

1. CONTEXTO GENERAL.

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

Los movimientos de masa son un fenómeno frecuente en Colombia, donde han causado grandes pérdidas económicas y de vidas humanas. DESINVENTAR¹ reporta para Colombia, entre 1921 y 2001, 3243 movimientos de masa que afectaron 11 085 viviendas y destruyeron otras 7063. Muchos de estos eventos han estado asociados a periodos de lluvias fuertes.

En Colombia se han realizado diversos estudios sobre movimientos de masa enfocados a evaluar la susceptibilidad y la amenaza. Sin embargo han sido pocas las oportunidades de evaluar la acción conjunta de dos de los principales factores de disparo, como son los sismos y las lluvias.

El terremoto del 25 de enero de 1999 que tuvo como epicentro la región del Eje Cafetero de Colombia, disparó severos efectos sobre poblaciones y medio ambiente, asociados con condiciones topográficas, geológicas, meteorológicas y socioculturales. La información obtenida de medios de comunicación, junto con trabajo de campo

¹ DESINVENTAR: Base de datos de sobre desastres en Colombia. (www.desinventar.org)

inmediatamente después del sismo, permitió obtener evidencia de la ocurrencia de movimientos de masa co y postsísmicos.

Los fenómenos cosísmicos correspondieron en su mayor porcentaje a desprendimientos de taludes en vías construídas sobre cenizas volcánicas, principalmente cortes verticales o subverticales entre 2 y 6 metros de altura, que sufrieron desplome cerrando las vías, y agrietamientos longitudinales de centenares de metros que comprometieron ceniza volcánica y saprolitos; los fenómenos postsísmicos estuvieron relacionados con lluvias torrenciales ocurridas días después del sismo, con un pico máximo el 27 de febrero, las cuales precipitaron nuevos movimientos de masa en terrenos agrietados cosísmicamente, a la vez que reactivaron los preexistentes.

Durante 1998 y 1999 se registró un evento frío del Pacífico o La Niña (NOAA, 2001), que en la región Andina de Colombia se caracteriza por precipitaciones por encima de los promedios históricos. Asociado a este fenómeno, a finales de 1999 se presentaron prolongadas lluvias que abarcaron gran parte de la región Andina. Cerca de la región más afectada por movimientos de masa cosísmicos, múltiples movimientos de masa y avenidas torrenciales, especialmente el 24 y 25 de diciembre. En el corregimiento La Virginia, al SE de Calarcá, los movimientos de masa se desprendieron a partir de agrietamientos cosísmicos (INGEOMINAS, 2000b)

Los fenómenos ocurridos en el período enero a diciembre de 1999 en el Eje Cafetero se constituyen en una buena oportunidad para explorar y avanzar en la comprensión de los cambios en los paisajes, en razón de la ocurrencia y superposición de factores endógenos y exógenos sobre el territorio: diversidad de pendientes naturales del terreno, geoformas, unidades litológicas, condiciones climáticas específicas, etc.

Por otra parte, dada la alta densidad de población, su relativa riqueza asociada al cultivo del Café y la presencia de múltiples instituciones técnicas, permitía preveer una buena disponibilidad de información para la zona, incluida cartografía digital e imágenes y

productos de sensoramiento remoto.

Para aproximarse al conocimiento de los procesos que dieron lugar a estos fenómenos, se seleccionó un área de estudio teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- inclusión de la zona epicentral del sismo del 25 de enero de 1999, y de la más afectada por movimientos de masa;
- disponibilidad de información básica y temática, incluyendo cartografía, y sobre efectos del terremoto y de las lluvias;
- Inclusión de áreas municipales afectadas por el sismo, de tal manera que los resultados del proyecto pudieran aportar para su planificación.

Una vez identificado el tema y seleccionada la zona de estudio, se plantearon unas primeras preguntas que sirvieron de punto de partida:

- ¿Cuáles son las variables, y cuáles sus relaciones, que definen y/o controlan la evolución del paisaje en la región del Eje Cafetero colombiano?
- ¿Cuáles son las características de los movimientos de masa ocurridos en el Eje Cafetero de Colombia en cuanto a tipo de material involucrado, volúmenes desplazados, áreas afectadas, usos del suelo, topografía del terreno, fenómenos disparadores, entre otros?
- En los movimientos de masa ocurridos a raíz del sismo del 25 de enero ¿cuál es la relación existente entre la vibración sísmica y el período de lluvias fuertes como fenómenos disparadores de éstos?
- ¿Existe una diferencia significativa entre los movimientos de masa cosísmicos y los postsísmicos? ¿Cuál es esa diferencia y cómo podría estimarse?
- En la literatura se reportan diferentes relaciones entre parámetros sísmicos y movimientos de masa, tales como: tamaño del sismo por área total afectada, tamaño del sismo por distancia del movimiento al epicentro, tamaño del sismo por

tipo de movimiento de masa. Los movimientos de masa a raíz del sismo del 25 de enero concuerdan con alguna de estas relaciones preestablecidas? Si no lo están ¿se podría establecer una relación entre ellos?

A lo largo de la ejecución del proyecto estas preguntas iniciales tuvieron que ser modificadas en cuanto a sus alcances, principalmente porque en la práctica la información esperada y reportada como existente en la zona no estuvo del disponible.

1.2 ZONA DE ESTUDIO.

Comprende un área de 1960 km², entre las coordenadas geográficas (75° 59' 59" 00 W, 4° 30' 28"1244 N) y (75° 33' 32"5677 W, 4° 8' 43"5356 N), correspondientes a las coordenadas planas del IGAC (1'120.000 E, 990.000 N) y (1'169.000 E, 950.000 N), respectivamente. Abarca parte de las cuencas de los ríos Quindío, Barragán - Pijao - La Vieja en la vertiente occidental de la Cordillera Central y parte de la porción alta de la vertiente oriental de la misma Cordillera, en límites de los departamentos Valle del Cauca y Quindío con Tolima (Figuras 1 y 2).

Comprende total o parcialmente territorios de los municipios de Armenia, Buenavista, Calarcá, Córdoba, Génova, La Tebaida y Montenegro (Quindío), Roncesvalle y Cajamarca (Tolima), Caicedonia, Bugalagrande, La Victoria, Sevilla y Tuluá (Valle del Cauca), como se ilustra en la Figura 2.

En el Anexo A (Cartografía) se detallan las áreas municipales cubiertas, sitios de interés general, vías y drenajes, entre otros. En el Anexo B se encuentra la memoria técnica del procesamiento cartográfico .

Las alturas van desde los 900 m.s.n.m. en los valles hasta los casi 4000 m.s.n.m. en la cordillera. El régimen de lluvias es bimodal con dos períodos de lluvias bajas y dos de altas. El primer período de lluvias altas se presenta en los meses de abril y mayo y el segundo entre octubre y noviembre. Los mínimos de precipitaciones corresponden a

los meses de enero, julio y agosto. La humedad relativa es generalmente alta, con promedio anual de un 80 % (IGAC, 1992, 1995; INGEOMINAS, 1991a; 1992). En el Capítulo 4 se hace una descripción complementaria de la zona, que surge del análisis de las variables fisiográficas en el desarrollo del proyecto.

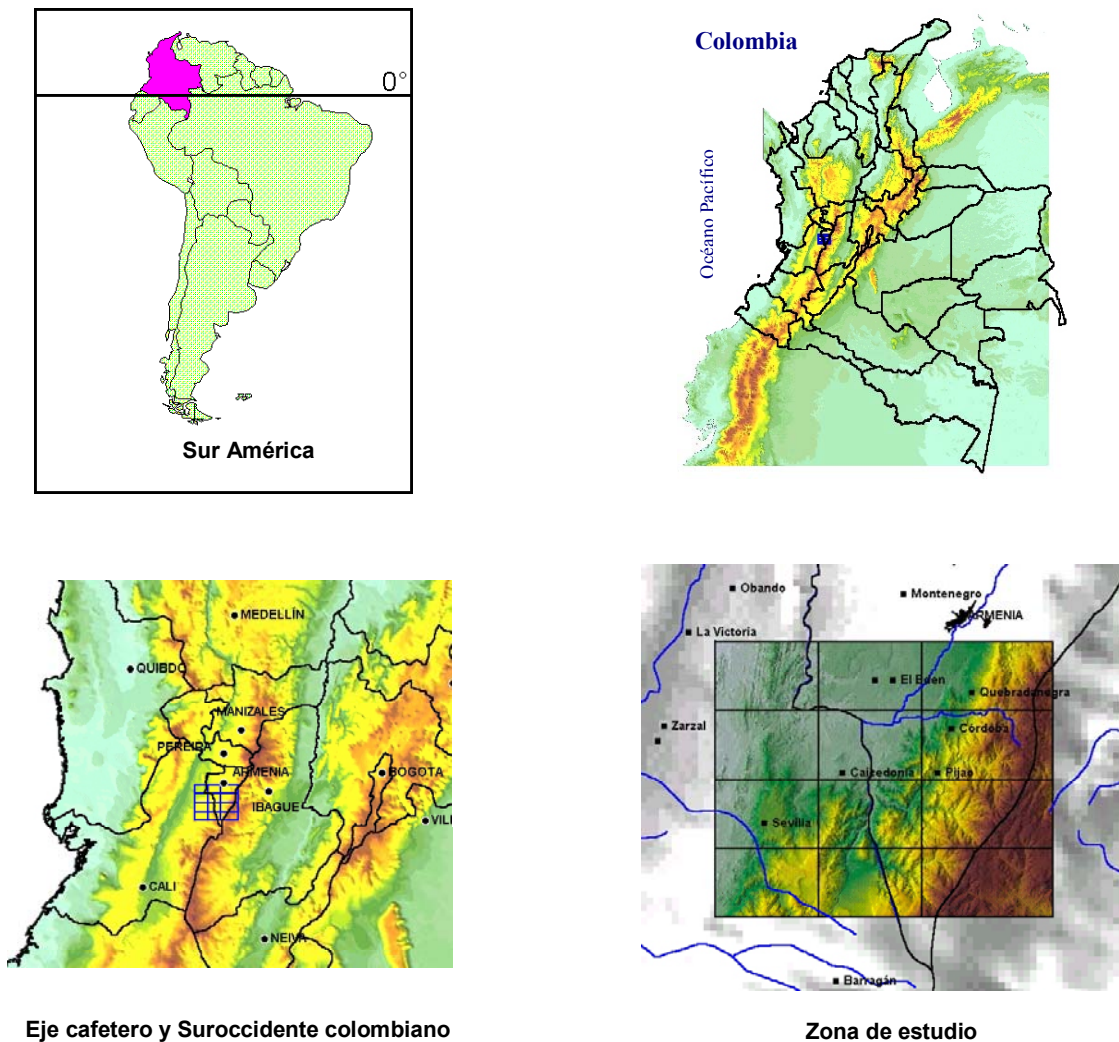


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Este territorio del trópico húmedo de montaña, está distribuido entre las zonas de vida bosque húmedo premontano, bh-pm (precipitación y temperatura promedio anual 1 900 mm, >24 °C), bosque húmedo, bh (precipitación y temperatura promedio anual 2 600 mm, >24 °C), bosque muy húmedo montano bajo, bmh-mb y bosque muy húmedo premontano, bmh-pm (precipitación y temperatura promedio anual 2 200 mm, >16 °C y <20 °C), bosque muy húmedo montano, bmh-m y bosque pluvial montano, bp-m (precipitación y temperatura promedio anual 2000 mm, >8 °C y <12 °C), bosque muy húmedo montano, bmh-m y bosque húmedo montano bajo, bh-mb (1800 mm anuales $t > 12^{\circ}\text{C}$ y $< 16^{\circ}\text{C}$), de acuerdo con la clasificación de Holdridge (Espinal y Montenegro, 1977).

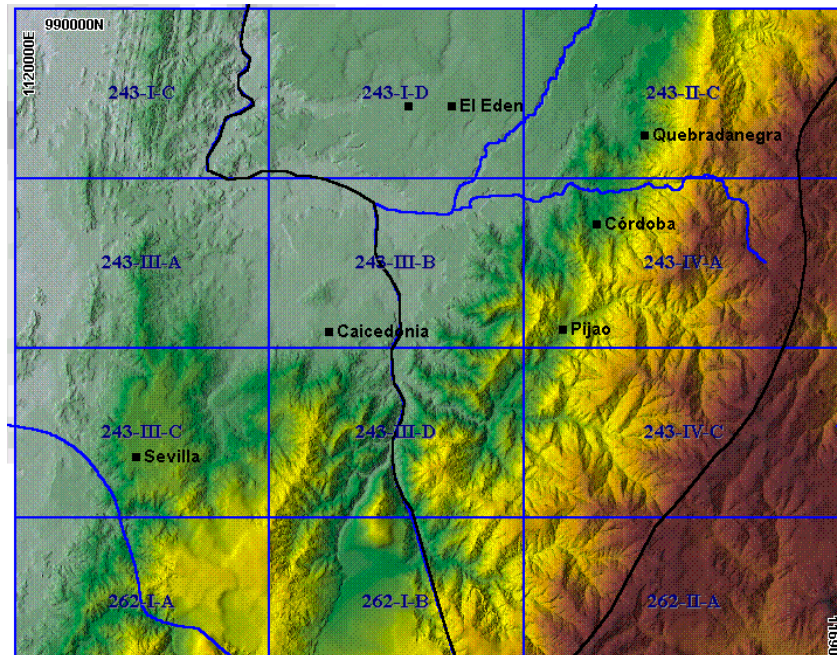


Figura 2. Detalle de la zona de estudio.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.

Frente a las preguntas y expectativas inicialmente formuladas en el anteproyecto de grado, durante su ejecución se encontró una realidad diferente a la esperada, especialmente en cuanto a disponibilidad de información (cartografía básica y temática en formato digital, usos del suelo a partir de imágenes de satélite, bases de datos temáticas, georreferenciadas o no, etc.).

No obstante la valiosa ayuda del Centro Nacional de Investigaciones del Café CENICAFÉ (Chinchiná), que suministró series meteorológicas de 12 estaciones y de la Federación Nacional de Cafeteros FEDECAFÉ, con el aporte de cartografía digitalizada, para la realización del proyecto se tuvo que recurrir a dispendiosas búsquedas de información, muchas de ellas con pocos resultados, y a la digitalización de 12 planchas de la cartografía básica del IGAC a escala 1:25 000 y dos geológicas a escala 1:100 000 del INGEOMINAS.

1.3.1 Alcances.

Con base en las limitaciones arriba mencionadas, y previa adquisición y procesamiento analógico y digital de información, los alcances se describen a continuación:

- recopilación análisis y síntesis bibliográfica (aproximación al estado del arte), sobre movimientos de masa inducidos por sismos, clasificación de movimientos de masa y metodologías de zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos de masa;
- selección de metodología, de acuerdo con los insumos disponibles;
- descripción de los parámetros sísmicos que definen el sismo del 25 de enero, en términos de epicentro, magnitud, profundidad, aceleraciones, zonas afectadas y niveles de daño, entre otros, a partir de documentación disponible;

- evaluación del papel de las lluvias en la región en términos de estabilidad de las laderas;
- discusión de alternativas para el tratamiento de las variables pendientes naturales del terreno, humedad y geología para un modelo de susceptibilidad a los movimientos de masa;
- adquisición, depuración e integración de información cartográfica, básica y temática, así como de bases de datos (sismicidad histórica, catálogo de efectos geológicos inducidos por sismos en Colombia, series historicas de lluvias, etc.), y su tratamiento con herramientas de sistemas de información geográfica (SIG);
- inventario de huellas de movimientos de masa a partir de un modelo digital de elevación del terreno (MDE);
- descripción de las correlaciones entre factores de preparación y disparo de los movimientos de masa, mediante modelamiento de la susceptibilidad en la zona de estudio;
- desarrollo de tres modelos de susceptibilidad a los movimientos de masa, comparación de los mismo y validación;
- generación de insumos para proyectos regionales como la zonificación de riesgos para la atención y prevención de desastres, en el marco de los planes de ordenamiento territorial.

1.3.2 Limitaciones.

- La cartografía básica disponible (IGAC a escala 1:25 000 con curvas de nivel cada 50 m), no está actualizada y es cronológicamente heterogénea. Esto conlleva a errores en la integración de atributos entre diferentes planchas (p. ej., coherencia y continuidad de curvas de nivel) y marca un límite de resolución para la identificación de patrones geomorfológicos indicadores de movimientos de masa;

- entre la cartografía básica de curvas de nivel a 1:25 000 y la geología a escala 1:100 000 no se encontró información temática relevante para su incorporación en las propuestas de modelos de susceptibilidad. Por otra parte, la información sobre isohietas se generó a partir de 12 estaciones pluviométricas, complementada con isohietas (CVC, 1997), a escala aproximada 1:300 000, lo que significa un salto en disminución de resolución en esta variable de los modelos.
- Las imágenes multiespectrales de sensores satelitales son muy costosas por lo cual no se pudo contar con varias imágenes tomadas de la misma zona en diferentes fechas; esto limita la posibilidad de hacer un estudio multitemporal;
- aunque se obtuvo información de diferentes fuentes sobre movimientos de masa pre, co y postsísmicos, la mayoría de los datos son difíciles de compatibilizar por razones de divergencia de nomenclatura y falta de precisión en la localización, entre otros.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

Aportar al entendimiento de la evolución del paisaje en el Eje Cafetero, a partir del estudio de las variables que intervienen en la dinámica de los movimientos de masa y de los factores disparadores de éstos.

1.4.2 Objetivos específicos propuestos (P) y alcanzados (A).

- **P.** Identificación y análisis de la interacción de los fenómenos endógenos y exógenos que pueden influenciar la ocurrencia de los movimientos de masa.
- **A.** Se alcanzó en términos de documentar eventos cosísmicos (endógenos) y

postsísmicos asociados con lluvias (exógenos), incluída revisión de literatura sobre fenómenos causantes.

- **P.** Estudio de la dinámica de los movimientos de masa inducidos por sismos.

A. No alcanzado, es un objetivo por fuera de los alcances generales y recursos específicos del proyecto.

- **P.** Análisis de los parámetros sísmicos del terremoto del 25 de enero de 1999.

A. Parcialmente alcanzado. Se recopiló casi toda la literatura sobre este sismo y se presenta una síntesis de la misma. No se contó con suficiente información de réplicas para una mejor caracterización del evento.

- **P.** Análisis del régimen hídrico de la zona de estudio y la influencia de las lluvias en los movimientos de masa posteriores al sismo del 25 de Enero de 1999.

A. El régimen hídrico no se evaluó, por falta de acceso a información de caudales. En cambio, se generó un modelo de humedad del terreno en la zona y un análisis de series históricas de precipitación, con clara influencia en los movimientos de masa.

- **P.** Producción de cartografía temática con la utilización de un SIG en la cual se integren las bases de datos, la cartografía digital y los Modelos Digitales del Terreno MDT.

A. Si fue alcanzado. Fue necesario digitalizar información cartográfica básica y temática.

- **P.** Recopilación de la historia de los movimientos de masa en la zona de estudio.

A. Se acopió información cosísmica y postsísmica y se realizó un inventario de huellas de movimientos de masa por anomalías geomorfológicas a partir de un modelo de sombras. Otra información histórica recopilada no se incluyó en este trabajo por heterogeneidad de las fuentes (institucionales y hemerográficas).

- **P.** Modelamiento de factores en la evolución del paisaje en el Eje Cafetero de Colombia.

A. A partir de tres conjuntos de variables naturales (pendientes, humedad y geología) se generaron, compararon y validaron tres modelos de susceptibilidad a los movimientos de masa.

- **P.** Aporte de un insumo que contribuya a la mejor planificación del desarrollo de los municipios afectados por el sismo.

A. Alcanzado.

- **P.** Aporte de interrogantes de partida para futuras investigaciones.

A. Alcanzado.