

0. INTRODUCCIÓN.

En la historia de Colombia se recuerdan grandes tragedias provocadas por inundaciones, sismos, movimientos de masa, actividad volcánica, tsunamis, etc.; estos fenómenos hacen que la evolución del paisaje en el país sea un proceso dinámico, complejo y diverso. El Eje Cafetero, ubicado en la región andina, posee condiciones de relieve, clima, geología (orogénesis, tectónica, litología, erosión superficial), entre otras, que son ideales para que algunos de esos procesos se manifiesten amenazando a las comunidades asentadas allí; es el caso de los movimientos de masa.

En 1999 se presentaron dos fenómenos que pusieron en evidencia la dinámica de la evolución del paisaje del Eje Cafetero. Por un lado, el 25 de enero ocurrió un sismo a las 1:19 p.m. hora local, con magnitud 5.9, localizado en el municipio de Córdoba (Quindío), 2 km al Noreste de la cabecera municipal, con efectos en 28 municipios de los departamentos de Quindío, Valle del Cauca, Caldas, Tolima y Risaralda, afectando directamente unas 570 000 personas (CEPAL, 1999). El sismo disparó movimientos de masa en toda la región epicentral, además de agrietamientos, hundimientos y, en algunos sitios, alteraciones en afloramientos de agua. Los movimientos de masa obstruyeron durante varios días las vías de acceso, complicando las labores de rescate y los agrietamientos y hundimientos ocasionaron un incremento en la inestabilidad de las laderas de la zona.

Muchas de las acciones posteriores al sismo se orientaron hacia asuntos relacionados con la infraestructura, sin embargo, el entendimiento de los cambios en el paisaje fue aplazado o simplemente olvidado; en este contexto el proyecto Aproximación a un

Modelo de Susceptibilidad a los Movimientos de Masa en el Eje Cafetero surge como la posibilidad de contribuir al entendimiento de los movimientos de masa y cómo éstos afectan los cambios del paisaje tropical de montaña, aprovechando la ocurrencia prácticamente simultánea de dos eventos disparadores: lluvias y sismo.

A finales de enero y durante febrero de 1999 ocurrieron lluvias torrenciales, posiblemente relacionadas con el fenómeno climático La Niña, que afectaron la mayor parte del país; en la región epicentral alcanzaron niveles críticos hacia finales de febrero, ocasionando más movimientos de masa, muchos de ellos en laderas previamente agrietadas por el sismo. En trabajo de campo se encontraron evidencias para correlacionar estos eventos con la presencia de grietas y hundimientos cosísmicos. En diciembre del mismo año un nuevo periodo de intensas lluvias, que ocasionó efectos en toda la región andina, disparó flujos de lodo en el corregimiento de La Virginia, municipio de Calarcá (Quindío), asociados a la presencia de agrietamientos cosísmicos.

Por otro lado, la investigación sobre los procesos de remoción en masa en las áreas tropicales húmedas de montaña es todavía incipiente, entre otras razones por déficit de información y conocimientos sobre procesos que influyen en los mismos, tales como grado y espesor de meteorización de las rocas, grado de fracturamiento, niveles de humedad del terreno y la participación de los procesos antrópicos.

Con base en estos antecedentes se seleccionó un área de estudio, donde se concentraron los mayores efectos, para estudiar estos fenómenos y obtener información que permitiera generar conocimiento sobre la comprensión de los procesos y factores que definen la ocurrencia de movimientos de masa. El área comprende 1960 km², en los departamentos de Quindío, Valle del Cauca y Tolima, entre las coordenadas 1 120 000 W, 990 000 N y 1 169 000 W, 950 000 N. Como escala de trabajo se adoptó 1:100 000 y se identificaron la humedad, la geología y las pendientes como variables que en su interacción, a la escala elegida, pueden explicar la susceptibilidad a los movimientos de masa.

Entre las metodologías generalmente adoptadas para estudios de susceptibilidad se encuentran las cuantitativas, normalmente usadas a escalas grandes, en áreas con información detallada, y las cualitativas, aplicadas a escala regional. Por la densidad y calidad de la información básica disponible en la zona de estudio se adoptó una metodología heurística, con base en el tratamiento regional de las variables pendientes naturales, humedad del terreno y geología. Se construyeron submodelos de estas variables que fueron clasificados con base en reglas de decisión adaptadas de la literatura sobre el papel que juega cada una en los movimientos de masa y con base en evidencia empírica de casos documentados en Colombia.

Se desarrollaron tres modelos de susceptibilidad en cada uno de los cuales la región se clasificó en zonas de susceptibilidad a movimientos de masa muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Para este propósito se adquirió y procesó información cartográfica y temática disponible a diversas escalas entre 1:25 000 y 1:500 000, la cual se integró y manipuló en un sistema de información geográfica. Se efectuaron salidas de campo a la zona para la observación de fenómenos cosísmicos y se documentaron los efectos del sismo del 25 de enero y las lluvias de febrero y diciembre de 1999.

Por la falta de inventarios detallados, sistemáticos y homogéneos de movimientos de masa disparados por el sismo y las lluvias de enero y febrero de 1999, el objetivo principal del estudio se enfocó hacia la comprensión de los factores que intervienen en la generación de los movimientos de masa.

Se realizó una revisión lo más detallada posible tanto de estudios de caso como de teorías existentes sobre evolución del paisaje y movimientos de masa, para fundamentar la selección de variables y la metodología de modelamiento de la susceptibilidad del territorio a este tipo de fenómenos.

Se aplicaron los criterios (pendientes naturales, unidades geológicas e isohietas) de un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa desarrollado a escala 1:500 000 por el OSSO (1995a, b), el cual se trabajó a escala 1:100 000, en la zona. Este modelo se denominó **So**.

A partir de lo anterior se generaron otros dos modelos, a saber:

- **Som**: modificando la clasificación de las variables pendientes, geología y humedad del modelo anterior.
- **Sp**: a partir de Som, aplicando adicionalmente la variable estructuras geológicas.

Para evaluar la calidad y ajuste de cada modelo se realizó, de manera independiente, un inventario visual de huellas de movimientos de masa a partir de un modelo de sombras de la región. Por ser independiente del proceso de modelamiento, este inventario se adoptó como mapa de referencia para la validación. El área cubierta por cada clase de susceptibilidad, en cada uno de los tres modelos, se comparó con la densidad de huellas de movimientos de masa (número de huellas por km cuadrado), con base en la hipótesis que las áreas con clases de mayor susceptibilidad deben coincidir con mayores densidades de huellas.

El estudio realizado significa un avance con respecto a modelos regionales de susceptibilidad previamente realizados en Colombia, al incorporar variables como un modelo de humedad del terreno, obtenido a partir de isohietas y pisos térmicos, y un modelo geológico en el cual se considera, además de la litología, el grado de fracturamiento (fallas cartografiadas) y estructuras puntuales como rumbo y buzamiento de estratificación y foliación.

Aún cuando la metodología utilizada es heurística (cualitativa), el modelo finalmente obtenido puede ser utilizado como insumo para el ordenamiento territorial y para

cartografía de amenazas por movimientos de masa. Sin embargo, en razón de la metodología misma, no se recomienda extrapolar los resultados a otras áreas que puedan tener características litológicas, de pendientes y régimen climático diferentes.

Aunque con este trabajo no se llega a comprender la evolución del paisaje en el Eje Cafetero, en su complejidad total, los resultados son satisfactorios en cuanto a que se contribuye a entender uno de los procesos que generan cambios en las geoformas superficiales muy evidentes en el corto plazo. Se espera que este trabajo no solo sea un aporte significativo para la planificación del desarrollo de los municipios de la zona de estudio sino también un avance importante hacia el entendimiento de la evolución de los paisajes en el trópico húmedo de montaña.

Para una comprensión más detallada de los insumos y procesos de este trabajo, se incluyen, en los Anexos, los datos y memorias explicativas de la cartografía, la investigación sobre efectos geológicos inducidos por sismos en Colombia, el análisis de las precipitaciones durante el periodo 1982-1999, así como inventarios georreferenciados de movimientos de masa y análisis de susceptibilidad para los territorios de cada municipio del área del proyecto.