas y materiales. En muchas de las quebradas que cruzan Chosica y Ricardo Palma (ambas márgenes) se encuentran urbanizaciones y condominios que ocupan zonas susceptibles a flujos los cuales fueron construidos sin considerar la susceptibilidad a estos procesos.

En relación a 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; a rocas intrusivas del Batolito de la Costa (Cretácico superior- Paleógeno). Tal es el caso, para los primeros, de los materiales que constituyen las dunas eólicas de Villa El Salvador, que presentan una baja compacidad 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 por gravedad o a consecuencia de movimientos sísmicos.

PRINCIPALES MOVIMIENTOS EN MASA HISTÓRICOS EN LIMA METROPOLITANA Y EL CALLAO

Lugar	Tipo	Fecha	Condicionantes principales/detonantes
Carapunguillo, Tensómetro, Quirio - Pedregal, Santo Domingo - La Cantuta, Libertad, La Ronda, Santa Maria, California (Lurigancho)	Flujo de detritos, flujo de lodo	1983, 1987, 1998, 2012	Lluvias excepcionales
Huaycoloro, Media Luna (San Juan de Lurigancho)	Flujo de detritos	2002	Lluvias excepcionales
AAHH Rinconada, Fujimori, Jose Gálvez, 12 de Junio (Villa María del Triunfo)	Derrumbes, caídas de rocas, colapsos	2007	Sismicidad, pendiente, material suelto en laderas
Tambo Inga, Pampa Flores, Qda. Golondrina (Pachacamác)	Flujo de detritos	1998	Lluvias excepcionales
Huaycán, Pariachi, Gloria (Ate Vitarte)	Flujo de detritos	1983, 1998, 2002,	Lluvias excepcionales
Cerros El Agustino y San Pedro (El Agustino)	Hundimiento	1996, 2003	Excavaciones antrópicas (antiguos socavones mineros), sismicidad
Quebrada Los Cóndores (Chaclacayo)	Flujo de detritos	1983, 1998 y 2012.	Lluvias excepcionales
Collique (Comas)	Flujo de lodo	1962, 202, 2010	Lluvias excepcionales
Acantilados de La Costa Verde	Desprendimiento, derrumbe, hundimiento	1995, 2002, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014	Naturaleza del depósito que los conforma, vibraciones, sismicidad

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

El modelo de susceptibilidad generado (figura 2) constituye el primero a escala 1: 50 0000 para Lima Metropolitana y EL Callao. Muestra cinco niveles o grados de susceptibilidad por movimientos en masa: muy baja, baja, media, alta y muy alta. En síntesis, indica que las zonas con mayor probabilidad para la ocurrencia de dichos procesos, se distribuyen al Este de Lima Metropolitana, principalmente relacionadas con las laderas inestables de las estribaciones del Batolito de la Costa en los distritos de Ancón, Carabayllo, Comas, Independencia, San Juan de Lurigancho, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, El Rímac, Chaclacayo, Cieneguilla, Pachacamác, Lurín, Punta hermosa y Punta Negra.

En los gráficos 2 y 3 se muestra el área y número de movimientos en masa en las cinco categorías de susceptibilidad donde se destaca que el 38% de procesos de este tipo en Lima Metropolitana y El Callao se encuentran en terrenos de susceptibilidad alta y muy altas ocupando de 33 % del territorio, y el 15% de los eventos registrados corresponden a susceptibilidad muy baja (24%).

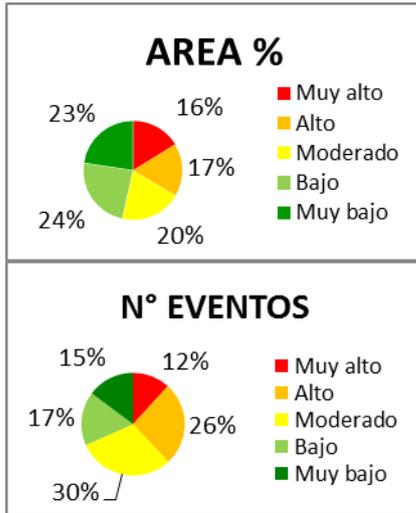
ZONAS CRÍTICAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

El mapa generado se ha contrastado con otros de la distribución de viviendas e infraestructura, identificando 81 áreas vulnerables a los procesos descritos validándose con información de campo. Dichos sectores (figura 2) tienen el potencial de generar desastres y se necesitan estudios al detalle para el diseño y ejecución de obras de prevención y/o mitigación. 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 (Villa María del Triunfo), la Costa Verde, la quebrada Huaycoloro (San Juan de Lurigancho), donde no existen estudios específicos de riesgo.

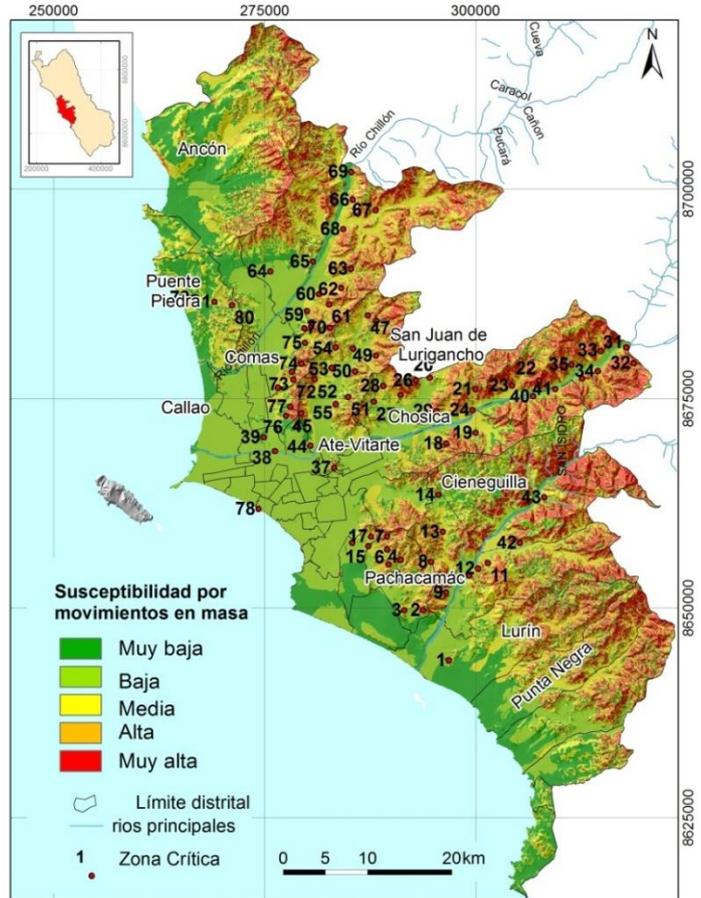
Es importante destacar que el 36 % de la población de Lima Metropolitana vive en laderas inestables (MCLCP, 2007). Siendo el material empleado para la construcción de sus viviendas: madera, esteras y en menor cantidad quincha y adobe. Esto es un importante factor de vulnerabilidad física y es muy

probable su colapso ante precipitaciones diarias mayores a los 10 mm, como se registró en episodios de lluvia excepcional asociados al fenómeno ENSO (Capel, 1999).

Figura 2. Susceptibilidad por movimientos en masa y zonas críticas a estos procesos en Lima Metropolitana y El Callao (Villacorta et al, 2014). En rojo: las zonas más susceptibles por movimientos en masa. En amarillo: sectores correspondientes a los depósitos de los flujos detonados por lluvias excepcionales.



Gráficos 2 y 3: Superficie total y frecuencia de movimientos en masa en los cinco niveles de susceptibilidad.



CONCLUSIONES & RECOMENDACIONES

- Hasta el presente se han inventariado 721 eventos de movimientos en masa.
- Se han identificado 81 zonas críticas, con alta susceptibilidad frente a tales procesos.
- Es necesario evaluar a detalle las zonas vulnerables ubicadas en áreas de alta y muy alta susceptibilidad, identificados como zonas críticas en el presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. 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.
2. Capel, J. (1999). Lima, un clima de desierto litoral. Anales de geografía de la universidad complutense. Madrid. 19 pag. 25-45.
3. INRENA (1995). Guía Explicativa del Mapa Forestal. Lima
4. 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.
5. 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.
6. Tatar, L., Villacorta, S. Metzger, P., Bertheliet, 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.
7. 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.
8. 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.