



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

TÉCNICAS DE GEOPROCESAMIENTO APLICADAS A LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN OBRAS LINEALES

Jenny Vásquez Acuña¹

¹ Anddes, Av. Javier Prado Este Cdra. 48, Edificio Capital Golf, Piso 13 Santiago de Surco, Lima, Perú

RESUMEN

En Perú y diversas partes del mundo los desastres asociados a los fenómenos de remoción en masa (FRM) generan impactos negativos en el ámbito socioeconómico y ambiental.

Además de las pérdidas de vida y las afectaciones a las viviendas, en los últimos años, la destrucción y deterioro en las obras lineales ha sido de particular importancia.

Entre las diferentes carreteras del país que de manera recurrente suelen ser afectadas por FRM asociados a lluvias intensas, se encuentran las carreteras que sirven de enlace entre los departamentos de Lima y Junín.

Este estudio se centra en el análisis de la susceptibilidad a fenómenos de remoción de masa en la carretera LM-116, que es la vía que reporta la mayor cantidad de ocurrencias de FRM según los inventarios estatales.

Dicho análisis involucró la delimitación del área de estudio teniendo como base las microcuencas que limitan con la vía, la delimitación de las áreas de los FRM, así como la elaboración de cartografía temática empleada como insumo para la aplicación de tres metodologías: el análisis jerárquico (AHP), el índice estadístico (Wi) y los pesos de evidencia (WofE).

Se obtuvieron seis mapas de susceptibilidad de la región de interés y los resultados fueron analizados a través de las curvas de éxito (AUC).

El inventario de FRM está compuesto por 200 fenómenos de remoción en masa. Las áreas de muy alta susceptibilidad corresponden a zonas con un relieve accidentado, mientras que las

regiones planas coinciden con zonas de muy baja susceptibilidad. La variación de los resultados expresados en los mapas de susceptibilidad elaborados a partir de las tres metodologías mostró que el modelo realizado con el Análisis Jerárquico tiende a producir porcentajes más bajos en el área bajo la curva, mientras que las metodologías estadísticas, obtienen porcentajes más altos confirmando que dichos métodos, representan herramientas adecuadas en la evaluación de la susceptibilidad a FRM.

Palabras clave: Fenómenos de remoción en masa, susceptibilidad, obras lineales

DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para definir la carretera objeto de este estudio, se realizó un análisis de densidad en un entorno de sistemas de información geográfica (SIG), se tomó como datos de entrada el inventario de fenómenos de remoción en masa del GEOCATMIN y los datos correspondientes a la Red de Vías Nacional y Departamental del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el resultado arrojó que la mayor cantidad de ocurrencias están concentradas en las carreteras que conectan Lima con la zona centro andina del país tal como la Carretera Central y la Carretera LM-116 (Santa Eulalia - Marcapomacocha) ubicada en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima (Figura 1).

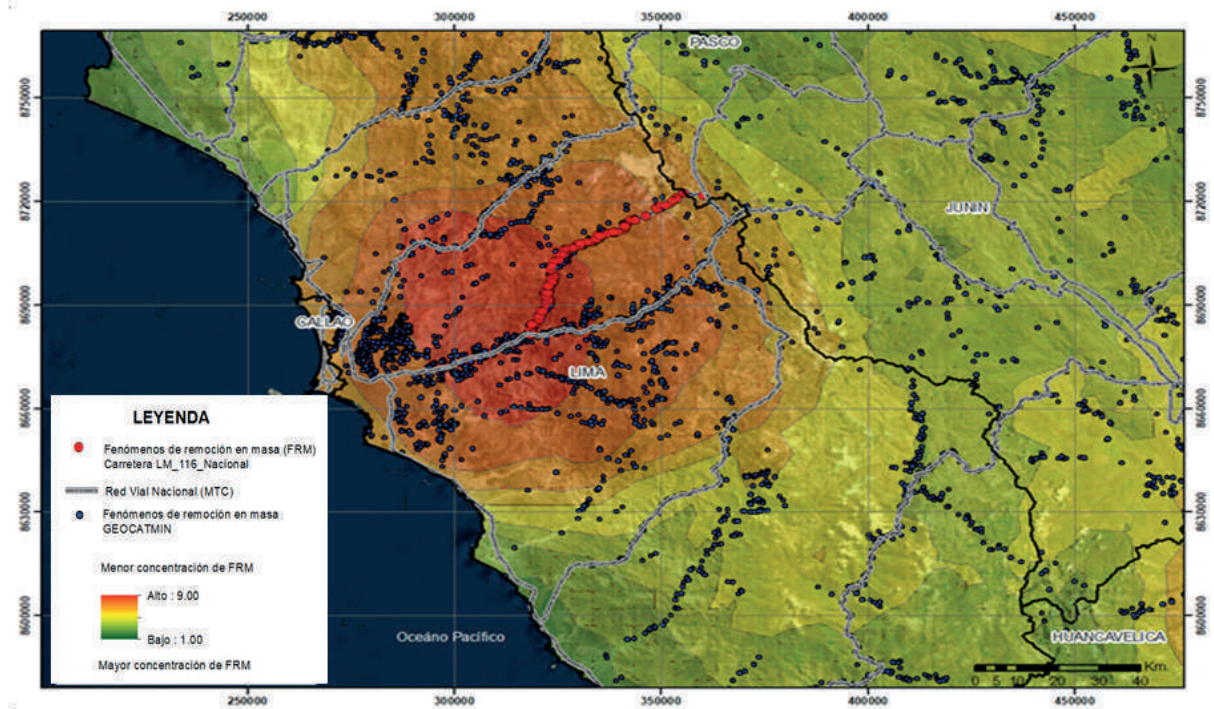


Figura 1. Contraste de la Red de Vías Nacionales y Departamentales del MTC y el Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa del GEOCATMIN. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS

Teniendo en cuenta la disponibilidad de los datos de entrada, la cantidad de FRM registrados en la base de datos y la escala de trabajo, se consideró conveniente desarrollar seis modelos de susceptibilidad empleando tres metodologías distintas, la evaluación multicriterio denominada análisis Jerárquico (AHP) y dos métodos estadísticos: el Índice Estadístico (W_i) y Pesos de la evidencia (WofE).

La metodología del Análisis Jerárquico (AHP) es ampliamente usada para la resolución de una gran variedad de problemas que envuelven múltiples criterios y donde existe una interacción entre estos (Toskano, 2005). Esta metodología se implementa utilizando una matriz de comparación de pares en donde se obtienen los pesos ponderados para cada factor condicionante en la ocurrencia de FRM, en estas matrices el número de filas y de columnas está definido por el número de criterios a evaluar, comparándolos de una forma simultánea.

La metodología denominada Índice estadístico (W_i) propone calcular cuantitativamente los pesos equivalentes a las frecuencias de ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa por cada factor condicionante.

Para calcular el peso de las clases para cada factor se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_i = \ln \frac{DenClase}{DenMapa} = \frac{Area(S_i) / Area(N_i)}{\sum Area(S_i) / \sum Area(N_i)} \quad (1)$$

Donde:

W_i = Peso calculado para cada clase de un factor
 \ln = Logaritmo natural
 DenClase = Densidad de deslizamiento por clase de una variable determinada
 DenMapa = Densidad de deslizamiento en todo el mapa
 Área (S_i) = Área del deslizamiento contenido en una clase para una variable determinada
 Área (N_i) = Área total de la clase para una variable determinada

La metodología Pesos de la evidencia (WofE) evalúa patrones de asociación entre los factores condicionantes (evidencias) y las áreas inestables mediante pesos. El peso de cada factor se calcula aplicando un enfoque que considera la probabilidad incondicional y condicional de que ocurra un fenómeno de remoción en masa (Bonham, 1994).

Los pesos asignados a cada variable se obtienen

con las siguientes ecuaciones:

$$W_i = \ln \frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad W_i^* = \ln \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad (2)$$

Donde:

N_{pix1} = Número de pixeles con fenómenos de remoción en masa

N_{pix2} = Número de pixeles con fenómenos de remoción en masa que no están presentes en la misma categoría

N_{pix3} = Número de pixeles en la clase que no hay fenómenos de remoción en masa

N_{pix4} = Número de pixeles en la clase donde no hay fenómenos de remoción en masa y que no está presente en la misma clase

W_{i+} y W_{i-} = Pesos de evidencia

Los pesos de evidencia o pesos de contraste (W_f) se calcularán con la siguiente fórmula:

$$W_f = W_{i+} \text{ y } W_{i-} \quad (3)$$

Donde W_f refleja el espacio de asociación respecto a la clase en la predicción del FRM, la cual es cero cuando la clase no afecta; es positivo, cuando existe una asociación positiva; y negativo, cuando existe una asociación negativa a la distribución de los FRM.

SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DEL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD

Una vez listos los pesos para cada clase aplicando la metodologías descritas, se elaboran los mapas de factores condicionantes en formato ráster.

La combinación de factores se realiza a partir de la suma de los pesos finales de cada una de las clases para cada píxel en el área de análisis.

A partir de los resultados de la aplicación de los métodos multicriterio (AHP), Índice estadístico (W_i) y el Peso de la evidencia (W_{ofE}), se determinó que el Modelo 6 es el más adecuado para la zonificación de las áreas susceptibles a FRM, debido a que obtuvo el mayor ajuste con respecto a los demás mapas. A partir de ese resultado se efectuó el análisis espacial de la susceptibilidad a varios tramos de la vía LM-116 con base a dos herramientas de geoprocésamiento: el análisis de proximidad y el análisis de superposición; este proceso permitió verificar que las zonas con susceptibilidad alta y muy alta se encuentran en

tres sectores bien diferenciados, correspondientes a las progresivas: km 14+000 - km 36+000, km 39+000- km 51+000 y km 66+000 - km 80+000 (Figura 2).

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Para medir la bondad de representación de los mapas de susceptibilidad, se construyeron las curvas de éxito para cada modelo, estas curvas relacionan el porcentaje de pixeles acumulados de FRM, respecto al porcentaje acumulado de los valores de los índices de susceptibilidad en la zona donde se desarrolla la carretera LM-116.

Estas curvas se construyeron en términos del área total de la zona de estudio y el área total de los fenómenos de remoción en masa considerados.

Una vez construida la curva para cada modelo se evaluó el área bajo la curva (ABC), para establecer la calidad de ajuste de los datos. Cuanto más pronunciada sea la parte inicial de la curva y mayor el ABC, mejor será la capacidad de la función para describir la distribución de los FRM. Un porcentaje aceptable de ajuste debe ser mayor a 70% (SGC, 2017).

En la Figura 3, se presentan las curvas de éxito de todas las combinaciones obtenidas, este análisis indica que los modelos con un mayor porcentaje de ABC fueron los modelos de susceptibilidad desarrollados con metodologías estadísticas: el ABC correspondiente al modelo 4 (metodología W_i) fue de 77.93% y el ABC del modelo 6 desarrollado con la metodología W_{ofE} fue de 78.85 %.

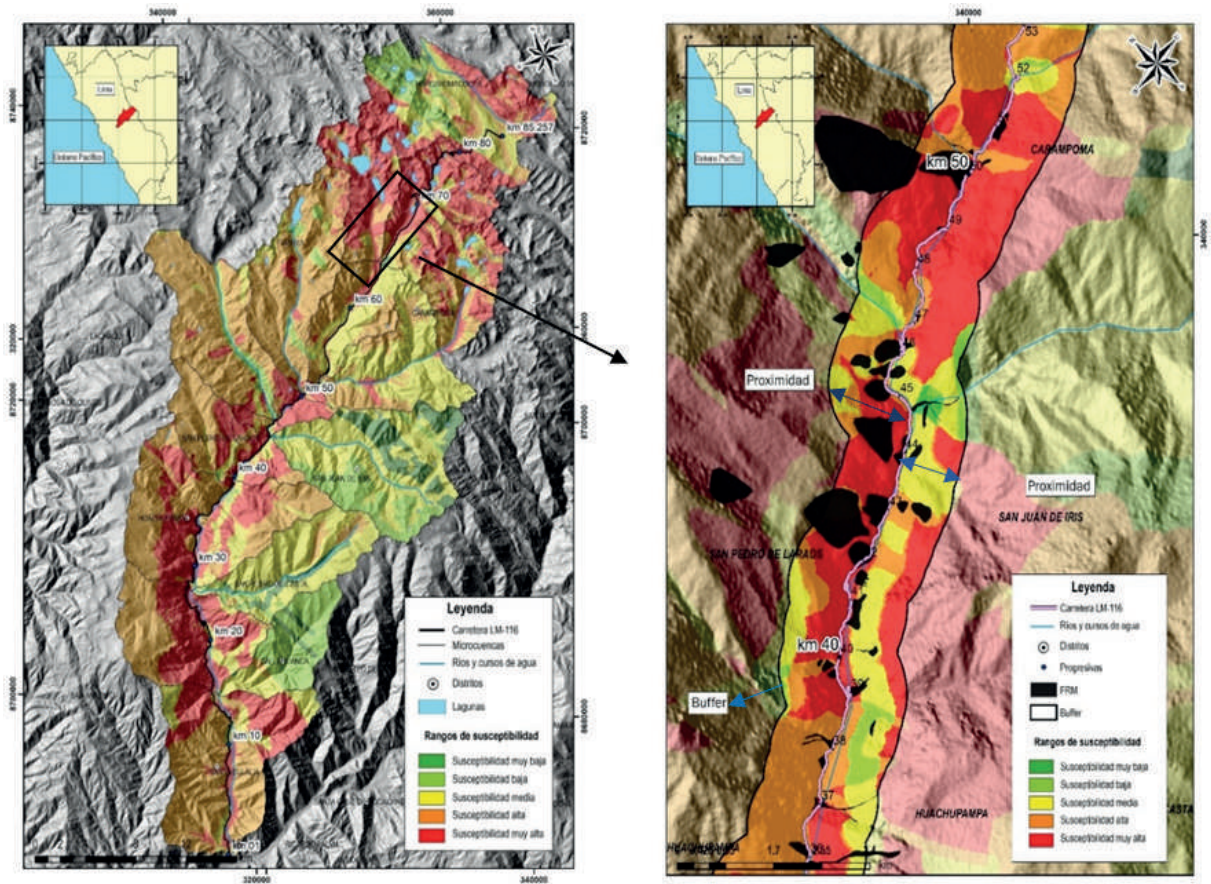


Figura 2. FRM Vs. Esquema de análisis espacial de proximidad y superposición de los tramos con susceptibilidad muy alta en la carretera LM-116. Fuente: Elaboración propia

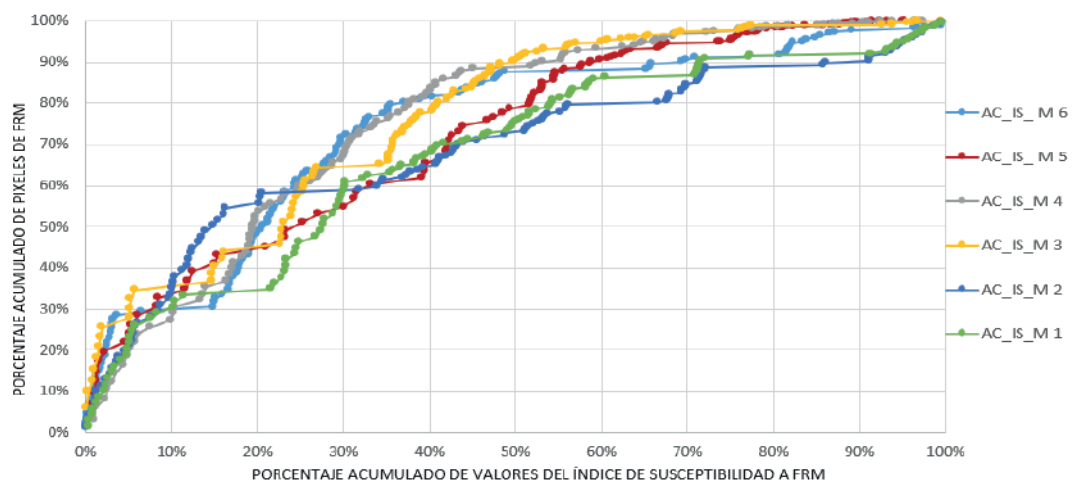


Figura 3. Curvas de éxito correspondientes a los 6 modelos de susceptibilidad a FRM. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las obras lineales resultan fundamentales en los procesos de planificación territorial, así mismo tienen un papel fundamental en la toma de decisiones sectoriales, es por esta razón que se le debe dar especial atención para proteger su integridad y funcionamiento, se deben enfocar los esfuerzos en el proceso de identificación de la susceptibilidad y el peligro ante fenómenos de remoción en masa.
- Las metodologías que mejor se ajustan a la evaluación de susceptibilidad a FRM son las metodologías estadísticas, estas demostraron ser eficientes y lograron un buen desempeño en las curvas de éxito en comparación con la metodología multicriterio (AHP). Los porcentajes alcanzados en el área bajo la curva por las metodologías Índice estadístico W_i y Pesos de evidencia $WofE$ superaron el 70%. Esto confirma que los métodos estadísticos representan una herramienta adecuada en la evaluación de la susceptibilidad a FRM, aportando procedimientos objetivos y cuantitativos para la zonificación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.
- Se recomienda crear proyectos orientados a la evaluación espacial con SIG para el análisis territorial de la infraestructura y operación del transporte, con la perspectiva del riesgo y la vulnerabilidad desde un enfoque multidisciplinario, a partir de la concepción integral de los factores que los determinan, como son los medioambientales, sociales, políticos y económicos.
- Se recomienda el uso de métodos estadísticos debido a que evitan la subjetividad de asignar pesos a las variables condicionantes de forma cualitativa como en las metodologías multicriterio. Los métodos estadísticos proporcionan resultados confiables que pueden ser verificados fácilmente en campo.