

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS HEURÍSTICO Y PROBABILÍSTICO PARA EVALUAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO RÍMAC. SECTOR: TICLIO-MATUCANA, LIMA

Magdie Ochoa Zubiata<sup>1</sup> y Alejandro Lagos Manrique<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja-Lima. Email: mochoa@ingemmet.gob.pe

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Cajamarca. Email: alagosman@hotmail.com

### INTRODUCCION

Existen diversos modelos para abordar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa; los cuales han ido cambiando con el tiempo. Con la aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los modelos se perfeccionaron, ganándose objetividad y tiempo en los procesos de análisis; pero al mismo tiempo la predicción de áreas potenciales de rotura presentaron una gran incertidumbre por los pocos datos disponibles y las deficiencias de los modelos de susceptibilidad (Zezere, J., 2002).

Debido a que en la práctica no siempre se conocen bien los parámetros de entrada y la medida del control de calidad de datos ingresados para el procesamiento son difíciles de probar; no es recomendable usar un método específico de análisis de susceptibilidad (Chung C. & Fabbri A. 2003), por ello el objetivo de esta investigación radica en realizar una comparación de los modelos heurístico y probabilístico en la evaluación de la susceptibilidad, partiendo de una base de datos de inventarios de peligros geológicos 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, comprendida entre los distritos de Matucana y Chicla, provincia de Huarochiri, región Lima, con un área aproximada de 284.13 km<sup>2</sup> (Fig. 1).



Foto 1. Zona de altiplanicie glaciar, conformado por pampas y bofedales (Sector Ticlio)

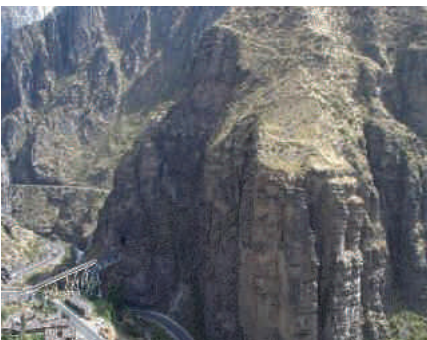


Foto 2. Relieve de montaña volcano-sedimentaria en la formación Bellavista y Río Blanco

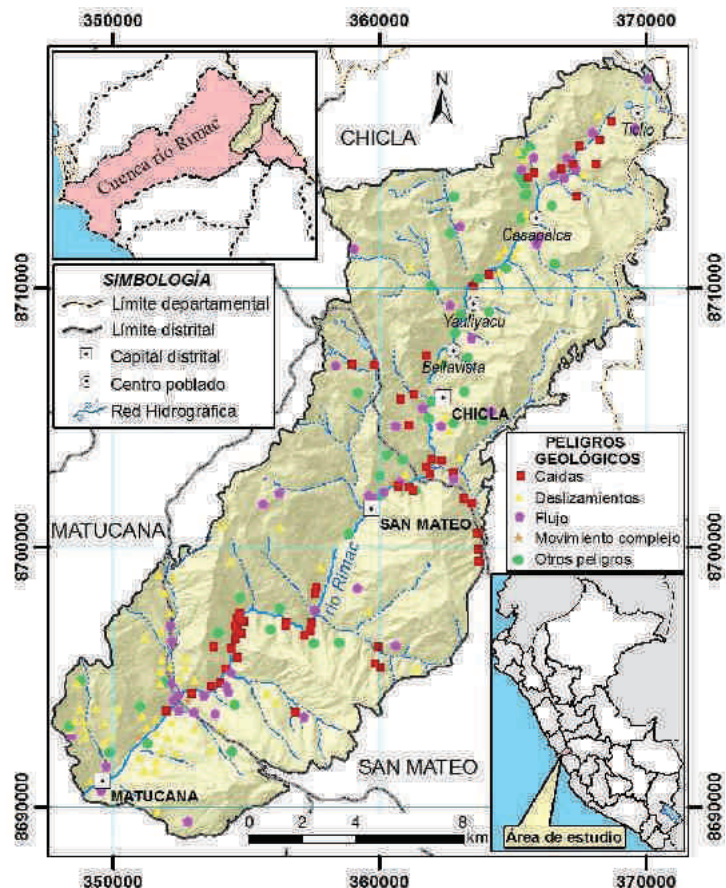


Figura 1. Ubicación del área de estudio e inventario de peligros

Las geoformas presentes están relacionadas a procesos erosivos, control litoestructural, depósitos fluvioglaciares y glaciares en las cabeceras de cuenca propios del proceso glaciar (Foto1), además terrazas aluviales y fluviales en ambas márgenes del río tanto en la cuenca alta como media.

En el área afloran secuencias 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 (Foto 2), Carlos Francisco y el Grupo Rimac. Todas estas secuencias se encuentran cubiertas por depósitos recientes inconsolidados a medianamente consolidados, entre ellos los depósitos glaciares, fluvioglaciares, coluviales y fluvioaluviales (Salazar, H. 1983).

## INVENTARIO DE PELIGROS

El análisis espacial de la susceptibilidad tiene siempre un soporte cartográfico, de modo que la elaboración de mapas de inventario y temáticos, 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., et al, 1997).

En la zona evaluada se han inventariado 236 procesos de movimientos en masa (PMA: GCA, 2007), entre los cuales destacan 84 deslizamientos, 51 caídas (desprendimiento de rocas y derrumbes), 47 flujos (detritus y lodo), 9 movimientos complejos (deslizamiento – flujo; erosión de ladera – flujos) y 45 entre otros peligros (erosión de laderas y erosión fluvial) (Fig. 1).

## METODOLOGÍA

El procesamiento de los datos y el análisis espacial con los SIG mediante la técnica de combinación e interrelación de mapas temáticos, ponderados a partir del mapa de inventarios; ha sido trabajado con modelos heurísticos y probabilísticos; debido a su versatilidad y facilidad para tratar los datos en formato raster. La diferencia entre ambos modelos, radica en el tipo de técnicas de ponderación ya sea empíricas del modelo heurístico y estadísticas para el modelo probabilístico; aplicando para ello matrices de ponderación según el número de ocurrencias para la primera y porcentaje de distribución de superficies de erosión para las segundas.

El proceso de asignación de ponderación de susceptibilidad con ambos modelos no se explican en este artículo, ya que no es tema de discusión; solo se presentan los mapas de susceptibilidad elaborados con los modelos antes mencionados, su interpretación y comparación del grado de adaptación al desarrollo del trabajo; aplicando para ello el cálculo del índice de densidad relativa (IDR) definida en la ecuación 1; la cual representa la proporción de roturas por clase de susceptibilidad, normalizado por la densidad global de roturas (Baeza y Corominas, 2001).

$$\text{IDR} = \left[ \frac{n_i/N_i}{\sum(n_i/N_i)} \right] * 100 \dots\dots\dots (1)$$

Donde  $n_i$  es el número de celdas con deslizamientos observados para la clase de susceptibilidad  $i$  y  $N_i$  es el número total de celdas de esta clase.

## APLICACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD

Los mapas de susceptibilidad mostrados en las Fig. 2 (a) y Fig. 2 (b), son resultado de la interacción de las ponderaciones de propensión de las subunidades de los mapas temáticos (Litológico, Hidrogeológico, Geomorfológico, Pendiente y de Cobertura vegetal) en base de la distribución de movimientos en masa en el

espacio; generados a partir de algoritmos y herramientas de geoprocésamiento (Raster Calculator) de los SIG.

La susceptibilidad obtenida se presenta en 5 clases (muy baja, baja, media, alta y muy alta) definidas por intervalos de probabilidad de ocurrencia.

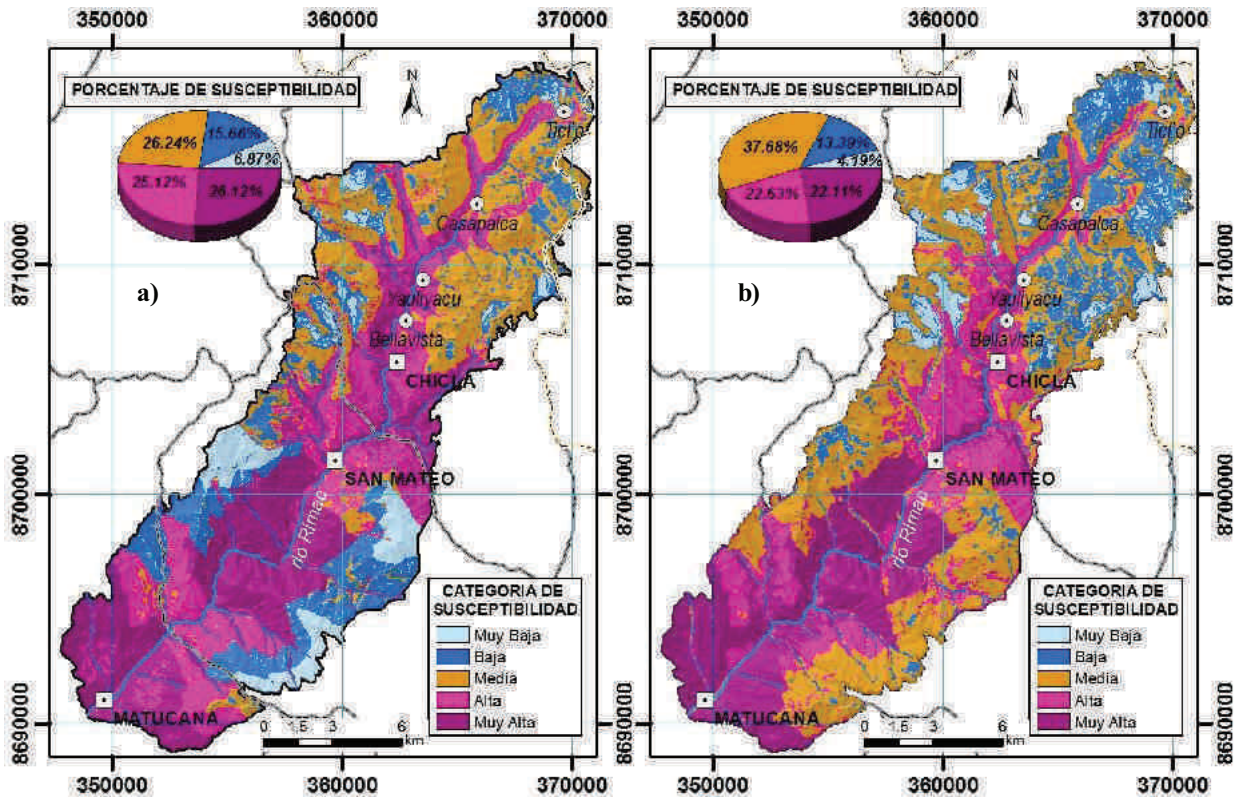


Figura 2. Mapas de susceptibilidad elaborados con método Heurístico (a) y método Probabilístico (b)

Las categorizaciones de susceptibilidad baja y muy baja, para el método heurístico Fig.2 (a) y probabilístico Fig 2(b), representan el 23% y 17% respectivamente de la superficie del área de estudio e indican una baja probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa en zonas de altiplanicies o cumbres, caracterizadas por relieve suaves y presencia de vegetación altoandina que favorece la estabilidad y controla la erosión. Gran importancia representan las susceptibilidades media, alta y muy alta, de 77 y 83 % para ambos métodos respectivamente caracterizadas por relieves abruptos, substrato rocoso muy alterado e intemperizado, presencia de filtraciones en el terreno y pobre cobertura vegetal.

### CÁLCULO DEL ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA

Con la aplicación del Índice de Densidad Relativa (IDR), se permite hacer una comparación de ambos métodos.

Las frecuencias acumuladas para el IDR, debe referir una tendencia ascendente de sus valores de susceptibilidad. En la Fig.3, estos IDR muestran una variación en la categorización baja, en una relación de 5% y 15%, lo cual nos evidencia una inconsistencia en los resultados; condicionado por la objetividad del modelo y/o por la cantidad y calidad de los datos procesados.

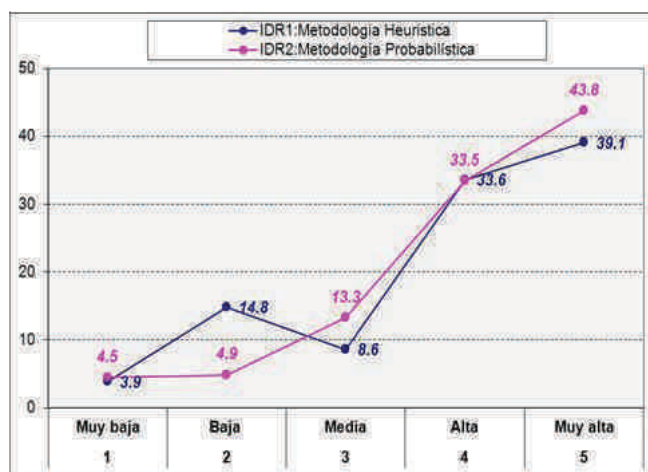


Fig.3. Cálculo de índice de densidad relativa (IDR)



## CONCLUSIONES

Las categorizaciones de susceptibilidad con ambas metodologías son semejantes; no obstante el contraste en la susceptibilidad media en 38% para el método probabilístico, con respecto a los 26% del heurístico, nos indican tendencias de disminución en los niveles mínimos de susceptibilidad en un 7%, y en un 6% para los niveles máximos de susceptibilidad (alta y muy alta).

Las categorizaciones de susceptibilidad para el método probabilístico corresponden a 17% para susceptibilidades bajas y muy bajas; 38% para valores medios y 45% entre susceptibilidad alta y muy alta. En forma global tenemos valoraciones del orden del 83% para probabilidades de ocurrencia media a muy alta, lo cual implica que la zona tiene una alta propensión a la ocurrencia de movimientos en masa.

La tendencia ascendente y continua de los valores de Índice de Densidad Relativa (IDR) para el método probabilístico, nos revela un comportamiento consistente e uniforme de las ponderaciones de susceptibilidad; a diferencia del método heurístico que muestra un corte en su continuidad y un valor incontrastable con la secuencia de la tendencia de su IDR; generando así incertidumbres en la confianza de sus resultados. Esto es visualizable en el intervalo de susceptibilidad baja (15%) con respecto al (5%) del método probabilístico (ver Fig.3).

La zonificación de susceptibilidad con el método probabilístico tiene mayor conformidad que el heurístico, debido a que en su procesamiento se han hecho uso de ponderaciones más confiables, generadas con técnicas estadísticas que revelan la relación de dependencia entre la superficie erosionada en un tipo de unidad cartografiada (subunidad en un mapa temático) y la propensión a la inestabilidad.

Para ambos métodos, las susceptibilidades medias, alta y muy altas son superiores a las susceptibilidades bajas y muy bajas, en una razón del 80% y 20% aproximadamente. Donde la susceptibilidad baja, corresponde a áreas con movimientos en masa no muy frecuentes y con características topográficas de pendientes suaves, presencia de vegetación altoandina y ausencia de actividad antrópica; las cuales son favorables para la estabilidad del terreno; no descartándose la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa por cambio en estas condiciones de estabilidad. Por otro lado las susceptibilidades del orden del 80%, representan moderadas a muy altas probabilidades de recurrencia periódica de movimientos en masa, evidenciadas a lo largo del relieve montañoso de pendientes superiores a 30°, con escasa cobertura vegetal y actividad antrópica propia del valle del río Rímac.

## REFERENCIAS

- Baeza, C. & Corominas, J. (2001), Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes. Landforms*, 26: 1251- 1263.
- Chung, C & Fabbri, A.( 2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping: *Natural Hazards*, v. 30, p. 451–472.
- PMA: GCA, Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (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.
- 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., 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.
- Zeze, J. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2: 73-82.