

SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO RIMAC. SECTOR: TICLIO-MATUCANA, LIMA

Magdie OCHOA ZUBIATE¹, Alejandro LAGOS MANRIQUE²

¹INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja-Lima
mochoa@ingemmet.gob.pe

²Universidad Nacional de Cajamarca
alagosman@hotmail.com

INTRODUCCION

La interrelación y el buen manejo de información temática: litológica, topográfica y capacidad de uso de suelos, nos permiten analizar y comprender el desarrollo de los peligros geológicos, entre ellos los Movimientos en Masa – MM; (susceptibilidad) en un determinado espacio y tiempo (peligro o amenaza), así como también conocer la capacidad de respuesta del medio ante el acontecimiento de los desastres (vulnerabilidad).

Atendiendo a ello y en respuesta a prácticas de ordenamiento territorial, cultura de prevención y seguridad ciudadana, consideramos que la zonificación de MM traducidos en mapas de susceptibilidad; es la herramienta más eficaz y menos costosa para la gestión del riesgo. Siendo el principal objetivo del estudio la preparación de estos mapas, cuyo uso redundará en el buen manejo del territorio y en el bienestar de la comunidad.

En el cartografiado de MM se ha empleado el método sugerido por PMA: GCA (2007). Y para evaluar la susceptibilidad de un territorio a sufrir MM, la metodología aplicada corresponde al Método de Jerarquías Analíticas; además de contar con la aplicación de las correlaciones bivariales de Pearson, que permiten ajustar y categorizar las valoraciones de jerarquías de importancias de los Factores condicionantes de la Inestabilidad-FCI. Con este método lograremos generar mapas que reflejen la distribución espacial tanto de los movimientos existentes como de las áreas con peligrosidad potencial en la cuenca alta del río Rímac.

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL AREA

El área de estudio comprende parte la cuenca media y alta del río Rímac, sector Ticlio – Matucana, distritos de Matucana y Chicla, provincia de Huarochiri, región Lima, con un área aproximada de 284.13 km². (Fig. 1).

Las geoformas presentes están relacionadas a procesos erosivos, al control litoestructural y depósitos fluvio-glaciares, glaciares y fluvioaluviales en las cabeceras de la cuenca; así como a terrazas aluviales en ambas márgenes del río tanto en la cuenca alta como media (Fotos 1, y 2).

En el área afloran materiales que van del Cretáceo inferior al Pleistoceno reciente, destacando rocas volcánicas de la formación Huarochiri (flujos de lava andesíticas y piroclastos); sedimentarias como calizas, areniscas, lutitas, limonitas y niveles conglomerádicos de las formaciones Jumasha, Pariatambo y Casapalca respectivamente; y rocas volcano-sedimentarias que comprenden secuencias de areniscas tobáceas con flujos piroclásticos de las formaciones Bellavista y Río Blanco, Carlos Francisco y el Grupo Rimac. Todas estas secuencias se encuentran cubiertas por depósitos recientes inconsolidados a medianamente consolidados, entre ellos los depósitos glaciares, fluvio-glaciares, coluviales y fluvioaluviales (Salazar, H. 1983).

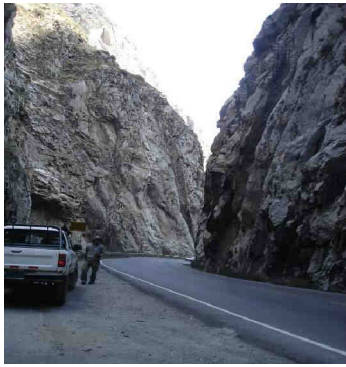


Foto 1. Valle en Cañón (Sector Puesto Infiernillo)



Foto 2. Relieve estructural plegado de pendiente media a suave (Sector: Chicla-San Mateo)

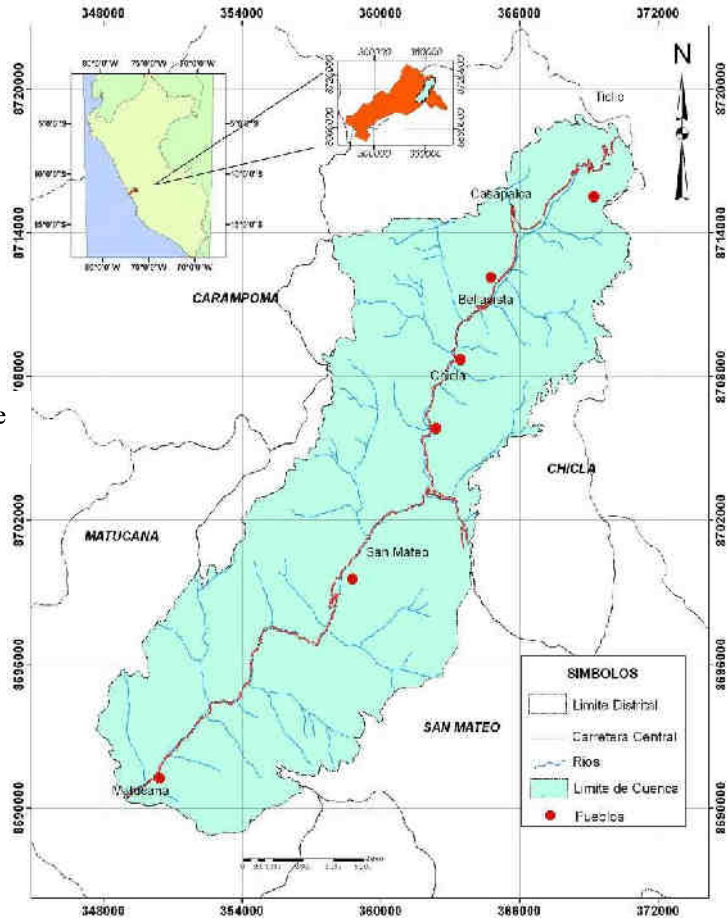


Fig. 1. Ubicación y características geomorfológicas del área de estudio

METODOLOGÍA

El análisis espacial de la susceptibilidad tiene siempre un soporte cartográfico, de modo que la elaboración de mapas, modelo necesario, y la gestión de éstos desde un Sistema de Información Geográfica (SIG) son parte fundamental y previa al análisis espacial propiamente dicho (Van Westen C. J. et al, 1997).

Dicho proceso consta de la interrelación de mapas temáticos o de entradas, compuestos por factores condicionantes de la inestabilidad (FCI), como: litología, permeabilidad, geformas, pendientes, entre otros. Mapas temáticos que son elaborados a través de mapeos en campo, fotointerpretaciones, imágenes satélites y modelos de elevación digital (MED). Posteriormente se determina analíticamente, el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, T. L. 1980 y Hervas, J. et al, 2002) que utiliza una matriz cuadrada. En nuestro caso, el número de filas y columnas está definido por el número de FCI que corresponden a las condiciones intrínsecas del terreno, a las cuales 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 de pesos de factores y clases, según la expresión (1):

$$S = (A * n_i + B * n_i + C * n_i + D * n_i + E * n_i) / 5 \dots \dots \dots (1)$$

La aplicación de las correlaciones de Pearson (Davis, J. 1973) mediante el software estadístico SPSS.15, permite realizar correlaciones bivariantes en aplicaciones geológicas. En nuestro caso fue útil efectuar relaciones de importancia entre los FCI y la Susceptibilidad en el área (Tabla1), donde las valoraciones mayores a 0.5 son consideradas de un nivel significativo y por lo tanto de mayor importancia en las generaciones de los MM.

Tabla1. Correlación de Pearson de variables en análisis de susceptibilidad

FSI	Litología	Geomorfología	Permeabilidad	Pendiente	Susceptibilidad
Litología	1	0.192	0.611	0.154	0.753 ^(**)
Geomorfología	0.192	1	0.080	0.429	0.498 ^(*)
Permeabilidad	0.611	0.080	1	0.154	0.763 ^(**)
Pendiente	0.154	0.429	0.154	1	0.500 ^(**)
Susceptibilidad	0.753	0.498	0.763	0.500	1

** La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).



Foto 3. Derrumbe en Casanalca



Foto 4. Deslizamiento Rotacional Huaripampa-Matucana

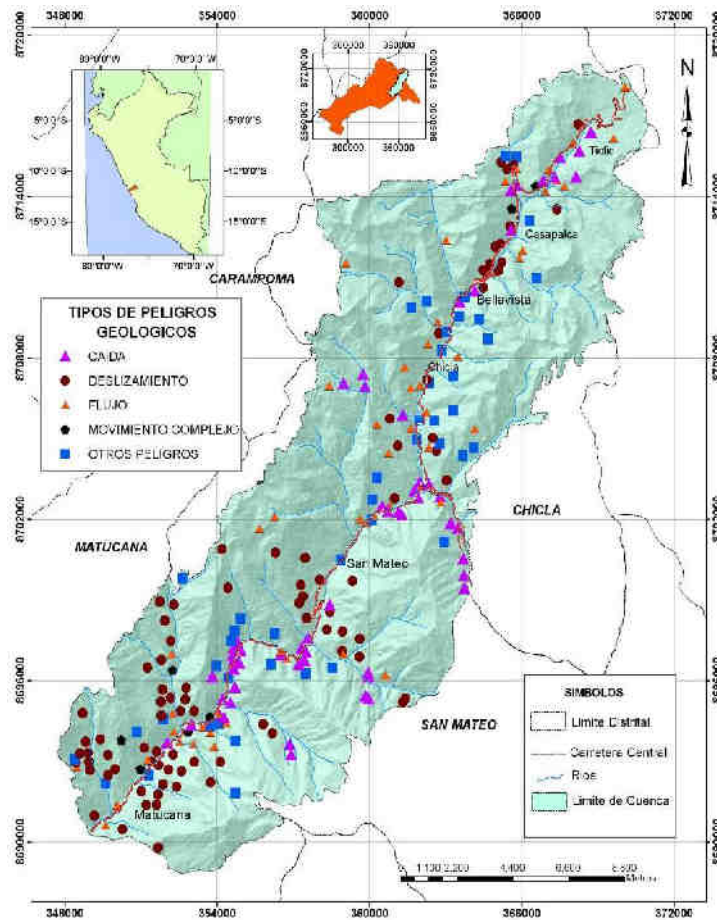


Fig. 2. Principales peligros geológicos inventariados en la cuenca del Rímac

APLICACIÓN EN LA CUENCA ALTA DEL RIO RIMAC

El cartografiado geomorfológico y geodinámico permite inventariar y diferenciar 236 procesos de MM (Fig. 2), tipificados según el PMA: GCA (2007), entre los cuales destacan 84 deslizamientos, 51

caídas (desprendimiento de rocas y derrumbes), 47 flujos (detritus y lodo) y 9 movimientos complejos (deslizamiento – flujo; erosión de ladera – flujos, etc.) (Fotos 3 y 4).

La diferencia correspondiente a otros peligros geológicos está relacionada mayormente a procesos hidrometeorológicos estacionales como erosiones fluviales y erosión de laderas. Todos estos eventos ocupan el 10% de la superficie de la cuenca y están ubicados en el cauce y laderas del valle del río Rímac.

DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Tabla 2. Nivel de importancia (Saaty, 1997)

Nivel de importancia	Definición	Descripción
3	Igual preferencia	Los dos criterios (x, j) contribuyen de igual manera al proceso de deslizamiento
5	Moderada preferencia	Pasada experiencias favorecen ligeramente al criterio (x) sobre el otro (j)
7	Fuerte preferencia	Prácticamente la dominancia del criterio(x) sobre el otro (j) está demostrada
9	Absoluta preferencia	Existe evidencia que determina la supremacía del criterio (x)

Para obtener los pesos para cada factor, se elaboró una matriz con los criterios de valor relativos entre pares de FCI; estos pesos se asignaron en función de su influencia relativa en la inestabilidad; determinando analíticamente el peso relativo de cada factor, con respecto a los demás.

Para ayuda de ello y evitar la subjetividad de criterios, Saaty, T. L. 1997, propuso una tabla con la asignación de importancias o preferencias, con la que se puede asignar un puntaje de importancia relativa por pareja (Tabla 2).

Estos valores de concordancia son luego ingresados a la tabla de doble entrada,

considera como análisis de jerarquías múltiples-MJA (Malczewski, J. 1996), convirtiendo esta evaluación subjetiva en un conjunto de pesos lineales (Tabla 3).

Tabla 3. Cuantificación en porcentaje de la influencia de las variables en el cálculo de la Susceptibilidad

FCI	A	B	C	D	E	Σx_{ij}	$\Sigma x_{ij}/n$	$\Sigma x_{ij}/n / \Sigma x_j$	n_i %
A	1	5	7	3	9	25	5	0.37	37
B	1/5	1	3	1/5	7	11.40	2.28	0.17	17
C	1/9	1/7	1	1/7	5	6.40	1.28	0.10	10
D	1/3	5	7	1	9	22.33	4.47	0.33	33
E	1/9	1/7	1/5	1/9	1	1.57	0.31	0.02	2
TOTAL							13.34	1.00	

Donde:

A: Litología,

B: Pendientes

C: Geomorfología

D: Permeabilidad

E: Cobertura Vegetal

S: Susceptibilidad

n_i %: Ponderación de importancia de las variables

Los FCI 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), con un peso ponderado de 0.37; la pendiente del terreno, con un peso ponderado de 0.17; la elevación de los terrenos (obtenido a partir del MDE), con un peso de 0.10; el uso del suelo y vegetación (INRENA, 1996), con un peso de 0.02; y la permeabilidad de las rocas con un peso de 0.33. Todas estas valoraciones han sido establecidas aplicando la metodología antes descrita.

PROCESAMIENTO

A través de la interrelación de información de los mapas temáticos, en formato raster y la aplicación de la fórmula (1), empleando la herramienta de Raster calculador de Ar/Info; se consigue un mapa de susceptibilidad de 5 rangos que van desde valores muy bajos a altos (Fig. 3).

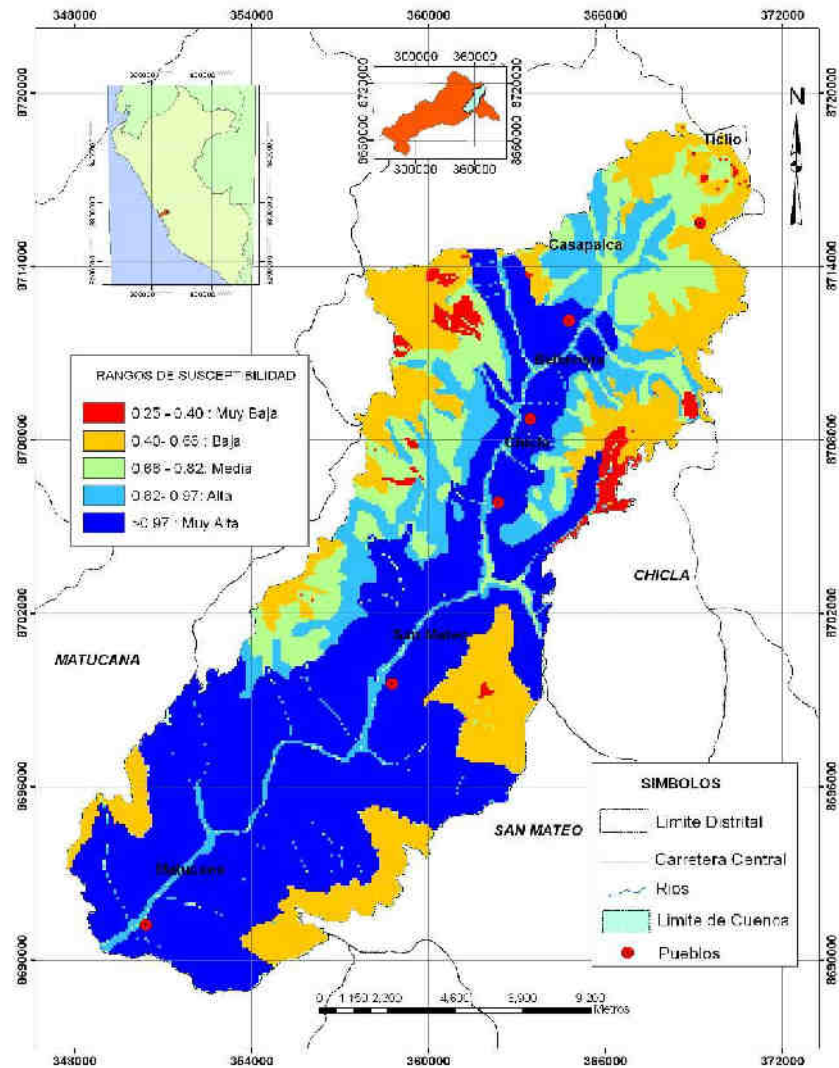


Fig. 3. Mapa de Susceptibilidad

DISCUSION

Los FCI con mayor influencia en la susceptibilidad de los MM, son la litología, permeabilidad (Tabla 2 y 3), seguido por la pendiente; mientras que la elevación de los terrenos y la cobertura vegetal no tienen tanta influencia en la susceptibilidad a los MM.

El mapa de susceptibilidad resultante, muestra que las zonas de moderada susceptibilidad (29 % del área), en la actualidad no presentan MM, pero se puede esperar que fallen localmente por acción antrópica, tales como: construcción de carreteras y viviendas; produciendo así caída de rocas y deslizamientos.

Las zonas de alta susceptibilidad (71 % del área), se localizan en laderas con pendientes muy fuertes a escarpadas, principalmente en depósitos superficiales poco a medianamente consolidados y rocas fracturadas e incompetentes. Son áreas donde han ocurrido MM o existe una alta posibilidad de que ocurra, aquí se incluyen la mayoría de los Movimientos en Masa inactivos y reactivados.

La correlación bivariante de Pearson categoriza a los factores litológicos y de permeabilidad como principales condicionantes en la ocurrencia de peligros geológicos; y considera en segunda instancia las características geográficas del área (geomorfología y pendientes).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Davis J. 1973. Statistics and data Analysis in Geology, Kansas Geological survey, Canada, p. 298-409, 412-538.
- 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. p. 169-180.
- INRENA, Oficina de evaluación e información de recursos naturales, 1996. “Mapas del Perú ambiental”. 10 mapas a escala 1:250 000.
- Malczewski, J. 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. *International Journal of Geographical Information Systems* 10(8), p. 955-971.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA:GCA) 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, publicación Geológica Multinacional, N° 4, p. 432.
- Saaty, T. L. 1980. *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill. New York.
- Saaty, T. L. 1997. *Toma de Decisiones para Líderes. El proceso analítico jerárquico. La toma de decisiones en un mundo complejo*. RWS Publications. Pittsburg-USA
- Salazar, H.. 1983. Geología de los cuadrángulos de Matucana y Haurochiri. Hojas 24-k y 25-k, boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, vol. 36, p. 68.
- Van Westen, C. J., Rengers, N. & Terelien, J. 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geol. Rundschau*, n. 86, p. 404-414.