

Aplicación del mapa de susceptibilidad por procesos de geodinámica superficial a la gestión territorial

SUSCEPTIBILITY MAP OF GEODYNAMIC SURFACE PROCESSES APPLIED TO TERRITORIAL MANAGEMENT

Christian Obregón* & Julio Lara*

RECIBIDO: 04/04/2014 – APROBADO: 05/18/2014

RESUMEN

El territorio peruano presenta características geológicas, geomorfológicas, climatológicas y sísmicas que propician el desarrollo de movimientos en masa (MM). Conocer la naturaleza de estos fenómenos es importante para entender su formación, la dinámica del movimiento y su relación con la seguridad física de las ciudades y de la población que la habita (Kaldova, 1998).

Es común encontrar, en las quebradas de la periferia urbana de Lima, poblados asentados en zonas con geodinámica superficial activa; y por tanto, con alto potencial de peligro ante la ocurrencia de MM (deslizamientos, caídas de rocas, flujos de detritos, etc.). Frente a ello, se propone una metodología de análisis rápido y económico en la delimitación de zonas de mayor probabilidad a generar MM, mediante el mapa de susceptibilidad.

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). 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 claves: Susceptibilidad, peligros geológicos, planificación territorial.

ABSTRACT

The Peruvian territory owns geological, geomorphological, climatic and seismic features, which tend to develop Mass Movements (MM) processes. Knowing the nature of these processes are important for understanding their formation, movement dynamics and their relationship to physical and human security.

It is common to find, in the streams of the urban periphery of Lima, villages settled in areas with active surface geodynamics and therefore high potential hazard to the occurrence of mass movements (landslides, rock falls, debris flows etc.). Against this, a methodology for fast and economic analysis is proposed in zoning areas with high probability to develop MM, by the Landslide Susceptibility Map.

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 Maria del Triunfo (Lima - Peru). 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: Susceptibility, geological hazards, territorial planning.

* Egresados E.A.P. Ing. Geológica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: cobregonm@iimp.pe

I. 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. Asimismo, las tendencias de expansión urbana, procedentes 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) (DESCO, 2010).

En muchos de los distritos periurbanos de Lima, la construcción de viviendas se ha dado en zonas susceptibles a peligros geológicos -terrazas inundables y cauces de quebradas secas-, que se ocuparon sin seguir ningún criterio de seguridad física y humana frente a los procesos de geodinámica superficial: caídas de rocas, deslizamientos, derrumbes, huaicos (flujos), etc.; obviando tener en cuenta las características intrínsecas del terreno: litología (tipo de rocas), pendiente de laderas, uso del suelo, cobertura vegetal, geomorfología e hidrogeología.

Esto se enmarca dentro de un proceso de vulnerabilidad, el cual se manifiesta por un crecimiento demográfico urbano marginal, acelerado y caótico que ocupa territorios que no presentan las condiciones óptimas para el emplazamiento de asentamientos humanos (AA.HH).

I.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.

II. MARCO CONCEPTUAL

Riesgo: Es la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino, dentro de un periodo de tiempo dado y en un área específica (Varnes, 1984). Esta definición se expresa con la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro, Vulnerabilidad, Exposición})$$

$$R = f(P, V, E)$$

Donde:

- R es el riesgo
- P es el peligro o la amenaza
- V es la vulnerabilidad
- E es la exposición

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. También se usa el término peligro (Hazard, en inglés) como sinónimo.

Vulnerabilidad: Es el grado de pérdida (de 0 a 100%) como resultado de un fenómeno potencialmente dañino. El concepto de vulnerabilidad abarca los siguientes aspectos: a) las condiciones físicas peligrosas, esto es, 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.

Exposición: La exposición está relacionada directamente con la vulnerabilidad. Es la ubicación sobre el terreno de los elementos y determina la condición de un elemento a ser afectado por la amenaza. Si un elemento está fuera del alcance de la amenaza, la exposición de este, y en consecuencia el riesgo, será nulo a dicha amenaza.

Factores condicionantes: Los factores condicionantes son aquellos intrínsecos del sistema que caracterizan de una manera propia el área sobre la que una amenaza puede actuar. Estos son los que en mayor medida determinarán la evolución de un cierto fenómeno que vaya a suceder sobre el terreno.

Factores desencadenantes: Los 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.

2.1. 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 movimientos en masa. Entendiéndose esta última como todo volumen de roca, suelo o una mezcla de ambos que se moviliza lenta o rápidamente debido a la acción de la gravedad (i.e. 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. Estos parten del análisis de los condiciones actuales existentes de los MM, para, extrapolar 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 a ser afectadas, ni predicen cuándo ocurrirán los procesos analizados. Una de sus funciones más destacables es indicar las zonas donde se hace necesaria la realización de estudios específicos

y a mayor detalle (áreas críticas). Sin embargo, debe considerarse que los límites de susceptibilidad señalados son referenciales y no deben tomarse como valores absolutos.

2.2. Metodología para el análisis de susceptibilidad a mm

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

Este es un método cualitativo basado en la superposición de capas de variables. El fundamento del método lo constituye el análisis cruzado de mapas de factores; para ello, se estiman los coeficientes de ponderación de los factores (intrínsecos) causantes a la ocurrencia de movimientos de ladera.

De lo antedicho, se deduce que los pesos de las variables dependen ampliamente del conocimiento y experiencia por parte de los investigadores, que son los que deciden qué parámetros son importantes a tomar en cuenta para la generación de movimientos de laderas y qué pesos atribuirles. Dependiendo del nivel de detalle, se pueden utilizar varios mapas de entrada, entre los cuales los más utilizados son:

Mapa geológico, geomorfológico, hidrogeológico, de pendientes, cobertura vegetal, uso de suelos, etc. (Figura N° 1)

La metodología para la elaboración de estos mapas se desarrolla en un entorno GIS, el 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.

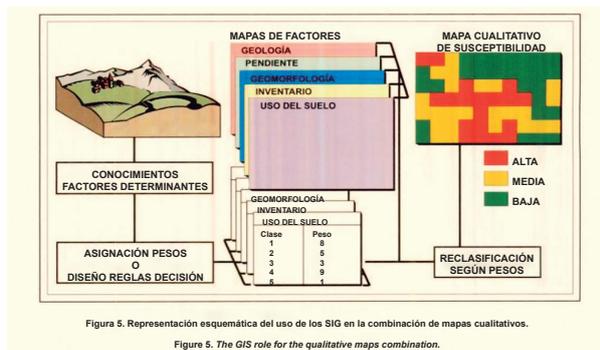


Figura N° 1. Representación esquemática del uso de los SIG en la combinación de mapas cualitativos para la generación del mapa de susceptibilidad.

III. EXPERIMENTACIÓN

3.1. Estudio de caso:

Quebrada Alta el Paraíso

Ubicación

La zona seleccionada para el presente estudio se circunscribe al 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 superficial de 100,700 m². Rodeada al norte, oeste y este, por colinas y montañas; y por el sur, colindante con el Pueblo Joven Paraíso Alto (Figura N° 2).

3.2. Metodología de trabajo

El trabajo de campo se llevó a cabo a fin de identificar las características geológicas y geomorfológicas de la zona y, asimismo, 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, aplicando 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, a fin 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).

3.3. 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.

Localmente, la geomorfología del área de estudio comprende las denominadas estribaciones bajas de los Andes Occidentales, representadas por una cadena de colinas y montañas modeladas en rocas intrusivas, que sobrepasan los 800 m.s.n.m. (Figura N° 3), 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 N° 4). 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, donde curiosamente se observan afloramientos con geoformas caprichosas (Figura N° 5), producto del diferente grado e intensidad con que actúan los agentes geológicos erosivos. En las laderas intermedia y baja de estos cerros, se pueden observar depresiones donde se 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.

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), las que tienen su dominio íntegro sobre la parte alta de la zona. Estructuralmente, estas rocas se encuentran fracturadas, afectadas por 3 sistemas de juntas (diaclasas) definidas, las que son ortogonales entre sí.

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.

3.4. Identificación de peligros geológicos

Los procesos de geodinámica superficial son aquellos que afectan a la superficie de la Tierra y determinan su constante evolución morfológica. Entre estos procesos geológicos, tenemos a los movimientos en masa (MM), los cuales modifican la forma del terreno 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 (INDECI, 2010). A continuación se detallan los procesos que ocurren en el área de estudio.

3.5. 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 esferoidal), que, junto a un control litoestructural (presencia de familias de diaclasas en rocas plutónicas), generan bloques sueltos, suspendidos en una ladera inestable. Por ello, el área es propensa

a caídas de rocas frente a factores detonantes, como: sísmos, precipitaciones pluviales excepcionales o a la misma acción antrópica. Esto podría comprometer la seguridad física y humana de los lotes ubicados ladera abajo (Figura N° 6 y N° 7).

3.6. Flujos

Se tienen también depósitos de fragmentos y bloques de roca caídos de las partes superiores, constituidos por fragmentos angulosos a subangulosos, sin matriz, inestables y sueltos. 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 huaico afectaría seriamente a la mayoría de lotes, teniendo presente la vulnerabilidad de estos.

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.

3.8. Derrumbes

La zona de estudio presenta altos índices de humedad que repercuten 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 lo conforman, podrían colapsar y originar derrumbes. 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.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 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, huaicos (flujos), etc., teniendo en cuenta los factores intrínsecos del área de estudio: litología (tipo de rocas), pendiente de los terrenos, geomorfología, hidrogeología, uso de suelos, etc.

Existen también diversos modelos para abordar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera. 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, para delimitar las zonas más susceptibles (Fidel, 2010).

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

- Pendientes (ver Figura N°8).
- Geomorfológico.
- Geológico.

Obteniéndose el mapa de susceptibilidad por medio de una ponderación de los factores antedichos, a través de operaciones matriciales y del álgebra de capas. Definiéndose, en este caso, un tamaño de pixel de 25 x 25 para los formatos raster de los mapas de factores respectivos.

Donde:

SMM: Susceptibilidad a los MM.

SGM: Susceptibilidad por geomorfología.

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.

4.2. 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 (Nuñez, 2007).

En el mapa de susceptibilidad (Figura N° 9) se puede observar que la zona de más alta susceptibilidad se distribuye en la zona alta de la quebrada Paraíso, en el que se encuentran depósitos de talud de detritos, que, al tratarse de materiales sueltos, presentan predisposición para su desplazamiento ladera abajo por posibles 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.

V. CONCLUSIONES

La metodología empleada para analizar la susceptibilidad a MM identifica áreas potencialmente susceptibles; sin embargo, esto no implica un periodo de tiempo durante el cual pueda ocurrir un proceso de MM. Además, permite sectorizar las zonas potenciales a sufrir estos fenómenos (áreas críticas), según las condiciones intrínsecas del terreno.

El análisis de susceptibilidad presentado se circunscribe a nivel vecinal, en el distrito de Villa María del Triunfo, sector J.C.M, 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 periodo 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 circunscribe 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 (Medina, 2007).

Se considera una vulnerabilidad física alta, en función de 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. Estos 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 que se desprendiesen, 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 el 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, de manera general, nos presentan 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.

VI. RECOMENDACIONES

1. 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.

2. Las alternativas más adecuadas 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, la estimación de máximo recorrido observado por las caídas de rocas en el pasado y la vulnerabilidad asociada, serían: voladuras de contorno controladas, combinada con construcción de barreras dinámicas o estáticas contra la caída o desprendimiento de rocas.
3. En los bloques inestables identificados de menor tamaño, se puede disminuir la peligrosidad mediante el 'desquinche' o desate mecánico, logrando una disminución de su volumen. Otra alternativa para estos bloques representa la fijación o anclaje con muros de concreto armado que fijen las zonas inestables, o la instalación de bulones.
4. Los terrenos habitados directamente en la zona donde se encuentran los bloques de roca, fácil de desprenderse con un movimiento sísmico, deberán ser íntegramente reubicados. Estos involucran principalmente la ladera este, correspondiente a las manzanas: 'LL', 'M', 'N', 'P', 'Q', 'R', 'S', 'Y' y 'Z'.
5. La Secretaría Técnica del Comité de Defensa Civil de la Municipalidad de Villa María del Triunfo debería realizar un trabajo de sensibilización sobre los peligros a los que están sujetos los pobladores del AA.HH. Edén del Manantial.
6. Se deberían realizar charlas informativas y simulacros para que así la población sepa cómo actuar en caso de presentarse un evento sísmico. Asimismo, indicar las rutas de evacuación adecuadas, hasta que se realicen los trabajos de eliminación de los bloques rocosos inestables y/o medidas de prevención recomendadas.

VII. 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 Ing. Sandra Villacorta, a quien desde estas líneas expresamos nuestro más profundo agradecimiento.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2. Desco ONG (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). Desco Programa Urbano. 80 p.
4. Fidel, L.; Villacorta, S.; Zavala, B.; Vílchez, M.; Valderrama, P.; Núñez, S., et al. (2010) - Mapa de susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco, 2010. Resúmenes Extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 2010, p. 308-311. Publicación Especial N° 9.
7. 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. 55 p.
9. Medina, L. & Vásquez, J. (2007) - Evaluación de la seguridad física del asentamiento humano 'Las Lomas del Paraíso'. Informe Técnico. INGEMMET. 8 p
10. Núñez, S. & Vásquez, J. (2008) - Evaluación de la seguridad física del asentamiento humano 'Villa del Paraíso'. Informe Técnico. INGEMMET. 6 p.
11. Núñez, S. & Vásquez, J. (2008) - Evaluación de la seguridad física del asentamiento humano 'Nueva Generación de Paraíso Alto'. Informe Técnico. INGEMMET. 6 p.

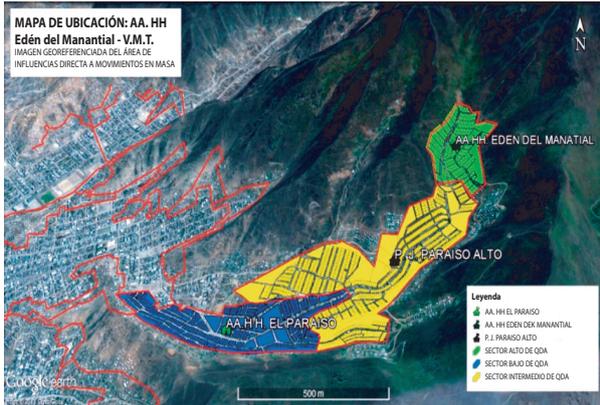


Figura N° 2. Vista panorámica de la Qda. El Paraíso - VMT. Se distinguen la zona alta, media y baja de la Qda. Elaboración propia.



Figura N° 3. Afloramientos de rocas intrusivas (granodiorita) en la ladera oeste de la parte alta de la Qda. El Paraíso - Villa María del Triunfo (Lima).



Figura N° 4. Erosión esferoidal de intrusivos, que genera bloques de grandes dimensiones ladera arriba del AA.HH. Edén del Manantial - VMT.



Figura N° 5. Procesos de erosión diferencial, que actúan con diferente grado e intensidad en la superficie del macizo rocoso. Esto da lugar a geoformas caprichosas.



Figura N° 6. Bloque granítico 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, y afectar al AA.HH



Figura N° 7. Se muestran bloques de rocas intrusivas (granodiorita) en la ladera alta de la Qda. El Paraíso

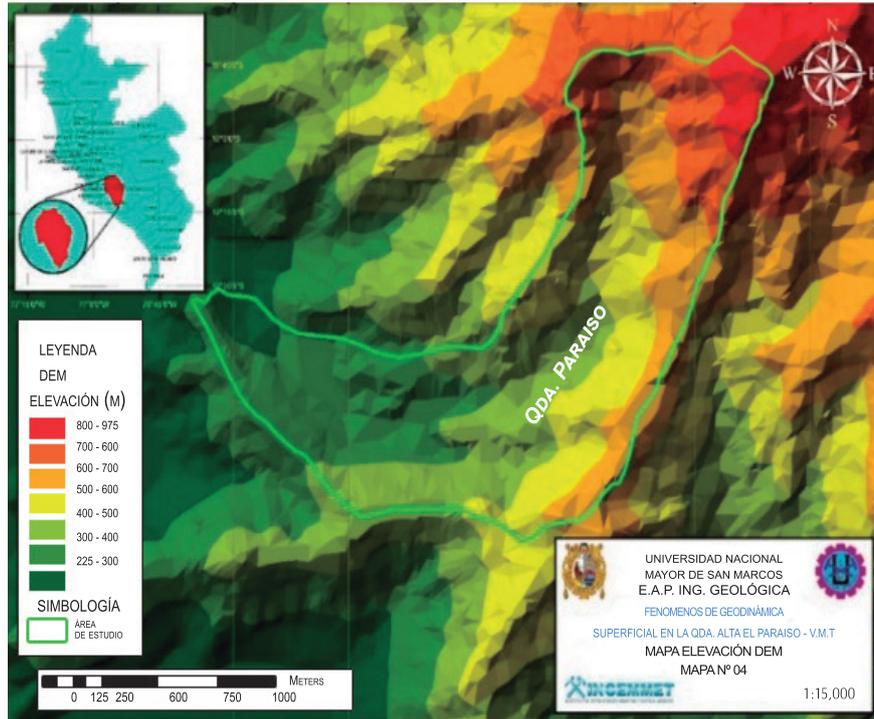


Figura N° 8. Modelo de elevación digital (DEM) de la zona de estudio.

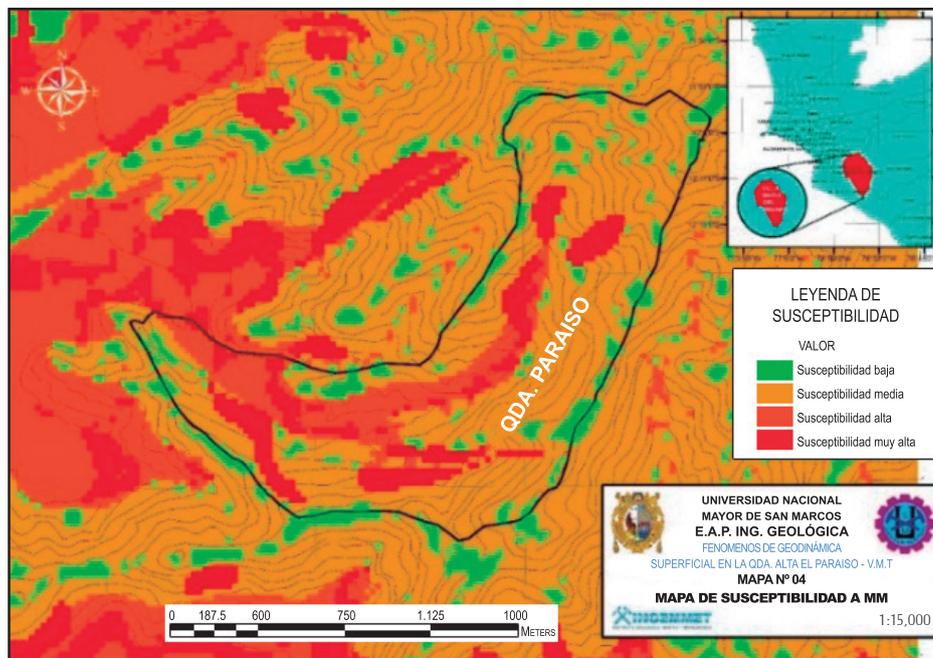


Figura N° 9. Mapa de susceptibilidad Qda. Paraíso - VMT.