

SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA HUALANGA. PATAZ, LA LIBERTAD

Lionel Fídel S. & Bilberto Zavala C.

INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja – Lima
lfidel@ingemmet.gob.pe, bzavala@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

A menudo, cuando evaluamos un área susceptible a Movimientos en Masa (MM) nos planteamos las siguientes interrogantes: ¿Cuáles zonas dentro del área pueden ser afectadas por los MM? y ¿Cuáles son las principales zonas que necesitarían tratamiento?. La respuesta a estas interrogantes se determina resolviendo a su vez lo siguiente: ¿Dónde han ocurrido los MM en el pasado?, ¿Dónde están ocurriendo ahora?, ¿Dónde se prevé que ocurrirá en el futuro?, ¿Cuál es la frecuencia de ocurrencia?, ¿Cuáles son las causas físicas?, y ¿Cuáles son los efectos físicos de los MM?. Resolver en parte, estas interrogantes es lo que se logra con una zonificación de MM y una de las herramientas es la evaluación de la susceptibilidad de los terrenos, expresando la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales (intrínsecas) del terreno (Suárez, 1998).

Existen diferentes técnicas para evaluar la susceptibilidad de un territorio a sufrir MM y generar mapas que reflejen la distribución espacial tanto de los movimientos existentes como de las áreas con peligrosidad potencial. En la cuenca de la quebrada Hualanga, el método empleado para el cartografiado de la susceptibilidad a los MM es el propuesto por Hervas et al. (2002), con algunas variantes en la asignación de los pesos a los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI).

METODOLOGÍA

El análisis espacial de la susceptibilidad tiene siempre un soporte cartográfico, de modo que la elaboración de mapas y modelos necesarios, y la gestión de estos desde un Sistema de Información Geográfica (SIG) son parte fundamental y previa al análisis espacial propiamente dicho (Van Westen et al, 1997). Para el cartografiado de la susceptibilidad a los MM requirió en primer lugar la creación de una base de datos: Inventario de MM, y la elección y cartografiado de los FCI. Se efectuaron trabajos de campo, fotointerpretación, interpretación de imágenes satelitales y modelos de elevación digital (MED). Así mismo se digitalizó e incorporó al análisis el mapa de vegetación. A continuación se subdividió cada factor en clases, a las que se asignaron pesos, en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente se determinó analíticamente el peso relativo de cada factor, con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Eastman et al., 1995, en Hervas et al, 2002), que utiliza una matriz cuadrada en la que el número de filas y columnas está definido, en nuestro caso, por el número de FCI. A las clases que componen cada factor se les asignan pesos según la influencia estimada en la inestabilidad y su porcentaje de distribución en la cuenca.

Una vez obtenidos los pesos de los factores y clases, se obtiene finalmente el índice de susceptibilidad a los MM mediante la suma lineal ponderada (Voogd, 1983, en Hervas et al, 2002) de pesos de factores y clases según la expresión:

$$I = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}$$

Siendo I el índice de susceptibilidad, w_j el peso del factor j y x_{ij} el peso de la clase i del factor j.

Los valores obtenidos se tratan mediante procedimientos estadísticos para obtener los límites superior e inferior de cada categoría de susceptibilidad.

APLICACIÓN A LA CUENCA DE LA QUEBRADA HUALANGA

La cuenca de la quebrada Hualanga esta situada al este de la región La Libertad, con 101,34 Km² de extensión, su curso principal de carácter estacional tiene una longitud de 21 Km. Con pendiente promedio de 7° y altitudes que varían entre los 4 200 m. y 1 180 m. en su confluencia con el río Marañón. Las geoformas están relacionadas a procesos erosivos, control lito–estructural y acumulaciones superficiales, destacando los depósitos de piedemonte (parte media de la cuenca), fluvio-glaciales en las cabeceras de la cuenca, así como terrazas y abanicos en su parte inferior y terminal. Las unidades litológicas comprenden dos grandes grupos: Depósitos inconsolidados (aluviales, fluviales, proluviales, entre otros) y substrato: rocas intrusivas (granodioritas), volcánicas (piroclastos), sedimentarias (calizas, areniscas, lutitas) y metamórficas (filitas – esquistos, pizarras), rocas comprendidas entre el Precámbrico y el Cenozoico.

El cartografiado geomorfológico y geodinámico permitió diferenciar procesos de MM, tipificados según la Clasificación de Varnes (1978) y Hungr et al (2001), activos y antiguos (algunos reactivados), entre los cuales destacan en orden de ocurrencia: 20 caídas (derrumbes y desprendimiento de rocas), 4 deslizamientos, 5 flujos de detritos (huaycos), 3 movimientos complejos (derrumbe-flujos, caída de rocas-vuelco). Los MM ocupan el 23% de la superficie de la cuenca, de los cuales el 10% están activos y relacionados a antiguos y potentes depósitos de MM, con presencia de escarpas de deslizamientos o derrumbes, reactivados por erosión fluvial o socavamiento del pie del valle. Se utilizaron fotografías aéreas e imágenes Landsat TM, para la obtención del mapa de usos de suelo, inventario de MM, integrados a una base de datos de FCI de MM. La topografía básica, a escala 1:5 000, nos ha permitido realizar el MED de la cuenca (ver Figura 1).

FACTORES CONDICIONANTES DE LA INESTABILIDAD

Los FCI (condiciones intrínsecas del terreno), representados en mapas de entrada, tomados en cuenta para el análisis y zonificación de la susceptibilidad a los MM son: la litología (o tipo de material) de peso ponderado 1,43 %; la pendiente del terreno, con un peso ponderado de 1,00 %; la elevación de los terrenos (obtenido a partir del MDE), con un peso de 0,40 %; el uso del suelo y vegetación (data proporcionada por CMP S.A.), con un peso de 0,70 %; y la actividad de los MM, con un peso de 1,89 %, donde se estableció tres clases en función de la actividad de los MM: activo: zonas con MM actuales y sectores de laderas con grietas; inactivos: compuestos por los MM, en su mayoría antiguos, que no han experimentado movimientos en los últimos 100 años; y sin movimientos: zonas que no muestran señal alguna de movimientos ni pasados ni recientes, pero que pueden desarrollar en el futuro (Hervas et al., 2002). Fig. 1.

DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Para obtener los pesos para cada factor, se elaboró una matriz con los criterios de valor relativos entre pares de FCI (ver Tabla 1). Asimismo el grado de correlación entre los FCI y la tipología de movimientos (Tabla 2). Los pesos se han ponderado mediante parámetros estadísticos (Chacón et al., 2002). El índice de susceptibilidad, calculado mediante la suma lineal ponderada de pesos de factores y clases, se ha dividido finalmente en cinco clases generales de susceptibilidad a los movimientos en masa que van desde muy baja a muy alta (Castro, 2001).

Tabla 1. Matriz de comparación de los factores condicionantes a la inestabilidad en la quebrada Hualanga.

FACTORES CONDICIONANTES	Litología	Pendiente	Elevación de los terrenos	Uso de suelo y vegetación	Actividad de movimientos	Pesos
Litología	1,00	2,00	3,00	2,00	0,50	1,43
Pendiente	0,50	1,00	2,00	2,00	0,50	1,00
Elevación de los terrenos	0,33	0,25	1,00	0,50	0,25	0,40
Uso de suelo y vegetación	0,50	0,50	2,00	1,00	0,33	0,70
Actividad del movimiento	2,00	2	3,00	2,00	1,00	1,89

Valores asignados: 4: mucho más importante que.., 1: de igual importancia que.., 1/4 mucho menos importante que...

Tabla 2. Grado de correlación entre factores determinantes y tipología de movimientos.

Factor	Movimientos en Masa					inventario	valor
	caídas	deslizamientos	flujos	mov. compuestos	erosión		
Litología	A	A	B	B	A	A	A
Pendiente	A	A	B	B	B	B	B
Elevación de los terrenos	B	B	C	C	C	C	C
Uso del suelo y vegetación	C/B	B/C	B	B/C	A/B	B	B
Actividad del movimiento	A	A	A	A	A	A	A

A: alta; B: media; C: baja

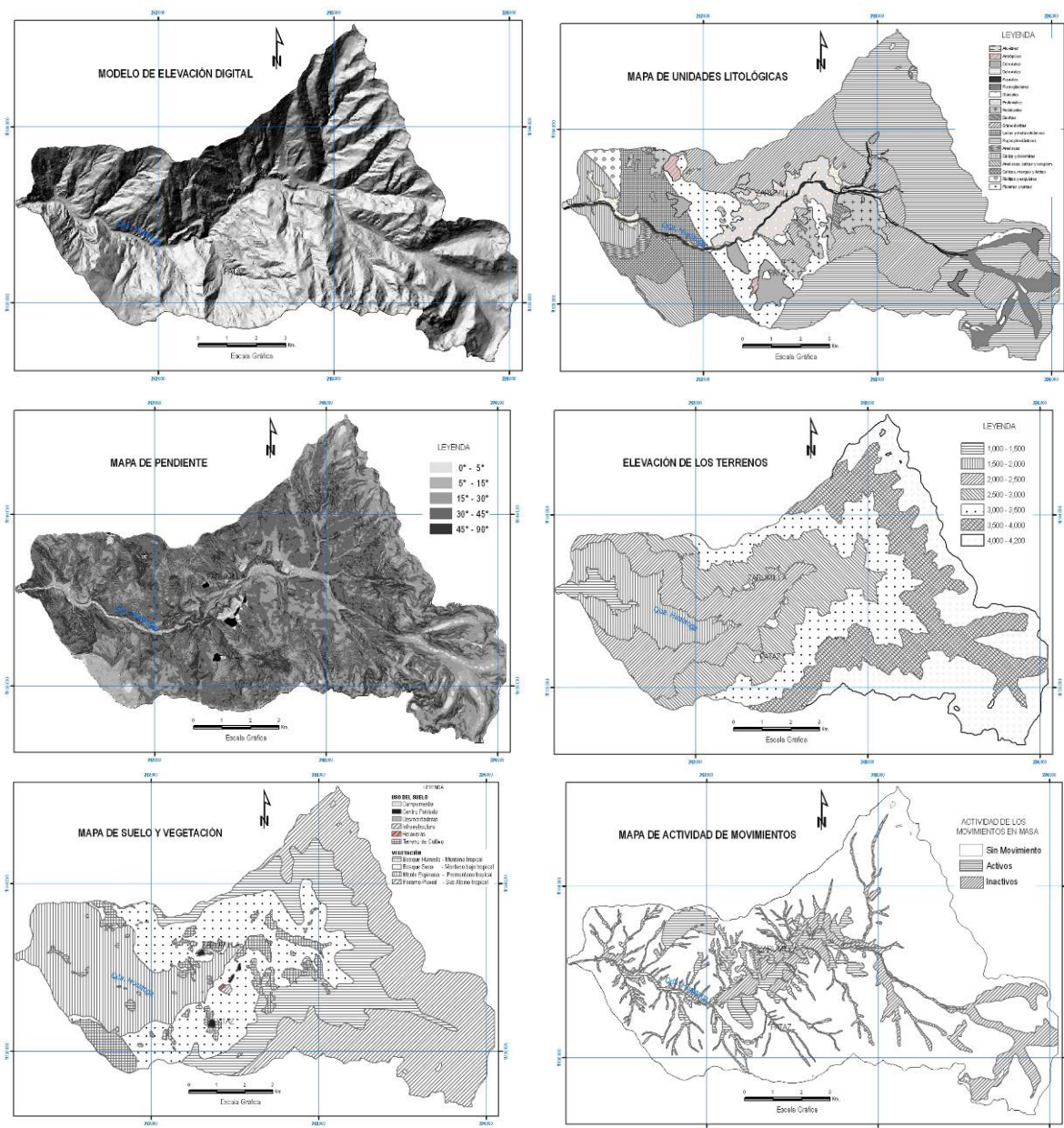
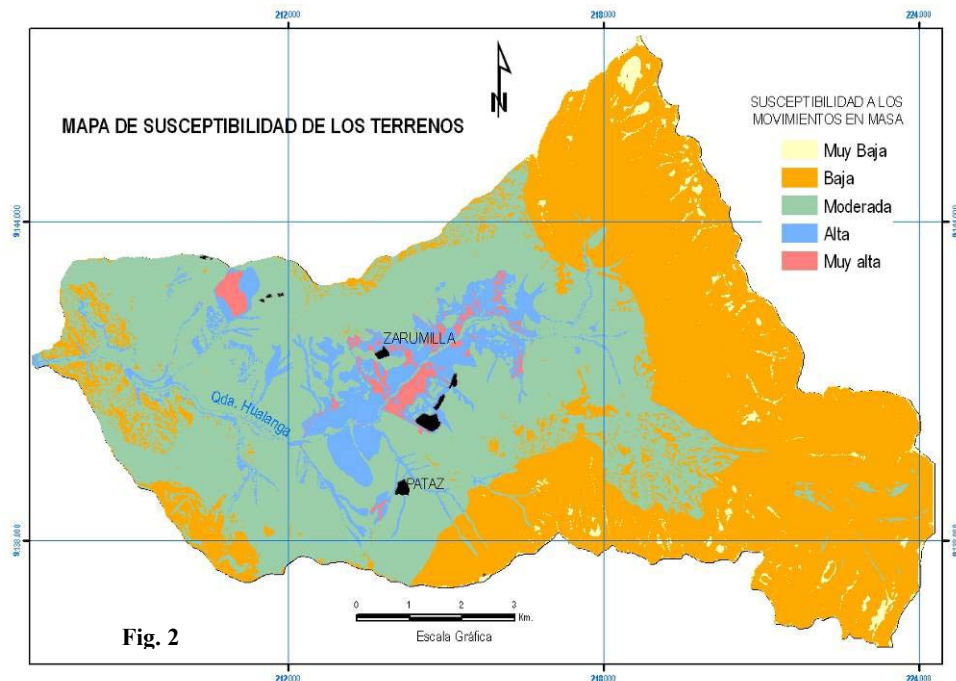


Fig. 1. Factores condicionantes de la inestabilidad en la quebrada Hualanga.

DISCUSIÓN

Los pesos de los factores actividad de movimiento, litología y pendiente resultan los más elevados, mientras que uso del suelo y vegetación y elevación de los terrenos, los más bajos. El mapa de susceptibilidad resultante (Figura 2) muestra que las zonas de moderada susceptibilidad con el 44,42 % del área, en la actualidad no presentan MM, pero se puede esperar que fallen localmente, por acción antrópica (caída de rocas, deslizamientos y flujos). Las zonas de alta susceptibilidad con el 7,47 % del área, ocupan laderas con pendientes muy fuertes a escarpadas, principalmente en depósitos superficiales poco a medianamente consolidados y rocas intrusivas muy alteradas; zonas inestables a los MM como deslizamientos, desprendimientos de rocas, derrumbes, flujos; así como a procesos de erosión de laderas; áreas críticas se localizan en el cono de deyección de la quebrada (flujos de detritos), quebradas Honda, Potaca, La Colpa, La Quinta y en la quebrada Francés (entre Francés y Yalen). Las zonas de muy alta susceptibilidad, con el 1,37 % del área, se localizan en laderas con pendientes muy fuertes a muy escarpadas, en depósitos poco consolidados a inconsolidados, saturadas a medianamente saturadas (depósitos antrópicos y coluviales). Son áreas donde han ocurrido MM o existe una alta posibilidad de que ocurra. Incluyen la mayoría de los MM (activos o inactivos), así como laderas sobre las cuales hay evidencia de movimiento de los materiales superficiales. Las laderas dentro de esta área se deben considerar naturalmente inestables incluso en ausencia de actividad antrópica. Estas se localizan

principalmente en la cabecera de la quebrada Honda y en los taludes de los sectores adyacentes a los cauces entre los sectores Zarumilla y Pampa Rosas.



AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Compañía Minera Poderosa S.A. por permitir la publicación del presente estudio. También va nuestro agradecimiento al Sr. Wily Urbina (DSI, INGEMMET) por las corridas en SIG y adecuación de las figuras.

REFERENCIAS

- Castro, E., Valencia, A., Ojeda, J., Muñoz, F. & Fonseca, S. (2001). Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa – Guía metodológica. Colombia. Ingeominas, 116 pp
- Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez Del Castillo, T. & El Hamdouni, R. (2002). Susceptibilidad a los movimientos de ladera del sector central de la Cordillera Bética.
En F. J. Ayala – Caicedo y J. Coraminas, (eds). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España. 83-96
- Hervas, J., Barredo, J. & Lomoschits, A. (2002). Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria). En F. J. Ayala – Caicedo y J. Coraminas, (eds). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España. 169-180
- Hungr, Oldrich, Evans, S.G., Bovis, M.J. Hutchinson, J.N. (2001). A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol VII N° 3, pp 221-238.
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos, 548pp
- Van Westen, C.J., Rengers, N. & Terlien, J. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geol. Rundschau*, 86, 404-414
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes. In *Landslides, analysis and control*. R.L. Schuster & R.J. Krizek eds. National Academy of Sciences. Washington D.C. 176, 11-33.