

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE MÉTODOS DE ZONIFICACIÓN Y
EVALUACIÓN DE RIESGOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN PALLATANGA,
ECUADOR (ESCALA 1:50.000)**

**LITERATURE REVIEW ON ZONING METHODS AND RISK ASSESSMENT FOR
LAND RISKS IN PALLATANGA, ECUADOR (SCALE 1:50,000)**

Nataly Cristina Pavón Ayala¹
Oscar Vinicio Garzón Collahuazo²

Resumen

El objetivo de este artículo es realizar una completa revisión bibliográfica sobre métodos de evaluación y zonificación de riesgos por movimientos en masa en Pallatanga, Ecuador, escala 1:50.000, considerando aspectos teóricos relevantes. La metodología empleada es de tipo descriptivo, utilizando como método principal la observación documental. Para la recolección de información secundaria, se han considerado artículos científicos, tesis y bases de datos. Se concluye que para una gestión efectiva del riesgo de fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, es fundamental integrar la comprensión de las unidades ambientales, la fisiografía, y las características fotogeológicas, junto con la zonificación de la amenaza y vulnerabilidad, lo que permite evaluar y reducir la susceptibilidad a estos eventos de manera precisa.

Palabras clave: geología, geomorfología, fenómenos de remoción en masa, zonificación, amenazas.

Abstract

The objective of this article is to conduct a complete bibliographic review on methods for assessing and zoning the risks of landslides in Pallatanga, Ecuador, at a scale of 1:50,000, considering relevant theoretical aspects. The methodology used is descriptive, using documentary observation as the main method. For the collection of secondary information, scientific articles, theses and databases have been considered. It is concluded that for an effective management of the risk of landslides in the Pallatanga canton, it is essential to integrate the understanding of the environmental units, physiography, and photogeological characteristics, together with the zoning of the threat and vulnerability, which allows to evaluate and reduce the susceptibility to these events in a precise manner.

Keywords: geology, geomorphology, removal phenomena in pots, zoning, threats.

Introducción

Los fenómenos naturales han dejado una marca devastadora a lo largo de la historia mundial, afectando tanto a vidas humanas como a la economía local y global. Entre los más significativos se encuentran los huracanes, deslizamientos, erupciones volcánicas y sismos, que han dejado una huella trágica en numerosas ciudades alrededor del mundo. Los movimientos en masa representan uno de los eventos naturales más comunes y peligrosos, influenciados por

Recepción: 10 de Junio de 2024 / Evaluación: 18 de Julio de 2024 / Aprobado: 26 de Agosto de 2024

¹ Ingeniera en Geología. Email: natycris_88@hotmail.com.

² Ingeniero en Geología. Email: ovgarzon@hotmail.com.

una interacción compleja de factores endógenos y exógenos que actúan como condicionantes y detonantes de estos fenómenos.

En la región cordillerana ecuatoriana, las fallas geológicas desempeñan un papel crucial como factores condicionantes, alterando el macizo rocoso mediante fuerzas de compresión y distensión. Estos procesos no solo modifican las propiedades físico-mecánicas de las rocas, sino que también facilitan la acción erosiva de agentes naturales como el agua y el viento, particularmente durante períodos de intensas precipitaciones.

El cantón Pallatanga, ubicado sobre la zona de fallas geológicas conocidas como Pallatanga - Cañi - Chimbo y Bulu - Bulu, presenta una notable susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa y sismos. La falta de estudios detallados sobre estos eventos por parte de instituciones como el IEE, INIGEMM y SNGR ha resaltado la necesidad urgente de evaluar y zonificar estos riesgos para informar adecuadamente la planificación territorial, el uso del suelo y la gestión de riesgos en la región.

Fundamentación teórica

Morfología

El sistema montañoso del cantón forma parte de la cordillera Occidental, caracterizada por tener una topografía accidentada. El cantón Pallatanga está atravesado por la cordillera de Quirola, formada por las lomas: Chaupiurcu (4321 msnm), corredor Rumi (4099 msnm), Talan Pala y el cerro Shilile (4294 msnm), entre las más importantes; hacia el oriente existen elevaciones con mayor desnivel relativo como: la loma Garza Huañuna (4337 msnm) y loma Calentaderos (3800 msnm.).

Hidrografía

El área de estudio tiene como sistema hidrográfico principal el río Chimbo, con sus principales afluentes, los ríos Citado, Malpote, Pangor, Salsipuedes y Coco, este último atraviesa el poblado de Pallatanga de norte a sur; cuenta con 7 subcuencas hidrográficas, cuyos drenajes principales tienen una dirección NE-SW, que desembocan en la cuenca del río Guayas.

Clima y Vegetación

El clima en el área de estudio es muy variable influenciado por las condiciones topográficas y la vegetación. En general, es primaveral, en la parte central, hacia el oriente se tiene un clima frío de páramo.

Población y Situación Económica

“El cantón tiene 11.544 habitantes y representa el 2.26% del total de la población provincial (509.352 habitantes). La población está asentada en el área urbana, 33.03% y en el área rural el 66.97% del total de la población cantonal, lo que indica que es un cantón eminentemente rural”.(Romero, Alarcón, Segovia, & Cuadrado, 2013)

Vías de acceso

El cantón Pallatanga cuenta con vías de conectividad tanto internas como externas, de primer y segundo orden. La vía interprovincial Chimborazo – Guayas pasa por la ciudad, tiene una jerarquización funcional importante ya que conecta la sierra con la costa ecuatoriana, consta de dos carriles con acabado de pavimento rígido.

Climatología

La climatología se ocupa del estudio del clima y sus variaciones a lo largo del tiempo cronológico, utilizando variables meteorológicas como la temperatura del aire, la humedad atmosférica, la precipitación, la heliofanía, la evaporación, la evapotranspiración, la dirección y velocidad del viento, y la nubosidad. En cuanto a la precipitación, se refiere a todas las formas

de humedad que se depositan en la superficie terrestre provenientes de la atmósfera, tales como la lluvia, el granizo, el rocío, la neblina, la nieve o la helada (Manosalve Sáenz, 2002). Por otro lado, la temperatura del aire se define como el grado de calor específico en un lugar y momento determinados, así como su evolución temporal y espacial en distintas zonas climáticas. Para medirla, se utilizan instrumentos como el psicrómetro (con un termómetro seco y uno de bulbo húmedo), el termómetro de mínima (con líquido alcohol), el termómetro de máxima (con líquido mercurio) y el termógrafo. Se mide en °C o °F (Manosalve Sáenz, 2002). La evapotranspiración abarca la pérdida de agua desde una superficie, ya sea líquida o sólida saturada, por medio de la evaporación y la transpiración de las plantas. Esto puede presentarse como evapotranspiración real, que refleja las condiciones atmosféricas y de humedad del suelo, o como evapotranspiración potencial, que considera un abastecimiento constante de humedad en el suelo en todo momento (Manosalve Sáenz, 2002). Finalmente, el balance hídrico se deriva del concepto de balance de materia, representando el equilibrio entre los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen de él en un intervalo de tiempo determinado.

Geología

El área estudiada, descrita por (McCourt, Duque, & Pilatasig, 1997), comprende una secuencia de rocas máficas y ultramáficas de afinidad oceánica, expuestas en la cordillera Occidental como lajas tectónicas. Este conjunto se interpreta como alóctono y probablemente representa una secuencia ofiolítica incompleta y desmembrada, accretada al continente sudamericano durante el Cretácico tardío. Además, según (Thalman, 1946), la Formación Yunguilla es una secuencia de abanico turbidítico marino de al menos 2000 m de espesor, ubicada en el margen oriental de la cordillera Occidental cerca de la zona de falla Calacalí – Pallatanga. La Unidad Macuchi (PcEM), descrita por (McCourt, Duque, & Pilatasig, 1997), corresponde a una secuencia de arco submarino, compuesta por areniscas volcánicas, brechas, tobas, limolitas volcánicas y basaltos. El Grupo Angamarca, una secuencia de cuenca siliciclástica del Paleógeno temprano a medio, incluye formaciones como la Apagua, Gallo Rumi, Pilaló, Unacota y Rumi Cruz. La Formación Apagua (PcEA), designada por (Egüez & Bourgois, 1986), está compuesta por lutitas y limolitas intercaladas con areniscas feldespáticas, datando del Paleoceno medio al Eoceno tardío según foraminíferos presentes. El Grupo Saraguro (E-MS), descrito por (Duque, 2000), consiste en rocas volcánicas calco-alcalinas de edad Eoceno medio tardío a Mioceno temprano. La Formación Cisarán (MCn), según (Dunkley & Gaibor, 1997), está compuesta por sedimentos volcano-clásticos y lavas andesíticas y dacíticas, con una edad de aproximadamente 6.8 ± 0.8 millones de años. Además, se encuentran depósitos cuaternarios como los coluviales y coluvio aluviales, así como depósitos aluviales distribuidos a lo largo de los ríos y cuencas hidrográficas del cantón.

Geología Local

El área estudiada, descrita por (McCourt, Duque, & Pilatasig, 1997), comprende una secuencia de rocas máficas y ultramáficas de afinidad oceánica expuestas en la cordillera Occidental como lajas tectónicas. Este conjunto se interpreta como alóctono y probablemente representa una secuencia ofiolítica incompleta y desmembrada, accretada al continente sudamericano durante el Cretácico tardío. Según (Thalman, 1946), la Formación Yunguilla es una secuencia de abanico turbidítico marino de al menos 2000 m de espesor, ubicada en el margen oriental de la cordillera Occidental cerca de la zona de falla Calacalí – Pallatanga. La Unidad Macuchi (PcEM), descrita por (McCourt, Duque, & Pilatasig, 1997), corresponde a una secuencia de arco submarino, compuesta por areniscas volcánicas, brechas, tobas, limolitas volcánicas y basaltos. El Grupo Angamarca, una secuencia de cuenca siliciclástica del Paleógeno temprano a medio, incluye formaciones como la Apagua, Gallo Rumi, Pilaló, Unacota y Rumi Cruz. La Formación Apagua (PcEA), designada por (Egüez & Bourgois,

1986), está compuesta por lutitas y limolitas intercaladas con areniscas feldespáticas, datando del Paleoceno medio al Eoceno tardío según foraminíferos presentes. El Grupo Saraguro (E-MS), descrito por (Duque, 2000), consiste en rocas volcánicas calco-alcalinas de edad Eoceno medio tardío a Mioceno temprano. La Formación Cisarán (MCn), según (Dunkley & Gaibor, 1997), está compuesta por sedimentos volcano-clásticos y lavas andesíticas y dacíticas, con una edad de aproximadamente 6.8 ± 0.8 millones de años. Además, se encuentran depósitos cuaternarios como los coluviales y coluvio aluviales, así como depósitos aluviales distribuidos a lo largo de los ríos y cuencas hidrográficas del cantón.

Segmento Bulu - Bulu –Zhucay – estero Las Piedras – San José Chico

La falla Bulu-Bulu sigue el río homónimo hacia el noreste, actuando como límite entre la unidad Pallatanga y formaciones del Eoceno (CODIGEM, et al. 1997). Desde el cerro Bueysirina, muestra evidencias claras de movimiento, como relieves desplazados y control de drenaje. Cruza el río Chanchán y cambia de dirección hasta Pistishí, presentando deslizamientos importantes cerca de Huigra. Continúa por Alausí y Tixán, donde se han registrado sismos, incluyendo un enjambre sísmico en 1988 de hasta 5.0 grados, y sigue hacia Palmira y Guamote, con abundantes deslizamientos y control topográfico (CODIGEM, et al. 1997).

Geomorfología

La geomorfología, según Gutiérrez-Valdés (1989), estudia sistemáticamente las formas del relieve terrestre y sus orígenes, integrando aspectos genéticos, evolutivos y dinámicos para comprender su formación y evolución. Esta disciplina se centra en la identificación y zonificación de unidades geomorfológicas, analizando características morfogénicas y morfodinámicas del terreno. Según Gutiérrez-Valdés (1989), se divide en morfo-grafía, que describe y mide las formas; morfo-génesis, que explica su surgimiento; y morfodinámica, que estudia los procesos actuales. Los procesos endógenos deforman la corteza desde el interior, mientras que los exógenos, como agua, hielo, viento y actividades humanas, moldean la superficie influenciados por el clima.

Acosta et al. (2009) define las unidades ambientales como áreas homogéneas que integran características físicas, bióticas y procesos ecológicos, articulando elementos como relieve, litología, suelos, uso del suelo y vegetación. Según Van Zuidan (1979), la fisiografía describe aspectos físicos de la tierra, derivándose de las palabras griegas para naturaleza y descripción. Las características morfogenéticas describen las formas del relieve según su origen, influenciadas por procesos geológicos y climáticos. Las formas del relieve pueden tener origen deposicional, acumulativo, denudativo, estructural plegado, tectónico denudativo o volcánico, cada una representando distintos procesos geológicos. Desde el punto de vista geomorfológico, el paisaje se define como la forma actual de la superficie terrestre, equivalente al relieve en este estudio investigativo. Las características morfo-métricas incluyen medidas como la altitud del terreno, el desnivel relativo y la inclinación del terreno, fundamentales para la valoración de las formas presentes en la superficie

Inclinación del terreno

Se refiere al ángulo de inclinación del terreno; está expresado en porcentaje.

Se la determina por el gradiente topográfico:

Formula No. 1 Gradiente topográfico

$$i = \frac{h2 - h1}{l}$$

Donde:

i: pendiente

h2: cota mayor h1: cota menor

l: distancia en planta entre h2 y h1

La longitud de la vertiente es la distancia inclinada entre la parte más alta y la más baja de una unidad geomorfológica, medida en metros, y está directamente relacionada con procesos como la erosión y movimientos en masa. Los patrones y la densidad de drenaje son controlados por aspectos litológicos y estructurales, determinando la formación de redes de escorrentía en la superficie terrestre. La densidad de drenaje, que indica el espaciamiento entre los cursos de agua, refleja la resistencia a la erosión de los materiales, siendo mayor en áreas con litología más resistente.

Geoforma

El tipo de forma del relieve se define mediante un nombre representativo basado en sus características paisajísticas, y puede clasificarse en varias categorías. Primero, las geoformas de origen deposicional incluyen terrazas bajas y cauces actuales, las cuales abarcan tanto el lecho del río como la terraza baja contigua, que son difíciles de distinguir y presentan dinámicas constantes, especialmente en épocas lluviosas. Asimismo, se consideran terrazas medias, que son superficies planas limitadas por escarpes, correspondientes a antiguos niveles de sedimentación del río con pendientes bajas debido a la erosión. En un nivel superior, se encuentran las terrazas altas, que se ubican sobre las terrazas medias y representan los niveles de sedimentación más antiguos, caracterizadas por una disección acentuada y vegetación frondosa. Además, las geoformas de origen deposicional acumulativo comprenden superficies de cono de deyección, tanto antiguas como recientes, que se forman por sedimentos en zonas de pie de monte o al pie de laderas, con ciertos grados de disección. De igual manera, incluyen coluviones antiguos, formados por depósitos angulares transportados por gravedad desde la parte alta de las laderas, los cuales pueden ser aluviales o no, y presentan vegetación que indica madurez. Por otro lado, las geoformas de origen denudativo abarcan gargantas con vertientes pronunciadas formadas por procesos de erosión hídrica, escarpes de deslizamiento y escarpes de falla causados por desplazamientos de material en la ladera. También incluyen barrancos, que son desniveles bruscos debido a la erosión de cursos de agua, flujos alargados y estrechos de suelo o detritos que fluyen por cauces, y encañonamientos, que son incisiones lineales excavadas por la acción del agua en terrenos influenciados estructuralmente. A su vez, los relieves colinados y montañosos pueden originarse de procesos de denudación por agentes como el agua, glaciares o viento, o por estructuras plegadas y tectonismo en rocas sedimentarias consolidadas, y se categorizan según su desnivel relativo. En el caso de geoformas de origen volcánico, los relieves volcánicos colinados y montañosos se forman por la acumulación de material volcánico reciente. Finalmente, los fenómenos de geodinámica interna incluyen la formación de montañas por plegamientos y orogénesis en zonas de convergencia de placas, el vulcanismo debido al ascenso del magma por aumento de presión, y la sismicidad relacionada con disturbios tectónicos o volcánicos. Por otra parte, los fenómenos de geodinámica externa abarcan la acción erosiva y sedimentaria del agua, la influencia del sol en los procesos terrestres mediante variaciones de temperatura, la gravedad que provoca descensos de materiales en pendientes, la erosión por viento en regiones secas, y la acción de organismos vivos y vegetación que desgastan rocas por medios mecánicos y químicos.

Fenómenos de remoción en masa

Los diferentes procesos de movimientos en masa, implican tal cantidad de procesos y factores que ofrecen ilimitadas posibilidades de clasificación.

Pueden diferenciarse en función del tipo cinemático de movimiento, tipo de material movilizado, según su estado de actividad, velocidad del movimiento y etapa de desarrollo, entre otros.

La proliferación de clasificaciones, ha dado lugar a una copiosa terminología científica, el término genérico para designar a los movimientos en masa, es diferente, tal como indica Crozier, (1986): slope failure Ward, (1945), mass wasting, Yatsu, (1966), mass movement (Hutchinson, 1968), landslides Varnes, (1958), y slope movement Varnes, (1978).

Existen otras clasificaciones que han tenido acogida en la época que fueron publicadas. La clasificación de Terzagui, (1943) está basada en las propiedades físicas de las rocas afectadas, Sharpe, (1938), clasifica los movimientos de masa en función del material movilizado, tipo de velocidad y movimiento. No hay consenso en cuanto al sistema de clasificación de movimientos en masa a utilizar, puesto que todas las clasificaciones existentes tienen sus limitaciones. Actualmente las clasificaciones más consistentes son las de Varnes, (1978), Hutchinson, (1988) y Cruden y Varnes, (1996).

Como la terminología es variada según los distintos autores conviene precisar, en primer lugar, el término deslizamiento que Cruden, (1991) define como: el movimiento de una masa de rocas, detritos o tierras hacia abajo de una ladera. Habitualmente se usa el término deslizamiento en un sentido amplio para designar casi todas las variedades de procesos de movimientos en masa producidos en las laderas, incluyendo algunos como: caídas, vuelcos o flujos, en los que no hay deslizamiento o es muy pequeño Varnes (1984).

El término movimiento en masa es el más preciso para designar genéricamente estos procesos.

Según Cruden, (1996), el término fenómenos de remoción en masa incluye todos aquellos movimientos de ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad.

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de „movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores. Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad Cruden, (1991).

Los movimientos en masa pueden diferenciarse por el tipo de material involucrado y las características del movimiento.

La escala de velocidades hecha por Cruden y Varnes (1996) es un parámetro importante, ya que permite conocer la intensidad de los movimientos en masa y correlacionar con la amenaza que puede significar cada uno. La velocidad depende de parámetros intrínsecos externos y la cantidad de material.

Tipos de procesos por movimientos en masa

Las caídas o desprendimientos son movimientos rápidos a extremadamente rápidos de uno o varios bloques de suelo o roca desde acantilados, riberas empinadas, límites de mesetas, escarpes de falla, cortes de vías o canteras, cuando las pendientes superan el equilibrio límite de los materiales (Varnes, 1978). Estos eventos se caracterizan por una superficie de rotura que puede ser planar, en cuña, escalonada o vertical, y sus causas incluyen la formación de hielo en diaclasas y la erosión fluvial (Varnes, 1978).

Los vuelcos, según Cruden y Varnes (1996), son rotaciones hacia adelante de bloques de suelo o roca alrededor de un punto de giro en su base, y suelen ocurrir en rocas con estructuras

verticales como pizarras, filitas y esquistos. Influenciados por ciclos de hielo y deshielo, meteorización salina y disolución en calizas, los vuelcos pueden desarrollarse en grandes escarpes para rocas y en pequeños para detritos (Cruden y Varnes, 1996).

Los deslizamientos, clasificados por Varnes (1978), se dividen en traslacionales y rotacionales, moviéndose a lo largo de superficies de falla planas u onduladas, o sobre superficies circulares de rotura con velocidad que varía desde rápida a extremadamente rápida. Los deslizamientos traslacionales suelen ocurrir a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas o planos de estratificación, mientras que los rotacionales se desarrollan en zonas de intensa deformación por cizallamiento (Varnes, 1978).

Los flujos, según Hungr et al. (2001), son movimientos en masa que muestran comportamiento similar al de un fluido, clasificados por tipo de material, humedad, velocidad y confinamiento lateral. Incluyen flujos de detritos rápidos a extremadamente rápidos en canales de pendiente pronunciada y avalanchas no canalizadas de detritos saturados (Hungr et al., 2001).

La reptación de suelos se refiere al desplazamiento lento de suelo y detritos pendiente abajo, afectando la capa superficial de la ladera y a menudo manifestándose en la inclinación de árboles y estructuras construidas (Varnes, 1978). Las cárcavas, por su parte, son surcos formados por la erosión de aguas superficiales en laderas con poca cobertura vegetal y sujetas a lluvias estacionales o intensas.

Finalmente, la fotointerpretación, como técnica de obtención de información geológica, geomorfológica e hidrográfica mediante observación estereoscópica, se utiliza para identificar litologías, estructuras y patrones de drenaje en función de la tonalidad y textura de las fotografías (Andrade & Cabrera, 2013).

Identificación de los fenómenos de remoción en masa a través del análisis de fotografía aérea digital

La resolución espacial requerida para el reconocimiento de los principales rasgos de FRM es de unos 10 metros (Richards, 1982). Sin embargo, tal reconocimiento depende en gran medida de la habilidad y experiencia del intérprete. Pueden utilizarse escalas aero - fotográficas tan pequeñas como 1:60.000.

La presencia de agua en pequeñas cantidades, sin ser el agente principal, influye en el desarrollo de estos fenómenos, con más frecuencia en los terrenos escarpados de las vertientes de los ríos, lagos, acantilados, y áreas geológicamente jóvenes.

Características fotogeológicas de los procesos de remoción en masa

La identificación de procesos de remoción en masa a través de fotografías aéreas básicamente es la discriminación de rasgos semejantes para cada fenómeno de remoción en masa;

Flujos: se toma en cuenta los drenajes principales y secundarios, con tonalidades grises claras a oscuras, siendo los tonos claros la zona de inicio del flujo, mientras que los tonos oscuros corresponden a depósito de materiales arrastrados.

Avalanchas: presentan direcciones de flujo de materiales lineales con tonalidades claras.

Deslizamientos: ausencia de vegetación, la forma circular del escarpe principal, tonalidades claras, cambio de la textura de la foto.

Análisis de susceptibilidad a procesos de remoción en masa

El riesgo se define como la probabilidad de que ocurran consecuencias perjudiciales, como víctimas, daños materiales o interrupciones económicas, resultado de la interacción entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad (Vivir con el riesgo: énfasis en la reducción del riesgo de desastres, 2012). Las amenazas, por su parte, son eventos

físicos o actividades humanas potencialmente perjudiciales que pueden causar daños, interrupciones sociales o degradación ambiental, ya sea de origen natural (geológico, hidrometeorológico, biológico) o antrópico (degradación ambiental y tecnológica), con características variables de localización, magnitud, frecuencia y probabilidad (Vivir con el riesgo: énfasis en la reducción del riesgo de desastres, 2012). La vulnerabilidad refleja las condiciones sociales, económicas, ambientales y físicas que aumentan la susceptibilidad de una comunidad frente al impacto de estas amenazas (Vivir con el riesgo: énfasis en la reducción del riesgo de desastres, 2012).

Formula No.2

$$\begin{aligned} &\text{Riesgo} \\ &R=A*V \end{aligned}$$

Donde:

R: riesgo

A: Amenaza

V: Vulnerabilidad

Zonificación de la amenaza

Los métodos para sintetizar los factores de información y obtener mapas de amenaza se clasifican en tres tipos: método implícito, semi-implícito y explícito. El método implícito implica la zonificación realizada por expertos basados en observación directa y experiencia. El semi-implícito también es observacional pero utiliza listas de chequeo para reducir la subjetividad. Los métodos explícitos, a su vez, se subdividen en empírico y semi-analítico. El primero utiliza puntajes ponderados asignados por especialistas basados en conocimiento local y experiencia, facilitando su aplicación en sistemas de información geográfica (SIG), aunque la asignación de puntajes precisa puede ser crucial para resultados efectivos (Vivir con el riesgo: énfasis en la reducción del riesgo de desastres, 2012).

La generación de procesos de remoción en masa se ve condicionada por factores naturales como la geomorfología, geología, geotecnia y vegetación, que controlan la susceptibilidad de una zona a estos fenómenos (Sepúlveda, 1998). Además, factores antrópicos como cambios en la topografía, condiciones de humedad, vibraciones por actividad humana, y modificaciones en la cobertura vegetal y estructural, también contribuyen significativamente a la inestabilidad del terreno (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2009).

La interacción compleja de estos factores determina la susceptibilidad y la eventualidad de procesos de remoción en masa, subrayando la importancia de considerar múltiples variables en la evaluación y gestión de riesgos geológicos (Suárez, 1998)

Método de Brabb

Es un método estadístico univariado, que relaciona el mapa de FRM, con la litología y pendientes. Utiliza información que puede ser accesible y fácilmente obtenida a través de la fotointerpretación y salida de campo. Este método determina la susceptibilidad a la ocurrencia de FRM.

Método de Mora Varhson

Esta metodología permite obtener una zonificación de la susceptibilidad del terreno a deslizarse, mediante la combinación de la valoración y peso relativo de diversos indicadores morfo-dinámicos, la cual es sencilla de implementar en un SIG.

Los mapas generados con esta metodología se utilizan y aplican como instrumentos en la toma de decisiones para los procesos de planificación del uso del terreno, explotación de recursos naturales y el desarrollo de infraestructura y urbanismo y líneas vitales (Mora, R. et

al., 1992). El resultado de su aplicación será una mejor comprensión de los procesos de remoción en masa en el área de estudio.

La metodología permite desarrollar una aproximación del grado de amenaza y/o peligro a procesos de remoción en masa, además de ser valiosa en la identificación de áreas críticas y útil en la orientación de prioridades en cuanto al destino de los recursos.

Esta metodología no debe sustituir los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, necesarios para el diseño y concepción de las obras civiles y sus complementos de protección y mitigación correspondientes (Mora, R. et al., 1992).

Factores y parámetros utilizados por la metodología de Mora Varhson

La metodología se aplica mediante la combinación de varios factores y parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfo-dinámicos y su distribución espacio-temporal.

La combinación de los factores y parámetros se realiza considerando que los fenómenos de remoción en masa ocurren cuando en una ladera, compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos) (Mora, R. et al., 1992). Bajo estas condiciones, los factores externos y dinámicos, como son la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) y en ocasiones la actividad antrópica, actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera (Mora, R. et al., 1992).

Es así como se considera que el grado de amenaza a procesos de remoción en masa, es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo (Mora, R. et al., 1992):

Fórmula No. 3 Amenaza a procesos de remoción en masa

$$H = EP * D$$

Dónde:

H: grado de susceptibilidad a procesos de remoción en masa

EP: valor producto de la combinación de los elementos

pasivos D: valor del factor de disparo.

Por su parte el valor de los elementos pasivos se compone de los siguientes parámetros (Mora, R. et al., 1992):

Fórmula No. 4 Elementos pasivos

$$EP = S_1 * S_h * S_p$$

Dónde:

D : valor del parámetro de disparo por sismicidad

S

D : valor del parámetro de disparo por lluvia

II

Sustituyendo los parámetros apropiados, la ecuación original se puede expresar como

(Mora, R. et al., 1992):

Fórmula No. 6 Grado de amenaza

$$H = (S_l * S_h * S_p) * (D_s + D_{ll})$$

Dónde:

H: amenaza por procesos de remoción en masa

S: valor del parámetro de susceptibilidad litológica

l

S: valor del parámetro de humedad del terreno

h

S: valor del parámetro de la pendiente

p

D: valor del parámetro de disparo por sismicidad

s

D: valor del parámetro de disparo por lluvia

ll

De esta ecuación se pueden derivar las relaciones (Mora, R. et al., 1992):

$$H_s = (S_l * S_h * S_p) * (D_s)$$

$$H_{ll} = (S_l * S_h * S_p) * (D_{ll})$$

Dónde:

H: amenaza a procesos de remoción en masa por sismicidad

s

H: amenaza a procesos de remoción en masa por lluvias

ll

Método de mora Varhson modificado

Para la determinación de la amenaza por movimientos en masa se toma como base la metodología de Mora - Vahrson, modificada de acuerdo a la información disponible en el "Proyecto de Generación de Geoinformación a Nivel Nacional".

$$H = (S_m * S_c * S_l) * (T_s + T_p)$$

Dónde:

H: grado de amenaza de las unidades geomorfológicas

S_m: factor morfométrico

S_c: factor de cobertura vegetal

S_l: factor litológico

T_s: factor de disparo por sismos

T_p: factor de disparo por lluvias

La metodología consiste básicamente en realizar operaciones de los factores condicionantes y detonantes. Posteriormente se procede a relacionar dichos factores con valores de ponderación, para determinar una categorización de la amenaza para la ocurrencia de cada FRM.

Factor morfométrico (Sm)

Este factor representa una operación de las unidades geomorfológicas, que considera a la pendiente del terreno y la longitud de vertiente. Estos insumos se encuentran en la base de datos de los cantones estudiados dentro del proyecto "Generación de Geoinformación para la Gestión

del Territorio a Nivel Nacional” desarrollado por el IEE, categorizando a las pendientes y longitudes de vertientes para agruparlas en las siguientes clases:

Pendiente

Es el grado de inclinación del terreno con relación a la horizontal, expresado en porcentaje.

Longitud de vertiente

Corresponde a la distancia inclinada existente entre la parte más alta y la parte más baja de una forma del relieve, medida en metros.

Hay que tomar en cuenta que la valoración de ponderación para el rango de cada factor geomorfológico, varía según sea el caso de ocurrencia de FRM. Una vez definidos los valores de ponderación, para estos dos parámetros se tiene una categorización del factor morfométrico de acuerdo a la siguiente fórmula:

Fórmula No. 7 Factor morfométrico método de Mora Varhson modificado

$$Sm = 4 * P + Lv$$

Dónde:

S_m : factor morfométrico

P: pendiente del terreno en porcentaje

L_v : longitud de vertiente

Proporcionando mayor peso a la pendiente ya que este parámetro tiene una influencia directa en la probabilidad de ocurrencia de FRM en relación a la longitud de vertiente.

Factor litológico (SI)

Se refiere a la composición mineralógica del sustrato rocoso y a la composición superficial del terreno, pero principalmente al estado en el que se encuentra dicha litología, se considera la información bibliográfica y las visitas de campo.

Para la ponderación del factor litológico se toma en cuenta la categorización realizada por Mora – Vahrson (1993) y se la relaciona con las formaciones geológicas. Ejemplo de categorización de formaciones geológicas:

Factor cobertura del suelo (Sc)

La influencia de la vegetación sobre la estabilidad del terreno ha sido muy debatida en los últimos años; incluso ha dejado muchas dudas e inquietudes en relación a la cuantificación de los efectos de estabilización; sin embargo se ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar la erosión, reptación y fallas sub-superficiales (Suárez, 1998).

Fórmula No.8 Grado de susceptibilidad de Mora Varhson modificado

$$S = (S_m) * (S_c) * (S_l)$$

Dónde:

S: grado de susceptibilidad

S_m : factor morfométrico

S_c : factor de cobertura vegetal

S_l : factor litológico

Factor de disparo por sismos (Ts)

Basado el criterio de Mora – Vahrson (1993), para la categorización del factor de disparo hace una relación entre la escala de Mercalli modificada y la escala de Richter.

La ponderación del factor de disparo por sismos se realiza según los rangos de magnitud de la escala de Richter, considerando los efectos que tiene la magnitud de los sismos en la superficie, estableciendo:

Factor de disparo precipitaciones (Tp)

Para establecer valores de ponderación, se toma en cuenta la precipitación media mensual de las estaciones cercanas de la zona de estudio.

Grado de amenaza de las unidades geomorfológicas

Para la determinación del grado de amenaza de las unidades geomorfológicas se realiza la siguiente fórmula:

Fórmula No. 9 Grado de amenaza método de Mora Varhson modificado

$$H = (S_m * S_c * S_l) * (T_s + T_p)$$

Dónde:

H: grado de amenaza de las unidades geomorfológicas

S_m: factor morfométrico

S_c: factor de cobertura vegetal

S_l: factor litológico

T_s: factor de disparo por sismos

T_p: factor de disparo por lluvias

Con los valores obtenidos se categoriza la amenaza en cuatro clases de grado, muy alto, alto, medio y bajo. Los cuadros de ponderación de amenaza se observa en la aplicación del modelo de amenaza para cada evento.

Zonificación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa

La susceptibilidad es la potencialidad de un terreno o área a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa.

Consiste en una evaluación de los factores condicionantes como: geología (unidades litológicas), pendiente del terreno, geomorfología, y uso actual del suelo, elaborados a partir de interpretación de fotografía aérea, trabajo de campo y compilación de eventos históricos. Todos a la escala de trabajo escogida.

Evaluación de amenazas/peligros por fenómenos de remoción en masa

La probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente nocivo, dentro de un período específico de tiempo y en un área dada, se conoce como amenaza por remoción en masa.

La evaluación de la amenaza, es el proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento en un tiempo dado y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y ubicación geográfica de eventos probables.

El grado de amenaza puede ser:

Amenaza muy alta. Zona donde existen actualmente fenómenos de remoción en masa.
Amenaza alta. Zona donde existe una probabilidad mayor del 44 % de que se presente un fenómeno de remoción en masa.

Amenaza media. Zona donde existe una probabilidad entre el 12 y 44 % de que se presente un fenómeno de remoción en masa.

Amenaza baja. Zona donde existe probabilidad menor del 12%

Medidas de prevención y mitigación

Los movimientos en masa no son susceptibles de un total manejo; sin embargo el riesgo que pueden generar si puede ser evitable. Los análisis de riesgo conducen a identificar la mitigabilidad de los mismos, es decir si sus causas y consecuencias pueden ser reducidas o no. Para reducir el riesgo existen dos tipos de medidas generales que se presentan a continuación.

Medidas estructurales

Las medidas estructurales se refieren a la intervención física mediante el desarrollo o refuerzo de obras de ingeniería.

La reducción de la amenaza se hace a través de medidas estructurales, que tienden a controlar o encausar el curso físico de un evento, o reducir la magnitud y frecuencia del mismo.

Reducción de la vulnerabilidad estructural consiste en la reducción al mínimo posible de daños materiales mediante la modificación de la resistencia y variando los niveles de exposición de los elementos expuestos, teniendo como objetivo mitigar el riesgo.

Sistemas de alerta temprana.

Medidas no estructurales

Corresponde a todas aquellas acciones más de tipo educativas o de aplicación legislativa de gestión, organización, educación, etc., que se adelantan para disminuir los efectos de un evento, por lo general se ven como una complementación de las medidas estructurales para la mitigación del riesgo y son las que promueven al interior de la comunidad para lograr organización, el fortalecimiento institucional y la información pública. Reducción de la vulnerabilidad no estructural son medidas en las cuales se promueve la interacción directa con la comunidad, y dependen directamente de las personas que habitan cerca de un proceso.

- ✓ Mapas de zonificación de amenaza y riesgo: conocer qué tipo de eventos pueden presentarse en una zona determinada, así no se pueda establecer cuando.
- ✓ Leyes y reglamentación: insumo que permite restringir el uso del suelo con fines urbanísticos en las zonas de alta y media amenaza, sectores en los cuales es necesario adelantar estudios detallados si se pretende dar uso urbano.
- ✓ Planes de ordenamiento territorial: inclusión del componente de riesgo en el modelo de ordenamiento territorial, con la incorporación de los siguientes temas:
- ✓ Mapa de amenaza por remoción en masa.
- ✓ Suelos de protección por riesgo.
- ✓ Suelos de tratamiento especial por riesgo.
- ✓ Información pública: continuo seguimiento a las zonas con probabilidad de riesgo.

Para la prevención se requiere de un sistema de vigilancia y advertencias, por medio de señales, para evitar la construcción en zonas susceptibles a procesos de movimientos en masa.

Los planes y reglamentos para el ordenamiento urbano son convenientes, con restricciones para la construcción sobre márgenes de ríos y zonas inestables.

Mediante la preparación para el caso de un desastre: sismos, deslizamientos, inundaciones e incendios, entre otros, se pretende evitar o reducir las pérdidas humanas y los daños materiales en instalaciones y bienes. Se debe preparar a las instituciones involucradas y a la población amenazada para la situación que posiblemente pueda producirse, tomando las medidas preventivas correspondientes que, aparte de la disposición de prepararse, de la

movilización del potencial de autoayuda de la población y de la puesta en práctica de un sistema de monitoreo, incluyen también lo siguiente:

- ✓ Elaboración participativa de planes de emergencia y de evacuación.
- ✓ Planes de coordinación y de intervención para rescate y socorro
- ✓ Entrenamiento y capacitación.
- ✓ Medidas infraestructurales y logísticas como albergues de emergencia.
- ✓ Establecimiento y/o fortalecimiento de estructuras de protección de desastres y de servicios de rescate.
- ✓ Simulacros.

Conclusiones

La definición y comprensión de las unidades ambientales y la fisiografía en el cantón Pallatanga son esenciales para identificar y evaluar los riesgos asociados a los fenómenos de remoción en masa. La integración de características físicas, bióticas y procesos ecológicos proporciona una visión holística de la zona, facilitando así la identificación de áreas vulnerables.

Aunque el agua no sea el agente principal, su presencia influye significativamente en el desarrollo de los fenómenos de remoción en masa en los terrenos escarpados del cantón Pallatanga. La comprensión de las características fotogeológicas de estos procesos es crucial para su identificación y análisis, permitiendo una evaluación más precisa de la susceptibilidad a estos eventos.

La zonificación de la amenaza y la vulnerabilidad en el cantón Pallatanga representa un paso fundamental para la gestión del riesgo ante fenómenos de remoción en masa. La categorización de la amenaza en diferentes grados, junto con la evaluación de la susceptibilidad del terreno, proporciona información clave para la toma de decisiones y la implementación de medidas efectivas de reducción del riesgo.

Referencias bibliográficas

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 035-64.
- Altschul, A. M., Yatsu, L. Y., Ory, R. L., & Engleman, E. M. (1966). Seed proteins. *Annual Review of Plant Physiology*, 17(1), 113-136.
- Andrade, X., & Cabrera, F. (2013). Base conceptual geomorfología. Quito.
- CODIGEM. (1997). Mapa geológico de la Cordillera occidental de Ecuador entre 3°-4° S, Escala 1: 200· 000.
- Crozier, I. G., Nicholls, M. G., Ikram, H. A. M. I. D., Espiner, E. A., Yandle, T. G., & Jans, S. I. E. G. F. R. I. E. D. (1986). Atrial natriuretic peptide in humans. Production and clearance by various tissues. *Hypertension*, 8(6_pt_2), III1.
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology & the Environment*, 43(1).
- Cruden, D. M. (1996). Cruden, dm, varnes, dj, 1996, landslide types and processes, transportation research board, us national academy of sciences, special report, 247: 36-75. *Transp Res Board*, 247, 36-57.
- Duque, P. (2000). Breve léxico estratigráfico del Ecuador. Quito: UCP PRODEMINCA.
- Dunkley, N., & Gaibor, A. (1997). Mapa geológico de la cordillera occidental del Ecuador entre 2-3 S. Escala 1:200.000. Quito: CODIGEM-BGS.

- Evans, S. G., Hungr, O., & Clague, J. J. (2001). Dynamics of the 1984 rock avalanche and associated distal debris flow on Mount Cayley, British Columbia, Canada; implications for landslide hazard assessment on dissected volcanoes. *Engineering Geology*, 61(1), 29-51.
- Fox Jr, R. O., & Richards, F. M. (1982). A voltage-gated ion channel model inferred from the crystal structure of alamethicin at 1.5-Å resolution. *Nature*, 300(5890), 325-330.
- Gutiérrez, V. (1989). Kartagener's syndrome. A case report. *Revista Cubana de Enfermería*, 5(1-2), 17-25.
- Manosalve Sáenz, G. (2002). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- McCourt, J., & Duque, P. (1997). Mapa geológico de la cordillera occidental del Ecuador entre 1-2 S. Escala 1:200.000. Quito: CODIG.
- Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993). Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. *Tecnología ICE*, 3(1), 32-42.
- Romero, F., Alarcón, P., Segovia, J., & Cuadrado, F. (2013). Perfil territorial del cantón Pallatanga. Riobamba: SNGR-ESPOCH.
- Suarez, J. (1998). Zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo. Quito: INECCEL.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*.
- Thalman, H. E. (1947). Index to New Genera, Species, and Varieties of Foraminifera for the Year 1945, with Supplements for the Period 1939-1944, and Addenda (1942-1945). *Journal of Paleontology*, 21(4), 355-395. <http://www.jstor.org/stable/1299306>.
- THALMANN HANS E., (1946). Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador, *Amer. Assi Petrol. Geol.*, V, pgs 14-45.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.
- Ward, W. H. (1945). The stability of natural slopes. *The Geographical Journal*, 105(5/6), 170-191.