

EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA:
UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL TERRITORIO

Christian Obregón¹ & Julio Lara²

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo mostrar la importancia del Mapa de Susceptibilidad a MM, como herramienta para la planificación territorial, prevención y mitigación de riesgos. Para ello, se muestra como ejemplo la evaluación geodinámica del sector alto de la quebrada El Paraíso – Villa María del Triunfo (Lima – Perú).

El trabajo consistió de dos fases: en la primera (campo) se identificaron las características intrínsecas de geología y geomorfología. La segunda (gabinete), comprendió la elaboración del mapa de susceptibilidad aplicando el modelo heurístico multivariado que consiste en la superposición de mapas de variables (Carrara *et al.* 1995; Laín *et al.* 2005), desarrollado en un entorno SIG a través del álgebra de capas (operaciones de geoprocetamiento).

Los resultados del mapa de susceptibilidad de manera general, nos presentan información geocientífica que contribuirá con el ordenamiento territorial (OT); y de manera puntual, con el desarrollo de estudios específicos, medidas de prevención y/o mitigación para asegurar la estabilidad física de las áreas críticas identificadas.

Palabras clave: peligros geológicos, movimientos en masa, modelo heurístico, susceptibilidad, ordenamiento territorial.

Landslide Susceptibility Map: A tool for sustainable land management

ABSTRACT

This study aims to show the importance of Landslide Susceptibility Map as a tool for land use planning, prevention and risk mitigation. This will be shown through MM evaluation processes affecting high sector of El Paraíso gorge - Villa María del Triunfo (Lima - Peru).

The work consisted of two phases: in the first one (field) the intrinsic characteristics of geology and geomorphology were identified. The second one, included the Landslide Susceptibility Map generation, using the multivariate Heuristic Model consisting of overlapping

¹ Knight Piésold Consulting. Telf. 202-3777 anexo 292 / cel. 988468945. Correo electrónico: cobregon@knightpiesold.com

² Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Telf. 618-9800 anexo 150 / cel. 990238459. Correo electrónico: jlara@ingemmet.gob.pe

maps variables (Carrara *et al.* 1995, Lain *et al.* 2005), developed in a GIS environment through algebra layer (geoprocessing operations).

The results of Landslide Susceptibility Map in general, give us geoscience information that will contribute to land management, and in a timely manner, with the development of specific studies, prevention and / or mitigation measures to ensure the physical stability of identified critical areas.

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

INTRODUCCIÓN

El territorio peruano, debido a su ubicación geográfica, es una de las zonas más inestables del continente sudamericano, 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 (Villacorta *et al.*, 2012). Asimismo, las tendencias de expansión urbana, procedente de la migración rural a la capital (Lima), han traído como consecuencia asentamientos no legales (invasiones, ocupaciones graduales, alquileres subestándar) emplazados, por ejemplo, en los arenales de la periferia urbana (como en Villa El Salvador), o en las quebradas de las estribaciones andinas (como es el caso de Villa María del Triunfo).

1. OBJETIVOS

- Mostrar la importancia del mapa de susceptibilidad como instrumento de planificación y ordenamiento territorial.
- Identificar cualitativamente los peligros geológicos que afectan al sector alto de la quebrada El Paraíso de Villa María del Triunfo (Lima).
- Zonificar el área de estudio en zonas críticas o susceptibles a la ocurrencia de los peligros geológicos identificados.

2. ALGUNAS DEFINICIONES

- **Riesgo.** Es la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino en un área específica (Varnes, 1984). Esta definición se expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro, Vulnerabilidad, Exposición})$$
$$R = f(P, V, E)$$

- **Peligro o amenaza.** Se trata del fenómeno natural en análisis, caracterizado por una probabilidad de recurrencia, magnitud e intensidad de manifestación determinada, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios, y el ambiente (Burton, 1978). También se usa el término «peligro» (*hazard*, en inglés) como sinónimo.
- **Vulnerabilidad.** Es el grado de pérdida (0 a 100%) como resultado de un fenómeno potencialmente dañino (UNDRO, 1979). El concepto de vulnerabilidad abarca los siguientes aspectos: a) las condiciones físicas peligrosas, es decir el grado de exposición al peligro; b) las condiciones socioeconómicas, es decir, las relaciones sociales de producción, y c) la capacidad de recuperación individual o general de la sociedad afectada.
- **Factores condicionantes.** Se refiere a los factores intrínsecos del sistema, que caracterizan de una manera propia el área sobre los que una amenaza puede actuar. Estos son los que en mayor medida determinaran la evolución de un cierto fenómeno que vaya a suceder sobre el terreno.
- **Factores desencadenantes.** Son aquellos parámetros externos al sistema que producen la generación del fenómeno. Estos factores actúan como detonante de la amenaza. En el caso de los movimientos de ladera se consideran los sismos y las lluvias como principales detonadores.

3. 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 MM (Ayala-Carcedo, 2002). Se entiende a este último como todo volumen de roca, suelo o una mezcla de ambos, que se moviliza lenta o rápidamente debido a la acción de la gravedad (por ejemplo, deslizamientos, derrumbes, desprendimientos, caídas de rocas, flujos de detritos, etc.).

La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación de los principales factores (intrínsecos) que contribuyen a la formación de MM. Los mapas de susceptibilidad se realizan a partir de datos cartográficos de tipo topográfico, geomorfológico, litológico, estructural, vegetación, uso de suelos y otros (Ayala-Carcedo, 2002). Estos parten del análisis de las condiciones actuales existentes de los MM, para, extrapolando los resultados de este análisis, confeccionar el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (MSMM).

Cabe destacar que los MSMM, si bien identifican áreas donde se puede generar potencialmente tales procesos, en ellos no figura la totalidad de zonas que pueden ser afectadas, ni predicen cuándo ocurrirán los procesos analizados (Ayala-Carcedo &

Alcina, 2002). Una de sus funciones más destacables es indicar las zonas donde se hace necesaria la realización de estudios específicos y con mayor detalle (áreas críticas). Sin embargo, debe considerarse que los límites de susceptibilidad señalados son referenciales y no deben tomarse como valores absolutos (Fidel *et al.*, 2010).

4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MM

Existen diversas metodologías para abordar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera, y para el presente estudio el modelo elegido ha sido el método de combinación de mapa de factores (método heurístico).

Este es un método cualitativo basado en la superposición de capas de variables (Carrara *et al.*, 1995; Laín *et al.*, 2005). El fundamento del método lo constituye el análisis cruzado de mapa de factores; para ello, se estima los coeficientes de ponderación de los factores (intrínsecos) causantes a la ocurrencia de movimientos de ladera.

De lo dicho anteriormente, se deduce que dichos los pesos de las variables dependen ampliamente del conocimiento y experiencia por parte de los investigadores que son los que deciden que parámetros son importantes a tomar en cuenta para la generación de movimientos de laderas, y qué pesos atribuirles. Dependiendo del nivel de detalle, se puede utilizar varios mapas de entrada, entre los cuales los más utilizados son: mapa geológico, geomorfológico, hidrogeológico, de pendientes, cobertura vegetal, uso de suelos, etc.

La metodología para la elaboración de estos mapas se desarrolla en un entorno GIS, la cual constituye una adecuada herramienta al permitirnos trabajar con el análisis cruzado de capas, a través de operaciones de geoprocésamiento en formato raster y la manipulación de sus atributos.

5. CASO DE ESTUDIO: QUEBRADA ALTA EL PARAÍSO – VMT

La zona seleccionada para el presente estudio, se circunscribe al asentamiento humano (AA.HH.) Edén del Manantial, en el sector José Carlos Mariátegui del distrito de Villa María de Triunfo (Lima). El AA.HH. se emplaza en el ápice de la quebrada El Paraíso (parte alta), con una extensión de 100 700 m². Se encuentra rodeada al norte, oeste y este por colinas y montañas; y por el sur colinda con el pueblo joven Paraíso Alto (Figura 1).

5.1. Hipótesis de estudio

La geodinámica superficial, junto con las características geológicas y geomorfológicas de la quebrada alta El Paraíso, propician condiciones para el desarrollo de peligros geológicos.



Figura 1. Vista panorámica de la quebrada El Paraíso – VMT. Se distinguen la zona alta, media y baja de la quebrada. Elaboración propia.

5.2. Metodología de trabajo

El trabajo de campo se llevó a cabo a fin de identificar las características geológicas y geomorfológicas de la zona, así como evaluar los factores condicionantes que propician el desarrollo de fenómenos de geodinámica superficial (caída de rocas, derrumbes y flujos de detritos).

La fase de gabinete comprendió la elaboración del Mapa de Susceptibilidad y para ello se aplicó el método de combinación de mapas de factores (método heurístico). Este se basa en ponderar la contribución de los factores (intrínsecos) causantes de la ocurrencia de movimientos de ladera, afín de delimitar las zonas más peligrosas. Esto se llevó a cabo en un entorno GIS, a través de operaciones matriciales y del álgebra de capas (operaciones de geoprocésamiento).

5.3. Geomorfología y geología del área de estudio

Regionalmente, los rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio son el resultado de procesos tectónicos y plutónicos sobreimpuestos por procesos de geodinámica externa, que han modelado los rasgos morfoestructurales de la región (Palacios, 1992).

Localmente, la geomorfología del área de estudio comprende las denominadas estribaciones bajas de los Andes occidentales, representados por una cadena de colinas y montañas modeladas en rocas intrusivas (Medina & Vásquez, 2007) que sobrepasan los 800 msnm (Figura 2), con laderas de media a moderada pendiente (25–45° de inclinación) que se encuentran disectadas por quebradas (caso de la quebrada El Paraíso).

En la quebrada alta El Paraíso se observan procesos de meteorización física (disyunción esferoidal) en cuerpos de roca ígnea que generan bloques sueltos e inestables (Figura 3). Además, gran parte del macizo rocoso se ve afectado por procesos de erosión diferencial que dan origen a oquedades, denominadas *taffonies*, en la superficie de roca expuesta (Núñez & Vásquez, 2009), observándose curiosamente afloramientos con geoformas caprichosas (Figura 4) producto del diferente grado e intensidad con que actúan los agentes geológicos erosivos (Figura 5). En las laderas intermedia y baja de estos cerros se pueden observar depresiones en donde se han acumulan fragmentos de rocas producto de sucesivos desprendimientos de las partes altas (cono de talud o canchales), y junto a estos, depósitos residuales de origen antrópico (Guerrero, 2006).



Figura 2. Afloramientos de rocas intrusivas (granodiorita) en la ladera oeste de la parte alta de la quebrada El Paraíso – Villa María del Triunfo (Lima)..

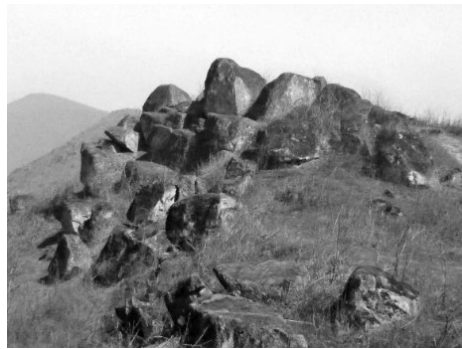


Figura 3. Erosión esferoidal de intrusivos, generando bloques de grandes dimensiones ladera arriba del AA.HH. Edén del Manantial – VMT.



Figura 4. Procesos de erosión diferencial, que da lugar a la geoforma denominada «taffoni».



Figura 5. Afloramientos de cuerpos intrusivos en formas caprichosas producto de la erosión diferencial.

Asimismo, de acuerdo a las características climáticas de la zona, con tasas pluviales relativamente bajas, los fenómenos de carcavamiento en las laderas no son muy desarrollados. Sin embargo, los procesos denudacionales se circunscriben a la generación de geoformas tipo escarpa de laderas.

En el contexto litológico, podemos mencionar que la mayoría de los afloramientos corresponden a rocas intrusivas del tipo granodioritas y dioritas (superunidad Patap) (Palacios *et al.*, 1992), las que tienen su dominio íntegro sobre la parte alta de la zona (Figura 6). Estructuralmente, estas rocas se encuentran fracturadas, afectadas por tres sistemas de juntas (diaclasas) definidas, las que son ortogonales entre sí (Figuras 7 y 8).

Sobreyacen a las rocas intrusivas, en la parte baja, depósitos aluviales pleistocénicos (Qp-al) y coluviales holocénicos (Qh-co). Sobre el primero de estos (Qp-al) están fundadas las viviendas del AA.HH. (Figura 9).



Figura 6. Disyunción esferoidal en cuerpos graníticos. Vista desde la cresta del cerro.



Figura 7. Cuerpos intrusivos con tres sistemas de juntas o diaclasas, que al ser meteorizados por los agentes geológicos (agua, viento) redondean los vértices.



Figura 8. Diaclasa o junta del macizo granítico. Este se clasifica como del tipo 'Junta abierta sin relleno'. Presenta una abertura de 8 cm.



Figura 9. Vista desde la parte media de la ladera del cerro. Se observa pendientes moderadamente inclinadas, sobre las cuales se asientan las viviendas.

5.3.1. Peligros geológicos

Los procesos de geodinámica superficial son aquellos que afectan a la superficie de la tierra y determinan su constante evolución morfológica (Santacana, 2001). Entre estos procesos geológicos tenemos a los MM, los cuales modifican la forma del terreno (Cruden, 1990) y se generan principalmente por la confluencia de factores condicionantes (intrínsecos) del terreno: litología, geomorfología, uso de tierras, pendiente, cobertura vegetal y drenaje; y de agentes detonantes como las precipitaciones (en algunos casos excepcionales o extremas), los movimientos sísmicos y la actividad antrópica (Chacón, 2012). A continuación se detallan los procesos de MM, que ocurren en el área de estudio.

5.3.2. Caída de rocas

En la quebrada alta El Paraíso, se observan rocas intrusivas que configuran una topografía abrupta de fuertes pendientes. Este macizo es afectado por procesos de meteorización física (disyunción esférica) que, junto a un control litoestructural (presencia de familias de diaclasas en rocas plutónicas), generan bloques sueltos, suspendidos en una ladera inestable (Figuras 10 y 11). Por esta razón, el área es susceptible a caídas de rocas frente a factores detonantes como: sismos, precipitaciones pluviales excepcionales o a la misma acción antrópica. Esto podría comprometer la seguridad física y humana de los lotes ubicados ladera abajo (Figura 12).



Figura 10. Caos de bloques graníticos, en estado suelto, presentes en la ladera del cerro. Estos representan potenciales riesgos geológicos, que podrían generar caídas de rocas.



Figura 11. Bloque granítico de dimensiones de 15 m x 10 m se encuentra en estado metaestable, ya que un evento sísmico y/o precipitaciones excepcionales, pueden desencadenar su inestabilidad y/o posterior caída pendiente abajo, afectando al AA.HH.



Figura 12. Se muestran bloques de rocas intrusivas (granodiorita) en la ladera alta de la quebrada El Paraíso. Estos representan el riesgo geológico principal, ya que podrían desprenderse bajo un escenario sísmico, generándose una caída de rocas, que posiblemente evolucione a un flujo de detritos (Movimiento en Masa Complejo) como resultado de los depósitos de derrubios en la ladera intermedia y baja.

5.3.3. *Flujos*

De forma más subordinada se tienen depósitos de fragmentos y bloques de roca caídos desde las partes superiores de la quebrada. Se caracterizan por estar constituidos de fragmentos detríticos, angulosos a subangulosos, sin matriz, inestables y sueltos (Figura 13). Estos se encuentran en las laderas intermedias y bajas de la zona. Se prevé que bajo un escenario sísmico de magnitud moderada y teniendo en cuenta las pendientes del terreno, estos depósitos puedan generar un flujo seco de detritos; asimismo frente a eventos hidrometeorológicos excepcionales (lluvias extremas), un flujo de detritos o huayco afectaría seriamente a la mayoría de lotes, teniendo presente la vulnerabilidad de estos (Indeci, 2010).

Muchos de los flujos han sido identificados en la zona alta y se han configurado por la acción gravitatoria debido a la pendiente de las laderas de los cerros. Estos presentan un estado de actividad: ‘activo’ para los flujos en avance con desarrollo lento y ‘suspendido’ para los depósitos de talud, ya que representan masas latentes a espera de su reactivación.

5.3.4. *Derrumbes*

La zona de estudio presenta altos índices de humedad, esto repercute en la disminución de la capacidad portante de los materiales que conforman los terraplenes sobre los que se asientan las viviendas (pircas). Estas estructuras carentes de cualquier tipo de amalgamación entre los bloques de roca que las conforman, podrían colapsar y originar derrumbes (Indeci, 2011 y Figura 14). Asimismo, el factor antrópico (como cortes de talud para viviendas) ha desestabilizado los taludes que, al buscar su pendiente de equilibrio (ángulo de reposo natural), tenderán a reacomodarse (Descos, 2010).



Figura 13. Flujos de detritos. Lo conforman los depósitos de talud, y representan masas latentes a espera de su reactivación, ladera abajo, por algún agente detonante: sismos o precipitaciones excepcionales.



Figura 14. Derrumbes en terraplenes. En la zona se observan terraplenes mal conformados que terminan en un muro seco (pirca), y sin ningún tipo de amalgamación entre los fragmentos de roca que los componen. Estas estructuras podrían colapsar y originar derrumbes.

6. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

El mapa de susceptibilidad indica cuán propensa es una ladera a que se produzcan movimientos en masa: caídas, derrumbes, huaycos (flujos), etc., teniendo en cuenta sus factores intrínsecos del área de estudio: litología (tipo de rocas), pendiente de los terrenos, geomorfología, hidrogeología, uso de suelos, etc. (Fernández *et al.*, 2004).

Existen también, diversos modelos para abordar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera; y para el presente estudio el modelo elegido ha sido el método de combinación de mapa de factores (método heurístico). Este se basa en ponderar la contribución de los factores (intrínsecos) causantes de la ocurrencia de movimientos de ladera a fin de delimitar las zonas más susceptibles (Villacorta, 2007).

Para el presente trabajo se usaron los siguientes mapas de factores:

- Pendientes (ver Figura 15)
- Geomorfológico (ver Figura 16)
- Geológico (ver Figura 17)

El mapa de susceptibilidad se obtuvo por medio de una ponderación de los factores antedichos, a través de operaciones matriciales y del álgebra de capas. En este caso se definió un tamaño de píxel de 25x25 para los formatos raster de los mapas de factores respectivos.

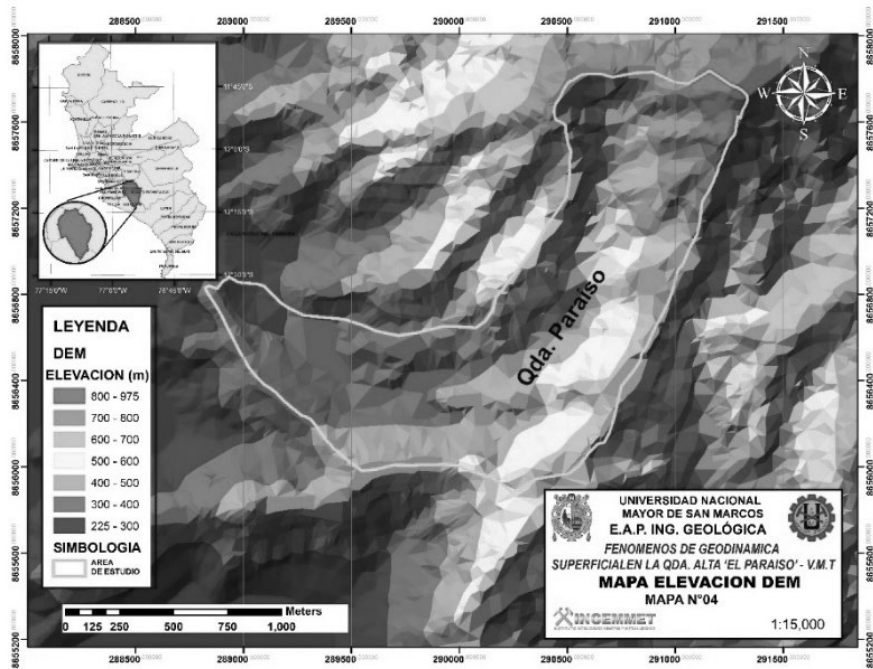


Figura 15. Modelo de elevación digital (DEM) de la zona de estudio.

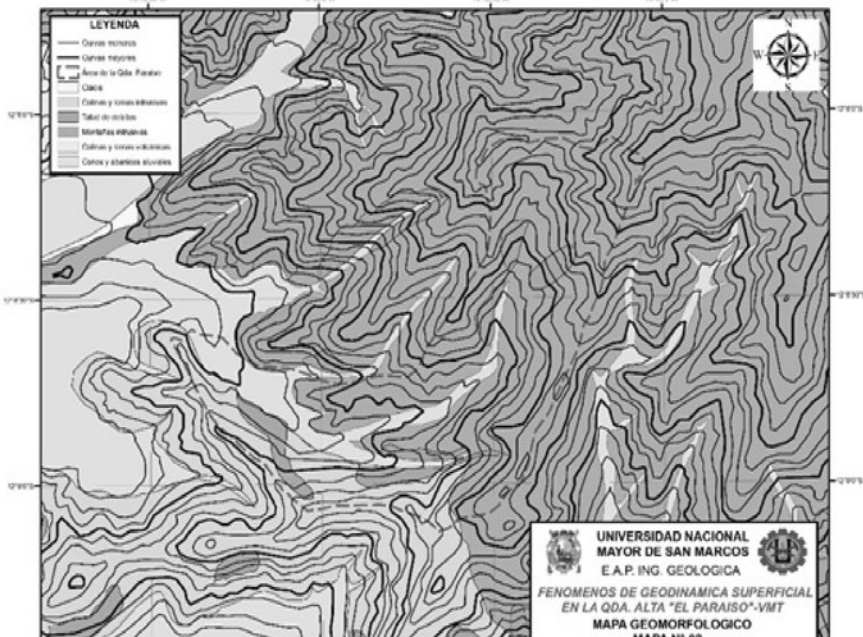


Figura 16. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

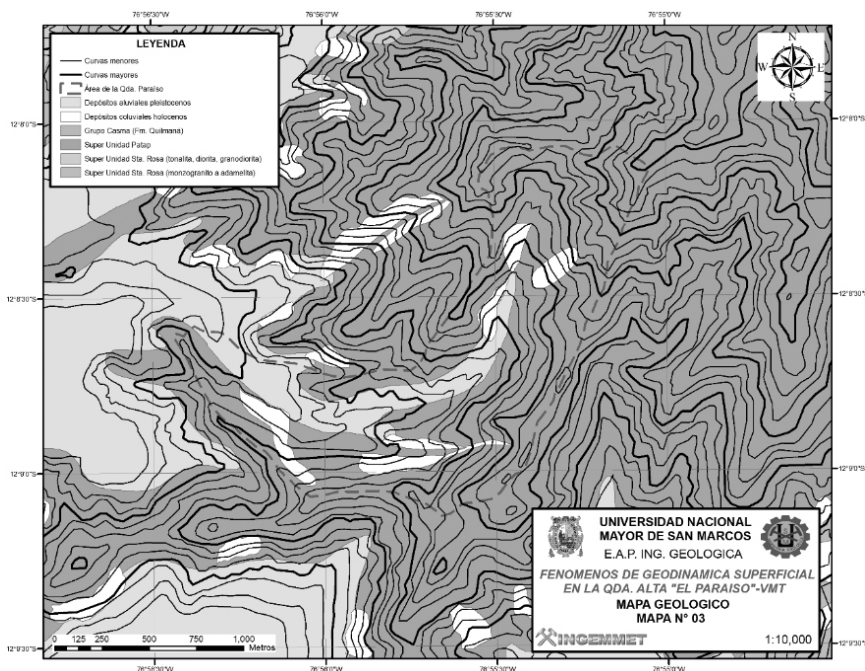


Figura 17. Mapa geológico de la zona de estudio.

Donde:

SMM: Susceptibilidad a los movimientos en masa

SGM: Susceptibilidad Geomorfológica

SP: Susceptibilidad por pendientes

SGL: Susceptibilidad por Geología

W1, W2, W3: Peso de susceptibilidad. (0.40; 0.35; 0.25, respectivamente)

n: Número de factores

7. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

De acuerdo a la morfología del terreno, las características estructurales del macizo rocoso, la pendiente de los terrenos; se interpreta que la ocurrencia a procesos de caídas de rocas es moderada a alta. Asimismo, la zona de estudio según el MSMM se encuentra dentro de una zona de susceptibilidad media a alta frente a la ocurrencia de movimientos en masa.

Los peligros geológicos identificados en la zona de estudio serían relacionados principalmente a procesos de desprendimiento o caídas de rocas. En el Mapa de Susceptibilidad (Figura 18) se puede observar que la zona de más alta susceptibilidad se

distribuye en la zona alta de la quebrada El Paraíso, en la que se encuentran depósitos de talud de detritos, los que, al tratarse de materiales sueltos presentan predisposición para su desplazamiento ladera abajo, la que puede ser desencadenada por eventos sísmicos y/o precipitaciones pluviales excepcionales. Nótese también de manera más subordinada zonas de alta susceptibilidad en la ladera este y oeste, en las que se han apreciado bloques sueltos en estado metaestable durante la inspección de campo.

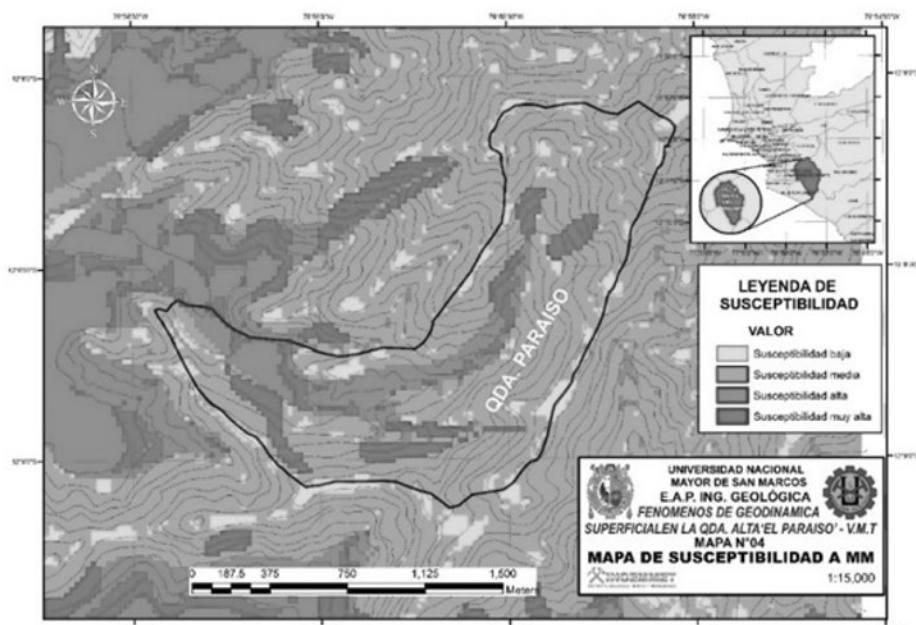


Figura 18. Mapa de susceptibilidad quebrada El Paraíso – VMT.

8. CONCLUSIONES

- La metodología empleada para analizar la Susceptibilidad a MM identifica áreas potencialmente susceptibles; sin embargo esto no implica un período de tiempo durante el cual pueda ocurrir un proceso de MM; permite sectorizar las zonas potenciales a sufrir estos fenómenos (áreas críticas), a partir de las condiciones intrínsecas del terreno.
- El análisis de susceptibilidad presentado se circunscribe a nivel vecinal, en el distrito de Villa María del Triunfo, sector de José Carlos Mariátegui, en el AA.HH. Edén del Manantial. Esta es un área sujeta principalmente a MM del tipo caídas de rocas, se observan bloques sueltos en estado metaestable en la ladera este y oeste de los cerros; de forma más subordinada se tienen depósitos de fragmentos y bloques de

roca caídos desde las partes superiores de la quebrada constituidos por fragmentos detríticos, angulosos a subangulosos, sin matriz, inestables y sueltos, encontrándose en las laderas intermedias y bajas de la zona de estudio.

- Según el estudio sísmico, la aceleración máxima esperada para un período de retorno de 50 y 100 años, y con una probabilidad de un 10% de excedencia, calculado para el área de Lima, oscila entre 0,44 y 0,53 gal respectivamente, considerándolo como de categoría muy alta. Bajo este escenario y considerando como factores detonantes las aceleraciones sísmicas máximas esperadas, hacen que la zona de la quebrada alta El Paraíso se circunscriba en un área de moderada a alto grado de riesgo sísmico, desencadenando así la ocurrencia de caída de rocas que pueden afectar las viviendas ubicadas en las partes inferiores de laderas inestables, principalmente las manzanas 'H', 'I', 'J' en la ladera oeste; las manzanas 'L', 'LL' en la ladera este; y la manzana 'K' al norte.
- Se considera una vulnerabilidad física alta, en función a la ubicación del sector, y al hecho de que las viviendas son de material endeble y la estructura de fundación sobre la que se asientan (pircas) carecen de amalgamación (mortero) alguna. Las viviendas podrían colapsar por vibraciones sísmicas y además se prevé que los suelos estarían sujetos a pérdida de cohesión por la aceleración sísmica alta, debido a su naturaleza geológica. Estas viviendas se encuentran dentro de la posible trayectoria de los bloques de rocas al desprenderse, comprometiendo a las viviendas de la zona baja.
- En el mapa de susceptibilidad obtenido se puede observar que la más alta susceptibilidad se distribuye en la zona alta de la quebrada El Paraíso, en la que se encuentran depósitos de talud de detritos, los que pueden ser desencadenados por eventos sísmicos y/o precipitaciones pluviales excepcionales. Asimismo, y de manera más subordinada, se presentan zonas de alta susceptibilidad en la ladera este y oeste, en las que se han apreciado bloques sueltos en un estado metaestable durante la inspección de campo.
- Los resultados del mapa de susceptibilidad nos presentan, de manera general, información geocientífica que contribuirá en la planificación territorial; y de manera puntual, en la elaboración de planes de acción para el tratamiento de las áreas críticas identificadas.

9. RECOMENDACIONES

- La metodología empleada en el presente trabajo para el análisis de susceptibilidad podría aplicarse a otras zonas vulnerables de VMT, a fin de identificar las zonas más críticas y prevenir pérdidas de vidas humanas y materiales. Asimismo, una forma de validar la presente metodología sería con el inventario de MM a nivel distrital.

- La alternativa más adecuada para la estabilización y/o actuación en los bloques de roca inestables —considerando la pendiente del terreno, volumen y peso estimado de estos bloques, la altura de la ladera hasta la zona donde se ubican las viviendas, la calidad de la roca, estimación de máximo recorrido observado por las caídas de rocas en el pasado, y la vulnerabilidad asociada— sería la ejecución de voladuras de contorno controladas, combinada con construcción de barreras dinámicas o estáticas contra caída o desprendimiento de rocas.
- La peligrosidad de los bloques inestables identificados de menor tamaño se puede disminuir mediante el ‘desquinche’ o desate mecánico, logrando una disminución de su volumen. Otra alternativa para estos bloques es la fijación o anclaje con muros de concreto armado que fijen las zonas inestables, o la instalación de bulones.

Agradecimientos

El presente estudio, de carácter preliminar, parte del interés de un grupo de jóvenes geólogos en la temática expuesta y del oportuno apoyo de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos del Servicio Geológico Peruano - Ingemmet, a través de la persona de la ingeniera Sandra Villacorta, a quien desde estas líneas expresamos nuestro más profundo agradecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chacón, J. (2012). Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y Medio Ambiente*, 28.
- Descos (2010). *Estimación del nivel de riesgo de las viviendas, pautas de mitigación de riesgo y recomendaciones técnicas en la zona de quebrada Santa María (distrito de Villa María del Triunfo) y de Parque Metropolitano (Villa El Salvador)*. Lima: Descos, Programa Urbano.
- Fernández, T., C. Irigaray, R. El Hamdouni & J. Chacón (2004). Diseño gráfico de un mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera. En VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, Madrid. Resúmenes extendidos, Madrid.
- Fidel, L., S. Villacorta, B. Zavala, M. Vílchez, P. Valderrama, S. Núñez *et al.* (2010). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. En XV Congreso Peruano de Geología, Cusco. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 308-311. Publicación Especial 9.
- Guerrero, C. (2006). Inspección de la seguridad física del asentamiento humano ‘24 de Junio-Vallecito Alto’. Informe técnico. Lima: Ingemmet.
- Guerrero, C. (2006). Inspección de la seguridad física del asentamiento humano ‘Quebrada alta del Paraíso’. Informe técnico. Lima: Ingemmet.
- Instituto Nacional de Defensa Civil - Indeci (2011). Escenarios de riesgo y medidas de mitigación del riesgo de desastre en el distrito de Villa María del Triunfo. Resumen ejecutivo.

- Instituto Nacional de Defensa Civil - Indeci (2010). Estudio para determinar el nivel de vulnerabilidad física ante la probable ocurrencia de un sismo de gran magnitud: Villa María del Triunfo. Plan de Prevención por Sismo 2010. Lima: Indeci.
- Irigaray, C. & J. Chacón (2002). Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG. En F. J. Ayala-Carcedo y J. Corominas (eds.). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con la técnica SIG. Fundamentos y aplicaciones en España* (pp. 21-36). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Medina, L. & J. Vásquez (2007). Evaluación de la seguridad física del asentamiento humano 'Las Lomas del Paraíso'. Informe técnico. Lima: Ingemmet.
- Núñez, S. & J. Vásquez (2008). Evaluación de la seguridad física del asentamiento humano 'Villa del Paraíso'. Informe técnico. Lima: Ingemmet.
- Núñez, S. & J. Vásquez (2008). Evaluación de la seguridad física del asentamiento humano 'Nueva Generación de Paraíso Alto'. Informe técnico. Lima: Ingemmet.
- Núñez, S. & J. Vásquez (2009). Zonas críticas por peligros geológicos en Lima Metropolitana. Primer reporte. Informe técnico. Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Lima: Ingemmet.
- Ocampo, R., L. Zubieta & A. J. Gómez (2009). Procesos de geodinámica superficial en la zona central de la cuenca de río Mantaro. Proyecto Maremex. Lima: Instituto Geofísico del Perú - IGP, p. 3.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. S.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4.
- Villacorta, S. (2007). *Análisis de la susceptibilidad a los Movimientos de Ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú)*. Tesis de Maestría. Master Internacional Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales - Red DESIR. Instituto Geológico y Minero de España.