

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y QUIMICA  
**INGEOMINAS**

**UNIDAD OPERATIVA MEDELLIN**

**ZONIFICACION DE CUENCAS  
POR MOVIMIENTOS EN MASA  
BAJO SIG, RIO LEJOS, QUINDIO**

Por:

HUMBERTO CABALLERO ACOSTA  
ISABEL MEJIA PELAEZ

Medellín, abril de 1995

## CONTENIDO

RESUMEN .....	6
1. INTRODUCCION .....	6
1.1. OBJETIVOS .....	6
1.2. METODOLOGIA .....	6
1.2.1. Revisión de información .....	6
1.2.2. Interpretación de fotografías aéreas .....	6
1.2.3. Trabajo de campo .....	7
1.2.4. Interpretación de resultados .....	7
1.2.5. Elaboración del informe .....	7
1.3. AGRADECIMIENTOS .....	7
2. ASPECTOS GEOGRAFICOS .....	7
2.1. LOCALIZACION .....	7
2.2. FISIOGRAFIA, CLIMA Y VEGETACION .....	7
3. MARCO GEOLOGICO Y GEOMORFOLÓGICO .....	10
3.1. LITOLOGIA .....	10
3.1.1. Paleozoico .....	10
3.1.2. Mesozoico .....	10
3.1.3. Cenozoico .....	11
3.2. TECTONICA .....	11
3.3. GEOMORFOLOGIA .....	11
3.3.1. Aspectos morfoestructurales .....	11
3.4. ZONIFICACION MORFOLOGICA DE LA CUENCA .....	13
3.5. MORFOGENESIS .....	14
4. PROCESOS ACTIVOS IDENTIFICADOS .....	14
4.1. EROSION .....	14
4.1.1. Cabeceras de la Quebrada Las Camelias .....	15
4.1.2. Quebrada La Cuzumbera .....	15
4.1.3. Quebrada Las Paisitas .....	16
4.1.4. Quebradas La Española y Las Pizarras .....	16
4.1.5. Casco urbano de Pijao .....	16
4.2. MOVIMIENTOS EN MASA .....	16
4.2.1. Características de pequeños desgarres .....	16
4.2.2. Caída de rocas .....	16
4.2.3. Desplomes .....	17
4.3. REPTACION EN LUPAS .....	18
4.4. EFECTOS DE LA ACTIVIDAD HUMANA .....	19
4.5. ACTIVIDAD FLUVIOTORRENCIAL DE LAS CORRIENTES .....	21
4.6. ACTIVIDAD SISMICA .....	22
4.7. AMENAZA VOLCANICA .....	22
5. EVALUACION DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSION .....	23
5.1. SELECCION DE UN METODO PARA LA EVALUACION DE LA AMENAZA EN LA CUENCA DEL RIO LEJOS .....	23

5.2. PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL PAQUETE «ILWIS» EN LA CUENCA DEL RIO LEJOS .....	24
5.2.1. Mapas de Entrada .....	24
5.2.2. Procesamiento de la información y resultados principales .....	31
5.3. ANALISIS DE INFORMACION Y PREPARACION DE LOS MAPAS DE AMENAZA .....	34
5.3.1. Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa, (Figura 15) .....	34
5.3.2. Mapa de Amenaza por Carcavamiento, (Figura 16) .....	36
6. CONCLUSIONES.....	36
7. BIBLIOGRAFIA .....	40

## FIGURAS

1. Localización del Cuenca del Río Lejos .....	8
2. Mapa topográfico de la Cuenca del Rio Lejos .....	9
3. Vista general de la cárcava de Las Camelias.....	15
4. Caída de rocas en la cuenca media de Las Camelias .....	17
5. Grandes desplomes. Sector de Mameyal .....	18
6. Pendientes cóncavo-convexas por reptación en lupas. Sector de Las Camelias.....	19
7. Reptación en terracetas. Sector El Paraíso .....	20
8. Detalle del lecho de la Quebrada Las Camelias .....	21
9. Mapa geológico. Cuenca Rio Lejos .....	25
10. Mapa geomorfológico. Cuenca Rio Lejos .....	26
11. Mapa de procesos morfodinámicos .....	28
12. Mapa de uso agrícola del suelo .....	29
13. Mapa de isoyetas .....	30
14. Mapa de pendientes .....	32
15. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa .....	35
16. Mapa de susceptibilidad por carcavamiento .....	37

## RESUMEN

Este estudio se diseñó con el propósito de conocer adecuadamente el origen de los fenómenos torrenciales que afectan la población de Pijao (Quindío), e identificar los procesos morfodinámicos actuantes y su impacto en el deterioro de la cuenca del río Lejos.

Utilizando el "paquete" ILWIS versión 1.21, (Integrated Land and Water Information System), desarrollado por ITC de Holanda, se cruzó información de seis mapas temáticos, en cada uno de los cuales se representan los factores determinados como importantes en el desencadenamiento de los procesos. El resultado fueron dos mapas de susceptibilidad del terreno a movimientos en masa y carcavamiento, considerados como los de mayor incidencia relativa.

Los mapas temáticos empleados en el análisis fueron:

Geológico, Geomorfológico, Uso Agrícola del Suelo, Pendientes, Isoyetas y Procesos Morfodinámicos.

Los mapas de susceptibilidad obtenidos dividen el territorio en zonas de Muy Alta, Alta, Media, Baja y Mínima, según sea el grado de propensión a movimientos en masa y carcavamiento.

Aproximadamente un 20% de la cuenca es de susceptibilidad muy alta, 40% de alta, 30% de media y 10% de baja a movimientos en masa y carcavamientos; no se encontraron zonas de susceptibilidad mínima.

## 1. INTRODUCCION

La necesidad de tener un conocimiento adecuado sobre el origen de los fenómenos que han afectado, a lo largo de la historia, al municipio de Pijao tales como deslizamientos, avenidas torrenciales, carcavamientos, represamientos y erosión severa, llevó al Ingeominas, a través de la Regional Noroccidente, a plantear a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) el estudio de las zonas alta y media de la cuenca del río Lejos,

con el fin de sugerir las soluciones más viables para la reducción del deterioro del medio rural y su consiguiente impacto sobre el casco urbano del municipio y su infraestructura.

### 1.1. OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio fue realizar la zonificación de amenazas geológicas en la cuenca del río Lejos, mediante el análisis de variables tales como litología, pendientes, clima, uso agrícola del suelo, vegetación, geomorfología y procesos activos. La comparación de estas variables se hizo utilizando el sistema de información geográfica ILWIS (Integrated Land and Watershed Information System), el cual permite una actualización rápida de los procesos de acuerdo a los cambios que se sucedan.

Los resultados del estudio proporcionarán directrices claras de manejo del suelo, tanto para las autoridades locales como regionales.

### 1.2. METODOLOGIA

Mediante el sistema de información geográfica ILWIS se combinaron los mapas enunciados, con algunos datos de las características de los suelos, para encontrar índices aproximados de susceptibilidad a los movimientos en masa y carcavamiento. Se realizaron las siguientes actividades:

#### 1.2.1. Revisión de información

Se realizó una revisión histórica, geológica, geográfica y de estudios anteriores relacionados con la zona de interés.

#### 1.2.2. Interpretación de fotografías aéreas

Se hizo una interpretación de fotografías de diferentes escalas y años, con un cubrimiento del 100% del área, con el fin de analizar las principales características morfológicas. La información se consignó en mapas 1:25.000 y posteriormente fue digitalizada.

### 1.2.3. Trabajo de campo

Se hicieron recorridos tanto de las quebradas como de las divisorias de aguas de la cuenca, con el fin de tener un panorama detallado de los fenómenos. Toda la información compilada se consignó en planos topográficos escala 1:25.000.

Se realizó un inventario de rasgos de erosión, perfil de meteorización, datos estructurales, conductividad hidráulica, uso agrícola del suelo, descripción de corrientes y muestreo de sedimentos

### 1.2.4. Interpretación de resultados

### 1.2.5. Elaboración del Informe

## 1.3. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los geólogos del INGEOMINAS Eduardo Parra P. y Ricardo Viana R., por su participación en el trabajo de campo y en la discusión de los resultados. Al geólogo Jaime Jiménez por su asesoría en el manejo del Sistema de Información Geográfica y a la dibujante Norha Hincapié por la digitalización de todos los mapas.

## 2. ASPECTOS GEOGRAFICOS

### 2.1. LOCALIZACION

El área de estudio corresponde con las partes alta y media de la cuenca del río Lejos, Departamento del Quindío, limitada por las coordenadas  $X=976.500$ ,  $X=963.700$  y  $Y=1'147.100$ ,  $Y=1'164.400$  (Figuras 1 y 2).

Para el ingreso a las zonas alta y media de la cuenca sólo se cuenta con una vía en buenas condiciones hasta la escuela de Mameyal; el resto del recorrido se hace a pie o en bestias. En la zona baja existen vías veredales que permiten un fácil acceso.

### 2.2. FISIOGRAFIA, CLIMA Y VEGETACION

Fisiográficamente, el área de estudio ocupa la margen occidental de la Cordillera Central, en un valle estrecho labrado por el río Lejos, de relieve abrupto, donde se pueden diferenciar tres zonas con características geomorfológicas y climáticas diferentes:

**La zona alta** comprende desde la escuela Mameyal (Figura 2), hasta el eje de la Cordillera Central, con alturas desde 2.400 hasta 3.700 m.s.n.m.; el clima es frío, temperaturas entre 6 y 12°C y un promedio anual de lluvias entre 1.600 y 2.800 m.s.n.m. Según Espinal (1977), ocupa el piso térmico bosque pluvial Montano (bp-M); esta formación está asociada a un relieve muy pendiente de profundas gargantas y escarpados desfiladeros.

De la vegetación natural quedan aún parches de bosque con gruesas capas de musgos y líquenes; el resto ha sido reemplazada por pequeños cultivos de papa y desarrollos ganaderos. El bp-M se considera la zona productora de agua en las cuencas hidrográficas, de ahí la importancia de conservar la vegetación natural ya que ella protege y regula el caudal de las corrientes que nacen en este piso térmico.

**La zona media** va desde la escuela Mameyal hasta la cabecera municipal, con alturas desde 1.800 hasta 2.400 m.s.n.m.; caracterizada por un clima templado a frío, temperaturas entre los 14 y 18°C y precipitación promedio anual entre 2.000 y 2.200 mm. El piso térmico característico es el bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB); la topografía es accidentada.

De la vegetación natural quedan escasos parches donde se destacan las palmas de cera y los yarumos blancos; el resto ha sido removida para el desarrollo de labores ganaderas. En la actualidad existen reforestaciones con coníferas en las partes más altas de la zona. Por las condiciones climáticas, el bmh-MB juega un papel muy destacado en el régimen hidrológico de los ríos; por la alta lluviosidad y la baja temperatura hay poca evapotranspiración haciendo que parte del agua aumente los caudales de las corrientes cercanas.

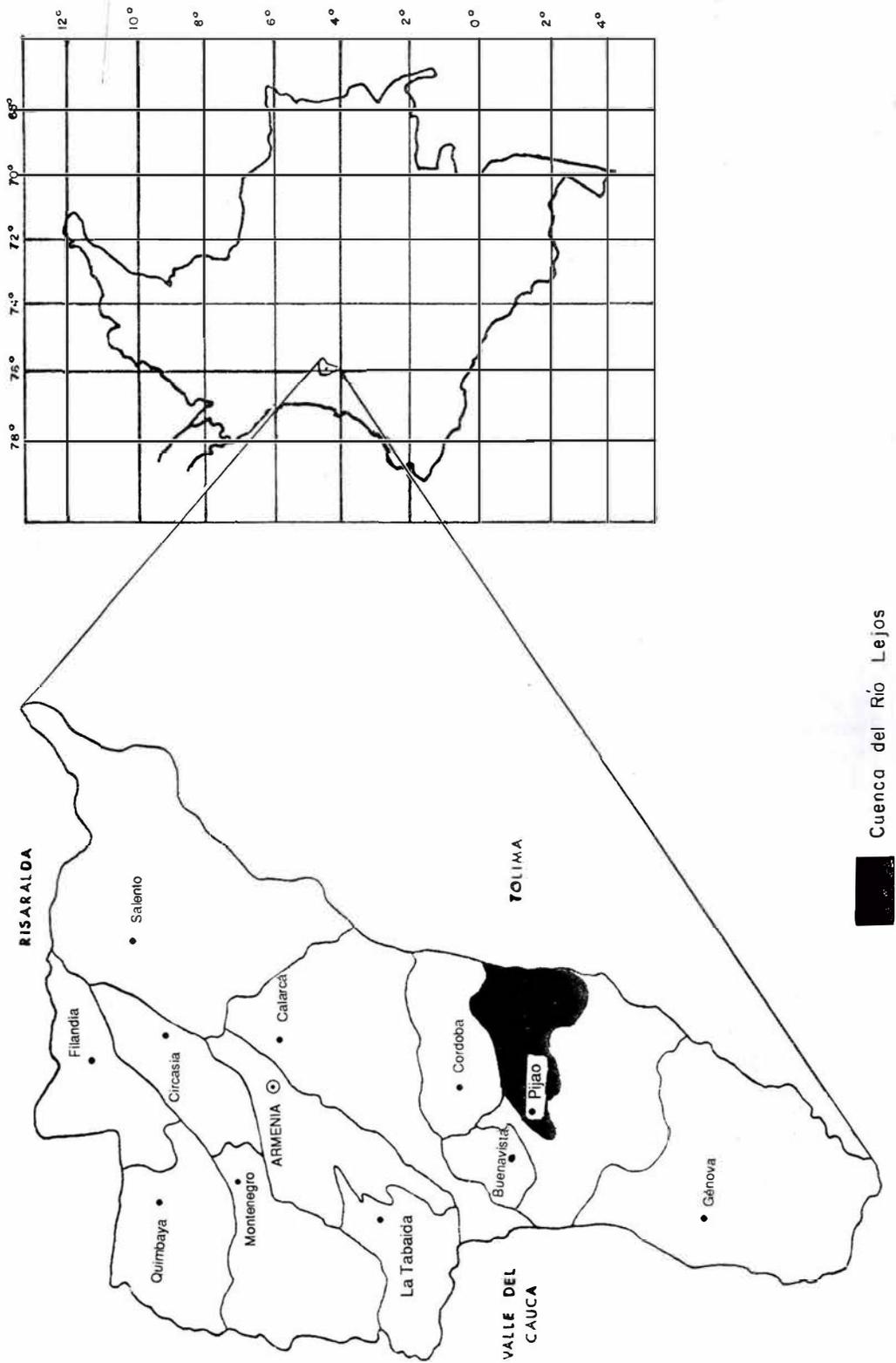


FIGURA 1 LOCALIZACION DEL AREA DEE L D O

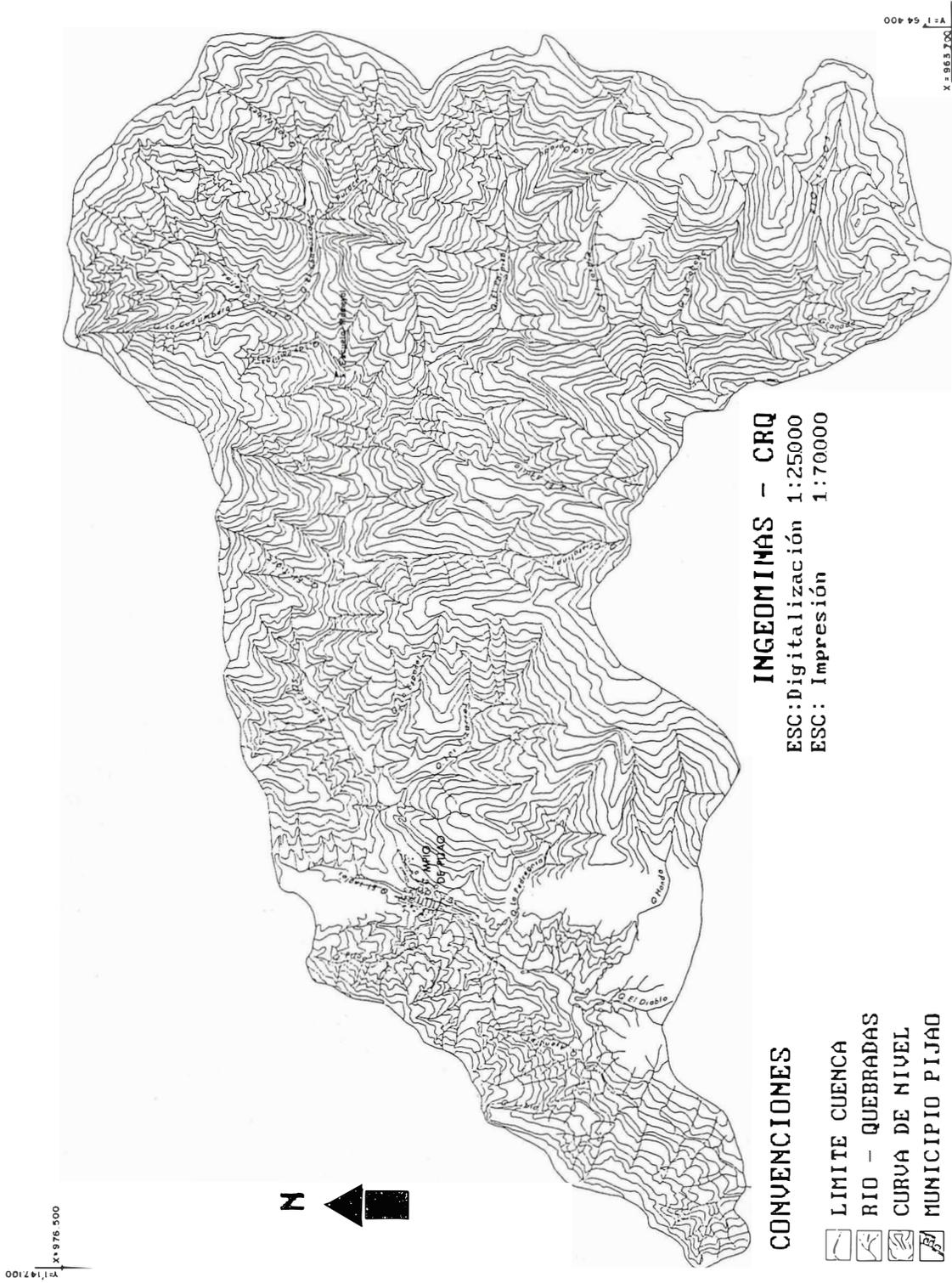


FIGURA 2. MAPA TOPOGRAFICO DE LA CUENCA DEL RIO LEJOS

- **La zona inferior** va desde la cabecera municipal hasta la confluencia de los ríos Azul y Lejos, con alturas desde 1.400 hasta 1800 m.s.n.m., caracterizada por un clima templado, temperatura promedio entre 18 y 22°C y una precipitación promedio anual entre 2.000 y 4.000 mm. Es muy notorio el incremento de las lluvias hacia las partes altas de las montañas; la zona de vida es el bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM) que corresponde con la zona cafetera de relieve de altos cerros, profundas cuencas y mesetas onduladas. La vegetación original desapareció completamente para dar paso al cultivo del café. En la zona de estudio se encuentran parches de alguna extensión donde se está reforestando con coníferas.

Puede decirse de manera general que muy probablemente las lluvias han sido desencadenadoras de un alto porcentaje de los procesos erosivos y de los movimientos en masa localizados en la parte NE de la cuenca. La ausencia de datos de precipitación de la parte alta, donde el comportamiento de las lluvias es diferente, no permite corroborar dicha hipótesis. Estos picos de lluvia, pueden producir efectos de erosión puntual muy dramáticos, dentro de una misma zona con condiciones geológicas, topográficas y climáticas relativamente similares, causando el deterioro de la capa superficial.

Según Thouret y Faivre (1989), existen dos máximos y dos mínimos de precipitación relacionados con la altura. Los mínimos están ubicados en los 1.260 m con una precipitación de 2.060 mm y en los 1.540 m con 1.800 mm; los máximos en 1.480 m con 2.420 mm y en los 2.040 m con 2.900 mm.

### 3. MARCO GEOLOGICO Y GEOMORFOLOGICO

La geología que se describe para el área de estudio fue tomada del mapa geológico generalizado del Departamento del Quindío, compilado por González y Núñez (1991). El análisis geomorfológico del área fue realizado durante este estudio.

## 3.1. LITOLOGIA

Las unidades de roca aflorantes en el área tienen edades que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico; a continuación se describirán los diferentes tipos de roca en cada uno de los períodos de tiempo geológico.

### 3.1.1. Paleozoico

Este período está representado por rocas metamórficas del **Complejo Cajamarca (Pzc)**, principalmente esquistos sericíticos y cloríticos que afloran al este de la cuenca.

### 3.1.2. Mesozoico

El registro mesozoico está representado por varias unidades:

**Complejo Quebradagrande (Kvc, Ksc, Kg).** Secuencia volcano-sedimentaria limitada al este por la Falla de San Jerónimo y al oeste por la Falla de Pijao-Silvia. Las rocas volcánicas (Kvc), son predominantemente de composición basáltica y en menor cantidad se encuentran andesitas y piroclastitas con intercalaciones de sedimentitas marinas. La unidad sedimentaria (Ksc), está constituida por grawacas, lutitas, limolitas y localmente chert, calizas y niveles conglomeráticos.

Al oeste de la Falla de San Jerónimo aparece una franja donde predominan rocas volcano-sedimentarias (Kg), también pertenecientes al Complejo Quebradagrande.

**Rocas Ultramáficas (Kus).** Cuerpos alargados y delgados de rocas ultramáficas serpentinizadas y tectonizadas, emplazadas en la zona de fallamiento Pijao-Córdoba.

**Complejo Arquía (Kiea, Kies).** Constituido por anfibolitas graníferas, esquistos anfibólicos, esquistos anfibólicos con granate (Kiea), asociados a una secuencia pelítica (Kies), y a esquistos grafíticos con granate y cloritoide.

**Intrusivos Tonalíticos-Dioríticos (Kdi).** Denominado Complejo Igneo de Córdoba, está consti-

tuido por rocas de composición variable entre diorita y tonalita.

### 3.1.3. Cenozoico

Caracterizado por la presencia de rocas hipoabisales porfídicas (Tadh), de composición intermedia, andesítica a dacítica; no se identificaron depósitos cuaternarios de importancia a excepción de la cubierta de cenizas volcánicas.

## 3.2. TECTONICA

En la zona de estudio las fallas principales pertenecen al Sistema Romeral; entre ellas se destacan la de San Jerónimo que marca el contacto entre el Complejo Cajamarca y el Complejo Quebradagrande y la Falla Pijao-Silvia que limita los Complejos Quebradagrande y Arquía; ambas son de carácter regional. La primera fue estudiada inicialmente en Antioquia y la segunda fue cartografiada al sur del país. No hay evidencias de actividad de estas fallas; sin embargo, no se debe descartar ya que hacia el norte se han encontrado signos de actividad en varias trazas del Sistema.

En un perfil topográfico del río se observan varios puntos de quiebre, que coinciden con el cruce de las fallas El Salado y Silvia-Pijao, los cuales corresponden a rejuvenecimientos del lecho, posiblemente por actividad cuaternaria de las fallas.

Las fallas del Sistema Romeral que tienen evidencias de actividad cuaternaria son la de Montenegro que cruza al oeste de la población del mismo nombre y la Falla Aeropuerto que pasa cerca al aeropuerto del Edén; ambas cortan el cono del Quindío de edad cuaternaria; se considera una tasa de desplazamiento de 0,1 mm/año, o sea un grado de actividad de bajo a moderado, (PAGE, 1986).

## 3.3. GEOMORFOLOGIA

La zona de estudio corresponde a la cuenca de drenaje del río Lejos, comprendida desde sus nacimientos en la divisoria de la Cordillera Central hasta la desembocadura en el río Azul, aguas

abajo del casco urbano de Pijao; desde este punto hacia abajo el río adquiere un comportamiento diferente, entrando en zonas de baja pendiente donde predomina el proceso de transporte de sedimentos en contraste con la cuenca de drenaje, caracterizada fundamentalmente por la fuerte actividad erosiva.

### 3.3.1. Aspectos morfoestructurales

Se entiende por morfoestructura, la expresión morfológica de las distintas unidades geológicas y tectónicas aflorantes en la cuenca, resultado principalmente de la acción diferencial de procesos como la meteorización y la erosión. Desde este punto de vista se distinguieron en la cuenca varios dominios morfoestructurales; se excluyeron las rocas ultrabásicas y los pórfidos andesíticos debido a lo escaso de su área.

**Rocas metamórficas.** Dentro de este dominio se incluyen tanto las rocas del Paleozoico que afloran en la parte alta de la cuenca, como las agrupadas bajo el nombre estratigráfico de Complejo Arquía. Ambas unidades tienen una marcada anisotropía, definida por su foliación característica; los saprolitos derivados tanto de los esquistos cuarzo-sericíticos como de los cloríticos y anfibólicos, son generalmente de baja porosidad y permeabilidad, debido a la abundancia de materiales arcillosos. La mayor delezabilidad de los esquistos cuarzo-sericíticos hace que sean más fácilmente atacables por los procesos denudativos.

En el Complejo Cajamarca las corrientes de primer orden presentan un marcado paralelismo entre filos y valles, alineados preferencialmente con la foliación, que en el sector es próxima a N30°E; algunas cabeceras de corrientes de orden superior y un tramo importante del río Lejos, presentan tendencia norte-sur en concordancia con la orientación de la foliación. Las quebradas de orden dos o mayor cortan en forma perpendicular la mencionada tendencia estructural, debido quizás al rápido levantamiento de la cordillera. Los filos que bordean cuencas de primer orden son subredondeados debido a la espesa cubierta de ceniza volcánica que recubre la región; las vertientes de estas quebradas son fuertes y rectilíneas.

En contraste con lo anterior, sobre las rocas del Complejo Arquía, que afloran en la cuenca baja, las corrientes de orden uno se han conformado paralelamente entre ellas pero perpendiculares a la orientación de la foliación; sólo las de orden superior siguen aproximadamente esta tendencia estructural. Esta aparente contradicción podría explicarse si existiese un diaclasamiento importante de sentido N45°W a lo largo del cual se encajaron las corrientes más elementales. Los filos entre corrientes primarias son anchos, de aspecto convexo predominante; las vertientes son cortas, rectilíneas y de inclinación moderada; la cubierta de cenizas volcánicas enmascara en parte las características intrínsecas a esta unidad morfoestructural.

**Rocas volcano-sedimentarias del Complejo Quebradagrande.** Esta es una secuencia interestratificada de rocas volcánicas básicas y sedimentarias compuestas predominantemente por areniscas, lutitas y limolitas; aunque las dos unidades se encuentran intercaladas, fueron cartografiadas separadamente tomando en cuenta el predominio de uno y otro conjunto; toda la secuencia se encuentra plegada en forma variable dependiendo de la competencia de las rocas.

Tiene grados diferentes de anisotropía, representada de un lado por los planos de estratificación y del otro por el contraste de propiedades físico-mecánicas de los distintos componentes. La meteorización ha producido saprolitos ferruginosos a arcillosos de baja permeabilidad y porosidad.

En esta unidad existe una marcada tendencia de las corrientes de segundo orden y superiores, a correr siguiendo ejes N-S y NE-SW, los cuales coinciden aproximadamente con la tendencia general de los planos de estratificación. Se excluyen las quebradas La Española, Las Pizarras y La Pedregosa que fluyen del SE al NW.

**Rocas Intrusivas del Complejo Córdoba.** Son rocas de composición variable entre diorita y tonalita; de comportamiento homogéneo y sin direcciones preferenciales para la acción de los agentes meteóricos. El resultado de la meteorización es un "gruss" limo-arenoso con contenidos variables de arcilla.

La morfología típica desarrollada es de colinas suaves convexo-cóncavas con interfluvios amplios y cuencas poco profundas, especialmente las de bajo orden. El drenaje principal tiene tendencia SW-NE, paralelo a las fallas que bordean el cuerpo granítico; las quebradas de primer y segundo orden confluyen perpendicularmente con las principales, siguiendo quizás algún sistema preferencial de diaclasamiento.

**Influencia morfológica de la tectónica.** La cuenca del río Lejos está atravesada por varias trazas de fallas pertenecientes al Sistema de Fallas de Romeral de rumbo general N10°E; no hay suficiente información sobre la extensión de rocas afectadas por éstas, las cuales tienen un marcado comportamiento anisotrópico debido al grado variable de trituración que ha sufrido la roca. En fotos aéreas es posible observar el alineamiento de quebradas y depresiones del terreno que siguen la traza de las fallas debido a la mayor facilidad que ofrecen para la erosión. Varias son visibles en el campo como alineamientos prolongados de quiebres notables de pendientes; en algunos de estos se observó una estrecha asociación espacial con movimientos en masa de tamaño medio, aproximadamente de 100 m<sup>3</sup>.

**Influencia de la cubierta piroclástica.** Depósitos de material piroclástico cubren de manera casi continua la mayor parte del paisaje; se exceptúan las zonas de fuerte pendiente que forman los bordes de las corrientes principales por ser zonas de erosión activa. En la parte más alta de la cuenca, donde aún se observan evidencias de la pasada actividad glacial, se pasa directamente del suelo orgánico (Turberas), a la roca fresca o semimeteorizada, indicando que la cubierta superior de saprolito y material piroclástico fue completamente erosionada por la acción del hielo.

El espesor, la granulometría y la estratigrafía del material piroclástico varían según la parte de la cuenca que se considere; los mayores espesores (2 m), se encuentran preferentemente en la cuenca alta donde dominan niveles de cenizas volcánicas de grano fino, intercaladas con horizontes de pómez, con tamaños hasta de 3 cm de diámetro (lapilli grueso).

Morfológicamente tienen un efecto suavizador del paisaje, convirtiendo una región de filos predominantemente agudos en divisorias de aspecto suave con marcada tendencia a la convexidad. La presencia del material volcánico le confiere a las vertientes una dinámica particular, debido al marcado contraste de conductividad hidráulica que existe entre éstas y los saprolitos de la mayoría de las unidades geológicas que afloran en la cuenca. De la fotointerpretación se desprende que la zona de morfología más suavizada por la espesa cubierta piroclástica es la de Las Camelias, que coincide con gran cantidad de movimientos en masa y procesos erosivos.

### 3.4. ZONIFICACION MORFOLOGICA DE LA CUENCA

La cuenca fue dividida en cinco unidades geomorfológicas diferentes, con el propósito de encontrar alguna relación entre procesos morfodinámicos dominantes y geoformas características. Para dicha zonificación se utilizó la combinación de los criterios que se mencionan a continuación:

- Las pendientes, se clasificaron de acuerdo con el grado de inclinación, en fuertes o suaves; con la longitud, en largas o cortas; con su forma, en rectilíneas, cóncavas, convexas o sus combinaciones; y con sus características, en regulares o irregulares.
- Los filos se clasificaron en agudos, redondeados, subredondeados y convexos y algunas combinaciones de éstos.

Las unidades geomorfológicas determinadas se caracterizan igualmente por los procesos dominantes y secundarios identificados en cada una de ellas.

Los principales rasgos de las unidades geomorfológicas cartografiadas se presentan en la figura 10 y son:

**Unidad 1.** Cubre desde la desembocadura del río Azul en el Lejos hasta aproximadamente 2000

m.s.n.m.; las pendientes son fuertes, rectilíneas y regulares. Los filos son predominantemente agudos y los procesos dominantes identificados son erosión laminar superficial y formación de terracetas.

**Unidad 2.** Se extiende desde alrededor de 2000 m.s.n.m. hasta cerca de 2600 m.s.n.m., ocupando la cuenca media. Las pendientes son fuertes e irregulares, con perfil cóncavo-convexo típico; los filos varían de subredondeados estrechos a convexos de ancho moderado. El proceso dominante es reptación en lupas, también conocido por algunos autores como soliflucción tropical, (FLOREZ, 1983); como procesos secundarios se identificaron movimientos en masa de volumen pequeño que afectan principalmente cenizas volcánicas y ocasionalmente el saprolito; hay cárcavas importantes en varias de las cabeceras de las quebradas de orden dos y tres; la construcción de carreteras, banqueos etc., desencadena movimientos en masa con facilidad.

**Unidad 3.** Es una franja estrecha ubicada entre 2600 y 3000 m.s.n.m.; las pendientes son fuertes, largas e irregulares, con filos predominantemente agudos. El proceso dominante es la reptación de la cubierta de cenizas volcánicas, dando lugar a terracetas de desgarre y del tipo caminos de ganado; secundariamente se identificaron movimientos en masa de moderados a pequeños (del orden de  $10\text{m}^3$ ); son comunes los de tipo golpe de cuchara; la reptación en lupas se observa más esporádicamente y existe un carcavamiento incipiente.

**Unidad 4.** Desde 3000 a 3600 m.s.n.m.; se caracteriza por pendientes fuertes, largas e irregulares; son comunes los escarpes con inclinaciones mayores al 100%. Los filos son predominantemente convexos y amplios a subredondeados. Con base en los procesos dominantes se separaron dos subunidades; la del norte donde hay una abundancia equilibrada de filos redondeados y agudos, es la subunidad más afectada por fenómenos erosivos a gran escala. Hacia el sur, existe un predominio de filos redondeados, con procesos erosivos de menor importancia.

**Unidad 5.** Abarca las áreas que se encuentran a alturas mayores de 3500 m.s.n.m.; es una unidad de geoformas y paisajes heredados de épocas pleistocénicas cuando estuvieron bajo la influencia de glaciares de montaña. Las pendientes son suaves y moderadas con predominio de formas convexas; los filos son redondeados y amplios. Una de sus características más sobresalientes, después de los rasgos glaciares, es la escasa o ausente cubierta de cenizas volcánicas debido a la acción erosiva del hielo.

### 3.5. MORFOGENESIS

Las geoformas presentes en la cuenca se pueden clasificar, desde el punto de vista genético, en una o más de las siguientes categorías:

**Formas heredadas de origen glaciar.** Se encuentran por encima de los 3500 msnm, dentro de las que se destacan, superficies aborregadas, planos cepillados, etc.

**Formas asociadas a las vertientes.** Donde el mecanismo principal es la acción de la gravedad combinada con el efecto del agua lluvia que circula superficialmente o se infiltra; estos procesos dieron lugar a los tipos de vertientes detalladas en el numeral anterior.

**Formas ligadas al sistema fluvial.** Estas formas se pueden dividir, dependiendo del proceso dominante, en formas erosivas y de acumulación. Entre las primeras se encuentran los profundos valles en forma de V y algunas gargantas muy estrechas labradas en la roca, por donde el río fluye a gran velocidad durante las crecientes. Las formas de acumulación son pequeñas terrazas que se conservan principalmente en cercanías del casco urbano del municipio; otras acumulaciones importantes se encuentran en el cauce activo del sistema fluvial, donde es posible reconocer aún muchos rasgos morfológicos y sedimentológicos del carácter torrencial del río Lejos; los tramos donde se presentan las mayores acumulaciones son: Quebrada Las Camelias desde la confluencia de la quebrada Cuzumbera hasta su desembocadura en el río Lejos y en el mismo río a su paso por el área urbana, donde se presenta el mayor volumen de sedimentos.

## 4. PROCESOS ACTIVOS IDENTIFICADOS

La dinámica actual de las vertientes y cauces en la región estudiada, tiene origen tanto en causas naturales como en la actividad humana.

Los fenómenos geodinámicos que afectan las vertientes, están relacionados con factores tales como la velocidad de incisión de las corrientes, el tipodero caaflorante y su grado de meteorización, el clima, el tipo de vegetación y en buena medida por la presencia de una capa de cenizas volcánicas de espesor variable que cubre la mayor parte de la región.

A continuación se hará la descripción de los principales rasgos morfodinámicos, identificados en la cuenca del río Lejos.

### 4.1. EROSION

En la región estudiada, sobresale por su espectacularidad la erosión en cárcavas; otras como la erosión laminar, en surcos y algunos tipos de reptación están más ligadas a la intervención humana sobre el paisaje.

Las cárcavas son zanjas relativamente profundas, formadas por la acción erosiva de las aguas superficiales, que se desplazan a gran velocidad pendiente abajo sobre materiales poco cohesivos como cenizas volcánicas, saprolitos arenosos o rocas fuertemente trituradas. Una característica importante es que avanzan de abajo hacia arriba en forma regresiva, siguiendo generalmente la línea de mayor pendiente; existen otros procesos asociados a su evolución como la incisión o profundización longitudinal del cauce o lecho y el ensanchamiento lateral mediante pequeños derrumbes de diverso tipo.

Las razones principales para dar inicio a un proceso erosivo de esta naturaleza, son: incremento en los volúmenes de agua de escorrentía, debido a la existencia de fenómenos meteorológicos excepcionales, o al aumento de la capacidad erosiva de un flujo de escorrentía relativamente constante, motivado por cambios en la cubierta vegetal.

#### 4.1.1. Cabeceras de la Quebrada Las Camelias

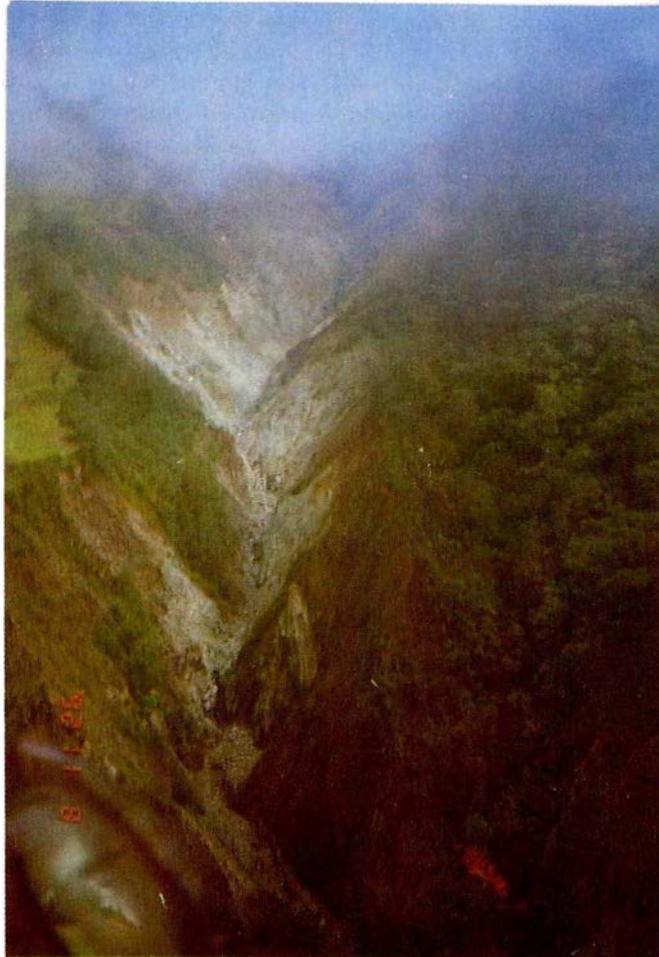
En este sector existe una cárcava de grandes dimensiones, la cual se originó, según informes de pobladores de la región, a finales de la década del 50 o principios de los 60.

Esta cárcava tiene más de 1 km de largo y 250 m en su parte más ancha; la profundidad en su parte media es de unos 30 a 50 m, disminuyendo hacia la cabecera. Tiene un canal principal y unos pocos canales secundarios; en las partes media y alta se concentra la mayor actividad y es posible observar la ocurrencia permanente de pequeños derrumbes laterales (Figura 3).

La cárcava de Las Camelias se ha identificado como la mayor aportante de sedimentos al río Lejos, que puede alcanzar hasta el 70% del total de la carga actual del río.

#### 4.1.2. Quebrada La Cuzumbera

Varias de las cabeceras de esta cuenca presentan cárcavamientos con diferentes grados de actividad; algunas han revegetado espontáneamente, favoreciendo la disminución de los procesos que le dieron origen. La mayoría de las cárcavas visitadas dentro de esta subcuenca presentan un alto grado de actividad y se caracterizan por la fuerte incisión de sus cauces principales, algunos



de los cuales presentan flujo permanente de agua. El cauce de la quebrada La Cuzumbera presenta evidencias morfológicas y sedimentológicas de comportamiento torrencial, probablemente originado en el aporte de sedimentos desde estos focos erosivos.

#### 4.1.3. Quebrada Las Paisitas

De características similares a la anterior, las cárcavas de esta subcuenca son todas activas y afectan tanto la cubierta de cenizas volcánicas como el saprolito de la roca; a diferencia de las cartografiadas en La Cuzumbera, parecen ser más activas en la corona mediante un proceso de avance regresivo.

#### 4.1.4. Quebradas La Española y Las Pizarras

Situadas en la parte media de la cuenca, ambas presentan fenómenos de carcavamiento en sus cabeceras, en zonas de alta pendiente; le aportan gran cantidad de material a sus respectivas corrientes, las cuales presentan un régimen torrencial bastante marcado.

#### 4.1.5. Casco urbano de Pijao

También se cartografiaron cárcavas en pequeñas cuencas próximas al casco urbano, algunas de las cuales fueron originadas por procesos antrópicos como la construcción de carreteras y caminos y por el vertimiento inadecuado de los drenajes de vías, como el caso observado en la carretera a la escuela Mameyal (Pedregal).

### 4.2. MOVIMIENTOS EN MASA

A diferencia de la erosión, estos son desprendimientos relativamente rápidos de volúmenes variables de suelo, rocas o combinación de ambos. Las causas más comunes de su origen son: altas pendientes, aumento de presiones intersticiales por infiltración de agua, disminución de soporte lateral debido a cortes o erosión, sobrepeso de materiales acumulados en las vertientes y por la combinación de éstos con factores geológicos

como los contrastes de conductividad hidráulica entre unidades, grado de fracturamiento o presencia de discontinuidades con inclinaciones similares a las de las vertientes y espesor de la cubierta de meteorización, entre otras.

Se distinguieron tres tipos diferentes de movimientos en masa: pequeños desgarres en zonas de alta pendiente, caídas de roca y desplomes de volumen variable en las márgenes de las corrientes principales. El aporte de este tipo de procesos al deterioro de la cuenca se considera moderado.

#### 4.2.1. Características de pequeños desgarres

Son derrumbes de volúmenes que pocas veces superan los 10.000 m<sup>3</sup> de material. Ocurren con más frecuencia en las partes altas de la cuenca (zona de bosque de niebla), donde las pendientes son generalmente fuertes y bastante largas. El derrumbe típico tiene unos 20 m de ancho en la corona y 40 m en la base; la longitud más frecuente es de 100 m y la profundidad de la zona de ruptura de 4 m.

Este tipo de movimiento involucra, en la mayoría de los casos, la cubierta de cenizas volcánicas; se localizan en la parte alta de la cuenca y se acumulan sobre un depósito de vertiente, conformado por bloques de roca decimétricos en una matriz limo-arcillosa con abundante materia orgánica. Muy probablemente se originan por las presiones intersticiales existentes en el contacto entre las cenizas volcánicas, muy permeables y el depósito de vertiente de baja permeabilidad; las fuertes pendientes, la alta humedad y la deforestación a que ha sido sometido el sector, son factores que contribuyen para su ocurrencia. No se descarta la influencia de la actividad sísmica en su desencadenamiento.

#### 4.2.2. Caída de rocas

Menos frecuentes que los anteriores, pueden alcanzar volúmenes considerables, como el que se cartografió en la parte media de la quebrada Las Camelias (Figura 4); ocurren en zonas de fuerte pendiente donde las discontinuidades de la roca

tienen buzamientos similares a la pendiente. Aunque sólo se observan unos pocos lugares con actividad, es muy frecuente a todo lo largo de la región visitada, ver grandes acumulaciones de bloques de roca de tamaños variables, desde unos pocos centímetros hasta varios metros de diámetro; todas las acumulaciones de bloques estudiadas se depositaron sobre la cubierta de cenizas volcánicas lo que permite distinguirlas de los depósitos de vertiente, mencionados en el aparte anterior.

Las subcuencas de La Cuzumbera, Las Paisitas y El Brillante, presentan la mayor cantidad de este tipo de acumulaciones; también ocurren caídas de roca de menor importancia, en cuanto a volumen, cerca a los cauces de las quebradas principa-

les que contribuyen a aumentar la carga de las corrientes.

#### 4.2.3. Desplomes

En esta denominación se incluyen movimientos masivos con poco desplazamiento lateral; son frecuentes en las zonas de fuerte pendiente, próximas a los cauces de las quebradas más importantes. Su volumen puede variar entre centenas y varios miles de metros cúbicos de material; algunos son activos y abundan evidencias morfológicas de desplomes inactivos o en equilibrio inestable, especialmente en la margen izquierda de la quebrada Las Camelias entre El Brillante y Mameyal (Figura 5); también se obser-

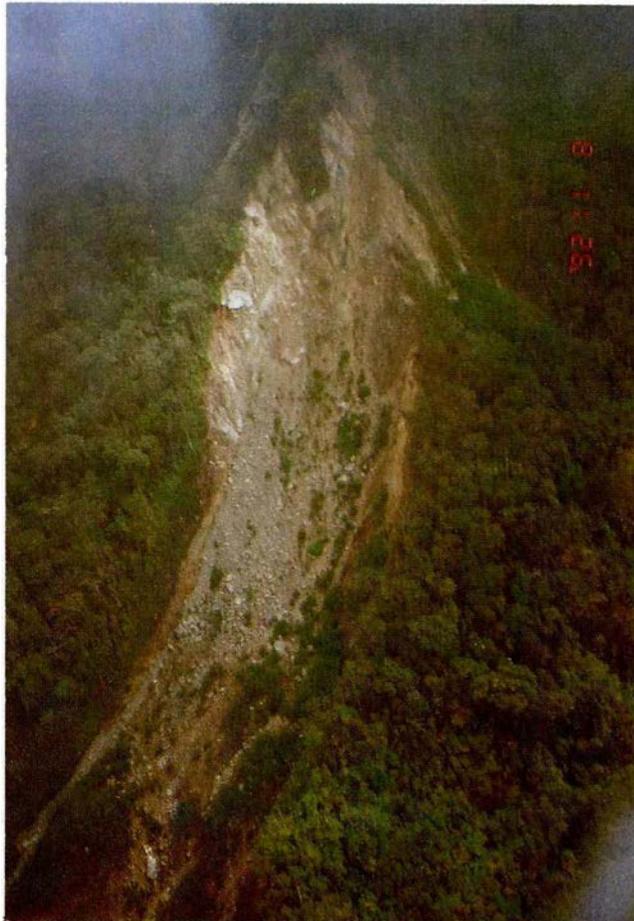


FIGURA 4. Caída de rocas en la cuenca media de Las Camelias



FIGURA 5. Grandes desplomes. Sector de Mameyal

varon desplomes de volumen considerable en las márgenes de La Cuzumbera y La Española.

### 4.3. REPTACION EN LUPAS

Por la poca velocidad que caracteriza este fenómeno, debió ser tratado en el numeral correspondiente a erosión, pero se hace por separado debido a su amplia distribución en la cuenca media y alta, y a que puede dar lugar a pequeños desgarres del terreno cuando se produce su aceleramiento durante los períodos de lluvias. Flórez (1983), hizo una descripción detallada del fenómeno en el área de Manizales-Chinchiná, bajo la denominación de solifluxión profunda que corresponde bien con lo observado en la cuenca del río Lejos.

Las vertientes afectadas por este proceso, se caracterizan por una sucesión casi continua de concavidades seguidas de convexidades o abultamientos del terreno (Figura 6), detrás de los cuales es frecuente observar zonas húmedas o

de empozamiento; las dimensiones típicas entre la cabecera de la concavidad y el fin de la convexidad puede oscilar entre 20 y 30 m por 10 a 15 m de ancho.

Según Flórez (1983), este tipo de reptación se produce mediante un flujo lento de las cenizas volcánicas que cubren una capa plástica (arcilla o arcillo-limosa) derivada de la meteorización de las mismas cenizas o de la roca del substrato. Por la poca velocidad del fenómeno y la abundante cantidad de agua involucrada, la masa fluye sin producir efectos de cizallamiento (no hay superficie de ruptura) en la base del movimiento.

Este proceso de reptación en lupas, se genera gracias al fuerte contraste en la conductividad hidráulica de las cenizas volcánicas y la capa arcillo-limosa ubicada en profundidad; contribuyen además la alta humedad presente y las pendientes fuertes. El autor ya mencionado, encontró más al norte del área de estudio que este proceso es geológicamente muy antiguo y aún continúa activo.

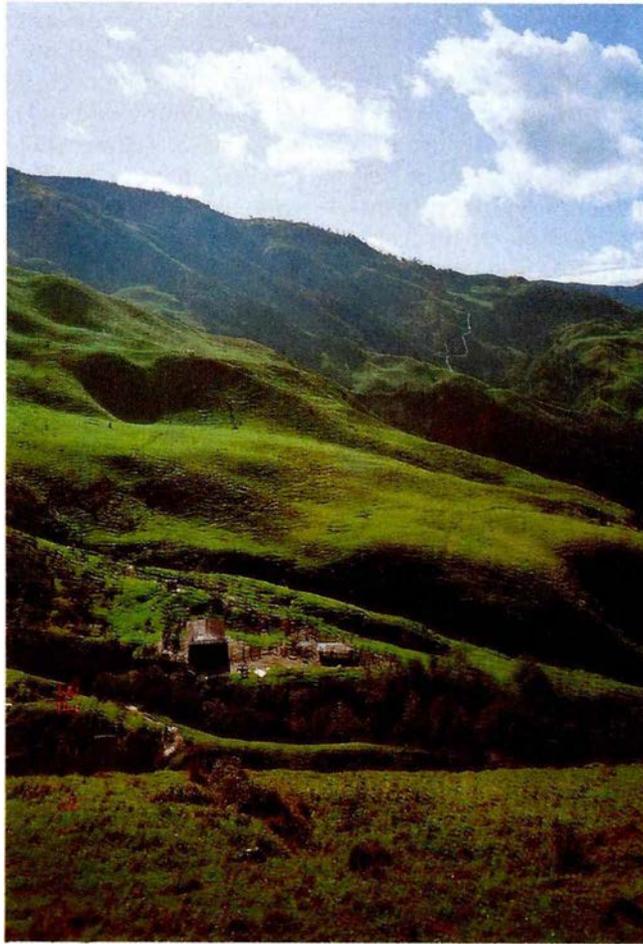


FIGURA 6. Pendientes cóncavo-convexas por reptación en lupas. Sector de Las Camelias

#### 4.4. EFECTOS DE LA ACTIVIDAD HUMANA

La mayor parte de la cuenca del río Lejos ha sufrido los rigores de una fuerte intervención representada por deforestación, construcción de vías, agricultura intensiva y ganadería, entre otras. Como resultado de este proceso se desencadena o acelera una serie de fenómenos que contribuyen al deterioro progresivo del paisaje.

Los fenómenos más comunes son movimientos en masa a lo largo de los cortes de carreteras, que se producen por la disminución del soporte lateral de las vertientes, especialmente cuando la vía cruza por sectores afectados por reptación en

lupas o áreas de derrumbes previos. Otro efecto negativo de las vías son las entregas deficientes de las aguas de escorrentía, que se dejan a media pendiente con lo que generan agresivos procesos de carcavamiento como los existentes en la carretera que de La Quebra conduce a la escuela Mameyal.

El cambio de café con sombrío por caturra, tiene implicaciones serias en cuanto al aceleramiento de procesos erosivos que no han sido evaluados aún con el suficiente detalle; el café con sombrío protegía las vertientes de la erosión y de los movimientos en masa, ya que se conformaba una cobertura vegetal de varios estratos que resguardaban el suelo del efecto erosivo de la lluvia y la escorrentía; el anclaje profundo de los árboles de

sombra contribuía también a la retención del suelo, disminuyendo en forma sustancial la probabilidad de ocurrencia de derrumbes.

El café caturra por el contrario, no requiere de sombrío, no admite la competencia de otro tipo de vegetación y su sistema radicular es mucho menos importante que el de los árboles de sombrío, favoreciendo así el aceleramiento de la erosión y ocurrencia de movimientos en masa.

La deforestación de la cuenca alta, especialmente en las zonas de fuerte pendiente y su reemplazo por potreros, contribuye a la generación de movimientos en masa en la medida que se elimina la estabilidad que proporciona el anclaje de las raíces, las cuales al descomponerse aumentan sensiblemente la porosidad y permeabilidad de los suelos.

Los efectos negativos del sobrepastoreo se observan claramente en la parte alta de la quebrada Las

Camelias, donde hay extensas zonas afectadas por reptación en terracetos del tipo denominado pata de vaca o caminos de ganado (Figura 7); debido a la combinación de las fuertes pendientes, la alta humedad y el sobrepeso de los animales, se pasa fácilmente de reptación a desgarres superficiales, que pueden evolucionar hacia movimientos en masa de mayores proporciones, como los que se pudieron observar en proximidades de la casa de Las Camelias.

Otro tipo de intervención humana en la cuenca, es la reforestación de amplias zonas con especies exóticas, cuyos efectos en bien o en contra de la estabilización de los procesos superficiales no han sido suficientemente evaluados. Sin embargo, durante el trabajo de campo se pudo observar que en las zonas dedicadas a esta actividad no existen procesos de remoción, debido a la espesa cubierta de hojas en descomposición que disminuyen la escorrentía.



FIGURA 7. Reptación en terracetos. Sector El Paraíso

#### 4.5. ACTIVIDAD FLUVIOTORRENCIAL DE LAS CORRIENTES

La mayor parte de las corrientes se caracteriza por presentar espesas acumulaciones de detritos, donde han quedado registradas evidencias morfológicas y sedimentológicas de una fuerte actividad torrencial, algunos de cuyos eventos han tenido consecuencias catastróficas para los pobladores del casco urbano de Pijao.

Del análisis sedimentológico, se desprende que la quebrada Las Camelias tiene una marcada tendencia a presentar flujos de escombros y en menor proporción flujos de lodo, originados por el gran aporte de material finogranular proveniente de las zonas de carcavamiento (Figura 8)

Morfológica y sedimentológicamente se encontraron evidencias de comportamientos torrenciales tales como acumulaciones hasta de 5 m de altura con respecto al nivel actual del cauce, conformadas por niveles irregulares de material mal seleccionado, generalmente bloques de dis-

tinto tamaño incluidos en una matriz arenosa, areno-limosa o limosa según haya sido la génesis del proceso.

Dentro de estas acumulaciones se pudieron observar intercalaciones de depósitos originados por flujos de lodo o de escombros, con matriz arenosa o areno-limosa derivada de las áreas metamórficas principalmente; los flujos de lodo, de menor importancia en cuanto a volumen y número, se caracterizan por tener una matriz limosa proveniente de las cenizas volcánicas que cubren las vertientes.

De acuerdo con las observaciones antes anotadas se deduce que el proceso dominante es el flujo de escombros, el cual se origina en los carcavamientos de la zona de microcuencas. De otro lado, los flujos de lodo parece que se inician a partir de derrumbes en las vertientes.

Otros rasgos sedimentológicos característicos de este tipo de comportamiento, lo constituyen las barras laterales (diques) de bloques de gran tamaño, acumulados en los bordes de los canales activos en el momento de un evento. Son comu-

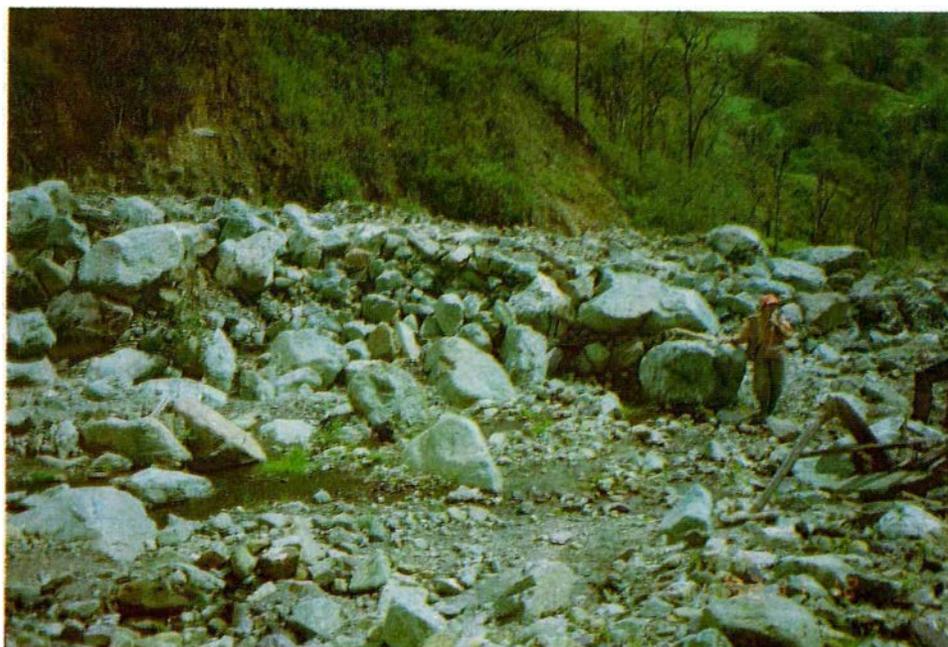


FIGURA 8. Detalle del lecho de la quebrada Las Camelias

nes los depósitos con gradación inversa o sea que los bloques de mayor diámetro (1 a 2 m), ocupan la parte superior, sin matriz, acumulados sobre un depósito de cantos de tamaño menor, contenidos en una matriz arenosa; el espesor de estas acumulaciones puede tener de 2 a 3 m.

Otra característica de los depósitos dejados por los flujos de escombros, es la ubicación de los bloques de mayor tamaño en la parte frontal de la acumulación.

El comportamiento torrencial que presenta la corriente, está en relación con la pendiente relativamente alta del canal, la alta precipitación y el aporte de grandes volúmenes de sedimentos finos que eleva la densidad del fluido, permitiéndole el transporte de material muy grueso que no puede ser movilizado en condiciones normales o en crecientes de agua únicamente (inundaciones).

Los volúmenes de sedimentos acumulados, se explican por el estrechamiento que sufre el canal un poco antes de desembocar en el río Lejos, el cual funciona de alguna manera como una presa de sedimentos.

Otra zona de acumulación cubre los lechos del río Lejos y de las quebradas La Española y Las Pizarras principalmente; los sedimentos aquí depositados tienen características similares a las descritas anteriormente. A diferencia de la zona anterior, esta acumulación de sedimentos se genera por una disminución marcada del gradiente del cauce, dando lugar a un abanico interno de sedimentación rápida, evidenciado en el ascenso del nivel del río en cercanías del casco urbano; a pesar de que el valle es relativamente amplio, en este sector la acumulación de los bloques de mayor diámetro se concentra en la parte más baja del abanico. Los sedimentos provienen principalmente de las quebradas La Española y Las Pizarras y en menor cantidad de la zona de acumulación de Las Camelias.

Existen estrechamientos del cauce, con paredes de fuerte inclinación hasta verticales labradas en roca fresca, originados probablemente por la incisión acelerada debido a rejuvenecimientos del cauce por procesos tectónicos. Por lo estrecho del canal la corriente adquiere mayor velocidad y

capacidad de transporte, razón por la cual las acumulaciones de sedimentos son escasas; a lo largo de estos segmentos se transfieren sedimentos de una zona de acumulación a otra y a la vez sirven de seleccionadores de tamaño de bloques.

#### 4.6. ACTIVIDAD SISMICA

Es importante hacer una evaluación de la actividad sísmica que afecta al Departamento del Quindío, como posible detonadora de movimientos del terreno, fenómeno que ya ocurrió en la región del río Coredó, municipio de Murindó (Antioquia) con los terremotos del 17 y 18 de Octubre de 1992.

Thouret y Faivre (1989), indican cómo algunos factores externos pueden contribuir al desencadenamiento de movimientos en masa, los cuales actúan específicamente en los materiales situados sobre la zona de interfase (cenizas volcánicas). La incidencia del factor climático está condicionada a los períodos de lluvias intensas y durables que saturan los suelos volcánicos, los cuales tienen cualidades de retención muy alta, incrementando su sensibilidad a ser removilizadas. En cuanto al factor geodinámico, las sacudidas sísmicas en los alrededores de fallas activas del Sistema Romeral, pueden ocasionar el desplazamiento súbito del terreno, por pérdida de la cohesión entre las partículas que conforman estas cenizas volcánicas ya saturadas.

Aunque en el área del trabajo no se encontraron enjambres de cicatrices o movimientos activos con edad similar, que pudieran ser relacionados con un origen sísmico, no se debe descartar su ocurrencia, ya que el Departamento se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta y que la actividad cuaternaria de las fallas que lo cruzan es apenas conocida.

#### 4.7. AMENAZA VOLCANICA

Al igual que todo el Departamento del Quindío, la cuenca del río Lejos puede verse afectada por caída de cenizas provenientes de la actividad eruptiva de los volcanes del Complejo

Ruiz-Tolima. Este fenómeno sólo se produciría en el caso de que al momento de una erupción, los vientos estén dirigidos hacia el suroeste, dirección que se da con muy poca frecuencia en la actualidad. Se espera que los volúmenes de cenizas que caigan sean mínimos y por lo tanto no se considera como una amenaza importante.

## 5. EVALUACION DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSION

Los procesos morfodinámicos con una incidencia mayor en el deterioro de la cuenca del río Lejos, son derrumbes activos de diverso tipo y carcavamientos. En este capítulo se pretende encontrar, mediante el cruce de mapas donde se presentan los diferentes factores que intervienen en la generación de estos procesos, cuáles son las áreas de la cuenca más propensas o susceptibles a la aparición de estos fenómenos.

Un mapa de amenaza muestra el territorio dividido en áreas o zonas de características homogéneas con respecto a la posibilidad de desencadenamiento de un determinado fenómeno; en otras palabras, se considera que dentro de una de estas zonas existe la misma posibilidad de generación de éste, ya que los factores que le dan origen se encuentran presentes en el mismo rango.

### 5.1. SELECCION DE UN METODO PARA LA EVALUACION DE LA AMENAZA EN LA CUENCA DEL RIO LEJOS

Durante el trabajo de campo se recogió la información necesaria para la elaboración de varios mapas temáticos, cuyos factores se consideraron críticos en el desencadenamiento de los distintos procesos morfodinámicos, identificados en el terreno como los principales contribuyentes al deterioro progresivo de la cuenca.

Con excepción del mapa de unidades geológicas, elaborado por González y Núñez (1991), se realizaron mapas del uso agrícola del suelo, geomorfológico, de isoyetas, de procesos

morfodinámicos y el programa ILWIS permitió el cálculo del mapa de pendientes a partir de la base topográfica existente.

Se dispuso igualmente de datos de permeabilidad (conductividad hidráulica), para cada uno de los saprolitos provenientes de las unidades geológicas; aunque se realizó el análisis de ellos, al compararlos de manera regional, se consideró que los datos no fueron suficientes para realizar un mapa adicional de contrastes de permeabilidad, lo suficientemente confiable.

Sin embargo, los valores permiten sacar algunas conclusiones preliminares sobre la incidencia que tienen en los procesos de movimientos en masa y carcavamientos.

Los valores obtenidos para las cenizas volcánicas presentan la mayor permeabilidad, la cual varía entre 4 y 10 cm/min. De los saprolitos, los más impermeables corresponden con los provenientes de las rocas ultramáficas (1.26 cm/min), Complejo Igneo de Córdoba (1.74 cm/min) y las rocas sedimentarias de la Formación Quebradagrande (1.72 cm/min); de otro lado, los saprolitos más permeables son en su orden las rocas metamórficas del Complejo Arquía (18.95 cm/min) y los pórfidos andesíticos hornbléndicos (14.3 cm/min).

El contraste de conductividad hidráulica entre los saprolitos (suelos residuales) de las diferentes rocas presentes en el área y la cubierta de cenizas volcánicas, permite explicar la mayor o menor incidencia de movimientos en masa y carcavamiento en cada una de ellas, como se muestra a continuación:

- Para el Complejo Igneo de Córdoba, se presenta un contraste alto, de 10 cm/min para las cenizas volcánicas y 1.74 para el saprolito; esto explica la mínima presencia de deslizamientos y la incidencia media en la generación de cárcavas, cuya génesis está en relación con la acumulación y circulación del agua de infiltración en la zona de interfase.

La circulación del agua, a lo largo de la interfase ya mencionada, ocasiona erosión interna (sofusión) que al progresar da lugar al proceso de carcavamiento.

- En las rocas sedimentarias del Complejo Quebradagrande, el contraste alto con las cenizas volcánicas, explica la alta incidencia tanto de cárcavas como de deslizamientos que se observa en la unidad.
- El escaso contraste existente entre las cenizas volcánicas y los saprolitos de los pórfidos y de las rocas metamórficas del Complejo Arquía, indica una mínima susceptibilidad a los procesos ya mencionados.

De acuerdo con el tipo y la calidad de la información disponible, se optó por el método de análisis estadístico univariado, consistente en el cruce individual del mapa de procesos morfodinámicos, presentado en forma de densidad relativa por proceso, con cada uno de los otros mencionados; se obtuvieron nuevos mapas y tablas que expresan el grado de correlación entre los distintos parámetros analizados. Los mapas resultado son producto de los cruces de los datos, obtenidos de los cruces antes mencionados.

## 5.2. PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL PAQUETE "ILWIS" EN LA CUENCA DEL RIO LEJOS

Para la utilización del programa ILWIS versión 1.21 se procedió de la siguiente manera:

- Elaboración y digitalización, en modo VECTOR, de todos los mapas obtenidos en las fases iniciales del estudio; cada uno de los mapas fue acompañado de la respectiva tabla de atributos por clase o factor considerado.
- Paso del modo VECTOR al RASTER para cada mapa. Se utilizó una dimensión de pixel de 20 x 20m.
- Construcción digital del mapa de pendientes puntuales.
- Cruce de cada uno de los mapas temáticos y su respectiva tabla de atributos, con el mapa de procesos morfodinámicos y su tabla, para la obtención de los pesos relativos de cada factor analizado.

- Obtención de los mapas de susceptibilidad a partir de las combinaciones anteriormente mencionadas.

### 5.2.1. Mapas de Entrada

En este aparte se hará una breve descripción de cada uno de los mapas utilizados en el análisis.

**Mapa geológico** (Figura 9). Este mapa tiene las siguientes clases o factores:

- Complejo Igneo de Córdoba (Código 1): Diorita con variaciones a granodiorita.
- Complejo Arquía: Esquistos anfibólicos y anfibolitas intercaladas (Código 2) y (Código 3) para esquistos cuarzo sericíticos localmente intercalados con cuarcitas.
- Complejo Quebradagrande, volcanosedimentario (Código 4): Rocas volcánicas y sedimentarias del Cretáceo, intercaladas tectónicamente con esquistos cloríticos, clorítico-actinolíticos del Paleozoico. Miembro Sedimentario, (Código 5): Pizarras arcillosas y silíceas, grawacas, limolitas, liditas y localmente calizas; tiene metamorfismo dinámico.
- Rocas ultramáficas, (Código 6): Serpentinitas localmente con estructura esquistosa por efectos dinámicos.
- Complejo Quebradagrande, Miembro Volcánico, (Código 7): Lavas submarinas y piroclastitas con intercalaciones locales de sedimentitas.
- Complejo Cajamarca, (Código 8): Esquistos cuarzo-sericíticos, actinolíticos y cloríticos sin diferenciar.
- Pórfido andesítico, (Código 9): Pórfidos andesíticos hornbléndicos.

**Mapa geomorfológico** (Figura 10). Se diferenciaron las siguientes unidades:

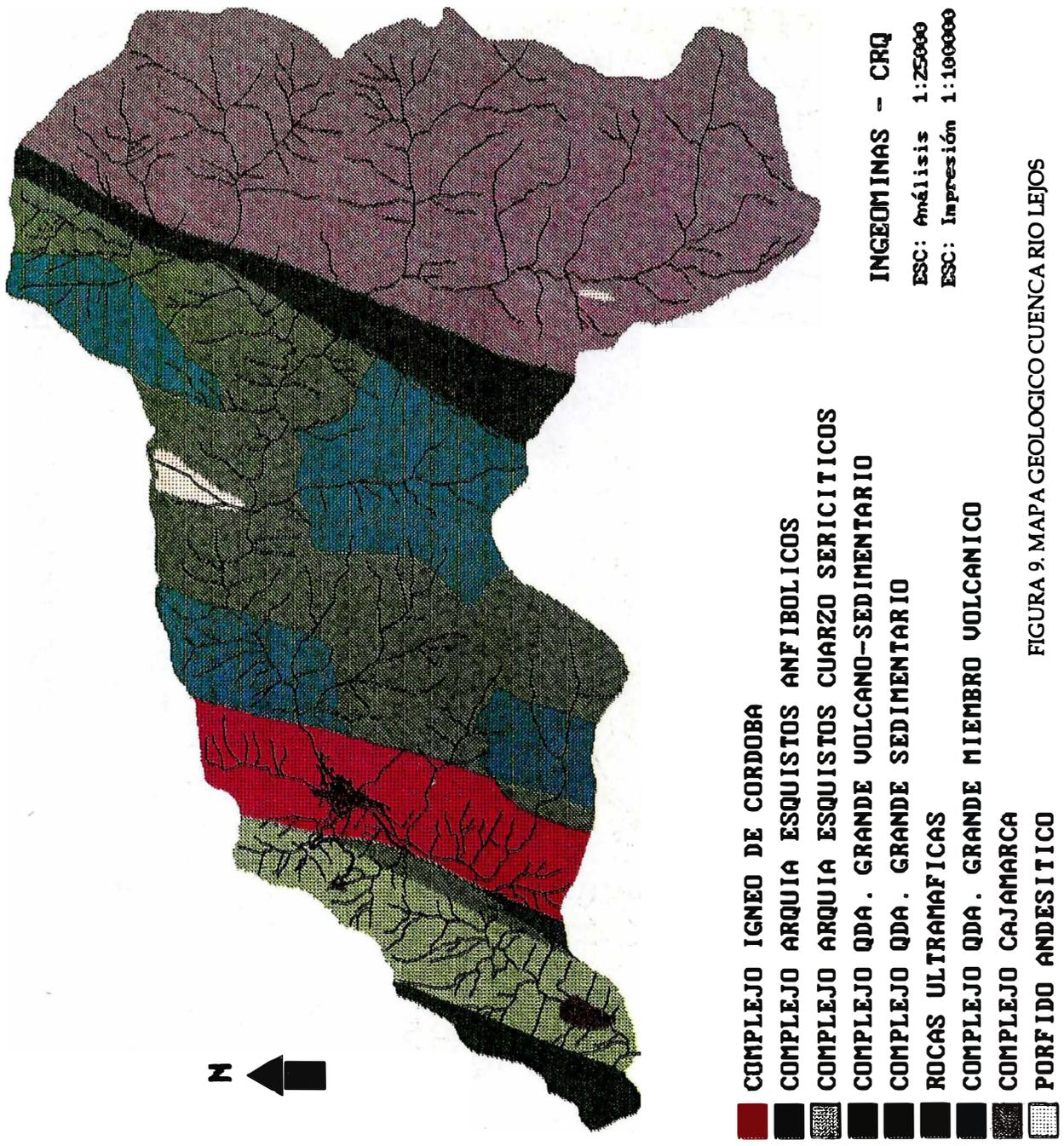


FIGURA 9. MAPA GEOLOGICO CUENCA RIO LEJOS

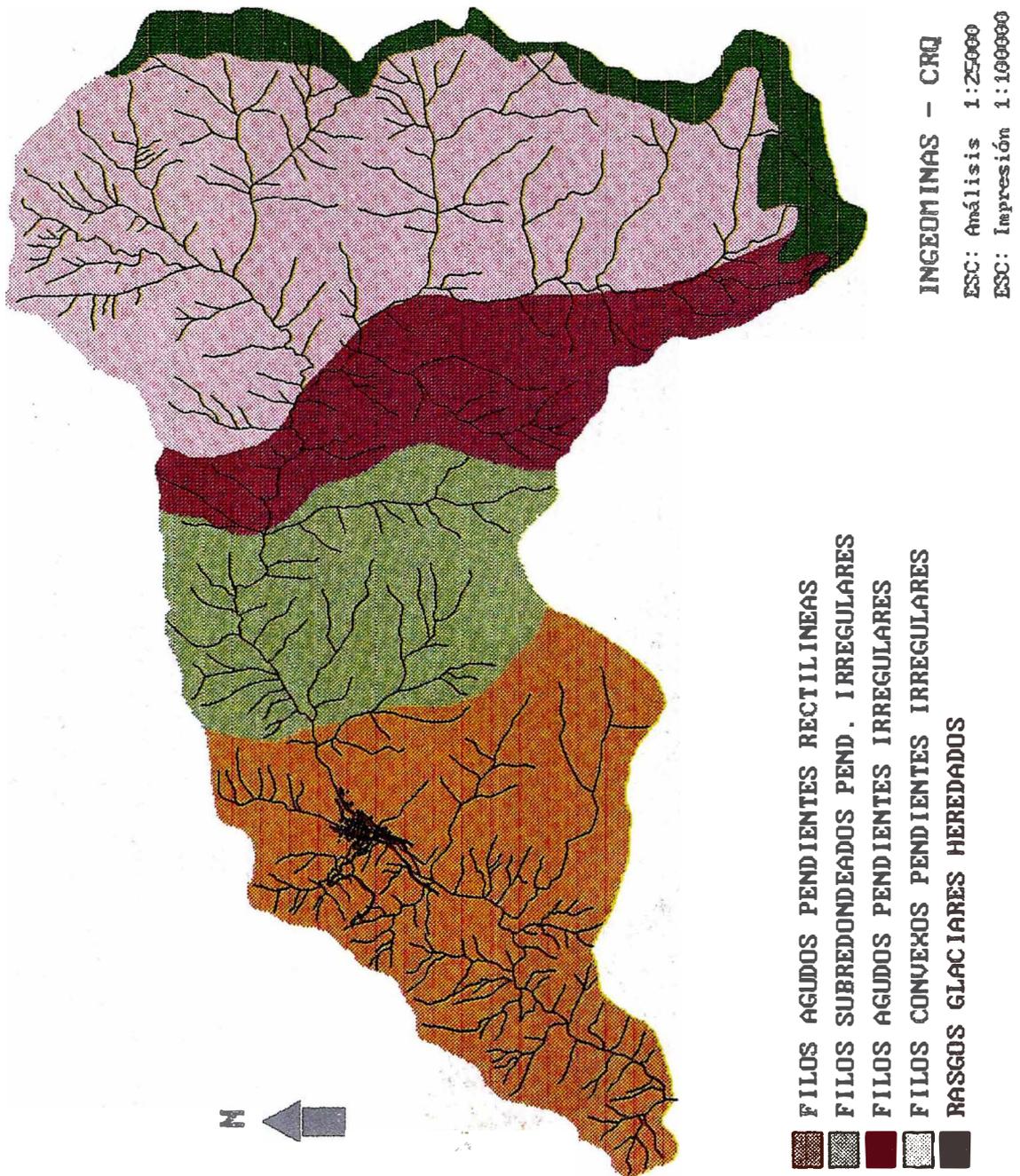


FIGURA 10. MAPA GEOMORFOLOGICO CUENCA RIO LEJOS

- Unidad filos agudos, pendientes rectilíneas, (Código 1).
- Unidad filos subredondeados, pendientes irregulares, (Código 2).
- Unidad filos agudos, pendientes irregulares, (Código 3).
- Unidad filos convexos, pendientes irregulares (Código 4).
- Unidad de rasgos glaciares heredados, (Código 5).

**Mapa de procesos morfodinámicos** (Figura 11). Se agruparon en polígonos dependiendo del proceso dominante en cada uno de ellos.

- Cicatrices de derrumbes, (Código 1): Derrumbes inactivos de diverso tipo y volúmenes variables.
- Derrumbes activos, (Código 2). Derrumbes activos de diverso tipo y volumen .
- Cárcavas, (Código 3): Carcavamiento activo en distintas etapas de desarrollo.
- Reptación en lupas, (Código 4): Proceso de movimiento lento del terreno; produce topografía cóncavo-convexa.
- Reptación en terracetas, (Código 5): Terracetas de desgarre y caminos de ganado.

Se agregó una zona de procesos mínimos debido a la baja densidad de estos, (Código 6).

**Mapa de uso agrícola del suelo** (Figura 12). Para la elaboración de este mapa se tomaron como base las fotografías aéreas en diferentes escalas y fechas y se ajustaron con lo observado en el campo, de acuerdo con las siguientes categorías:

- Bosque comercial adulto, (Código 1): Plantaciones comerciales de cipreses desarrollados.
- Bosque comercial pequeño, (Código 2): Plan-

taciones de cipreses comerciales o de protección, en distintas etapas de crecimiento.

- Bosque secundario, (Código 3): Bosque regenerado espontáneamente, principalmente en la parte media y alta de la cuenca.
- Bosque primario, (Código 4): Existen "parches" de bosque primario en las zonas de vida (Espinal, 1977), bh-PM, bmh-PM, bmh-MB. Predomina el ambiente de bosque bmh-MB.
- Bosque primario de gramíneas y frailejones, (Código 5): Predomina bosque de la zona de vida, bp-h. (Espinal, 1977).
- Cafetal con sombrío, (Código 6): Cafetal con sombrío de guamo y plataneras.
- Cafetal sin sombrío, (Código 7): Caturrales en diferentes etapas de desarrollo.
- Pastos, (Código 8): Zonas con dedicación a la ganadería extensiva de leche, principalmente.

**Mapa de isoyetas** (Figura 13). Por la carencia de datos pluviométricos de la cuenca del río Lejos y debido a que la casi totalidad de estaciones existentes sólo cubren la zona cafetera, se elaboró el mapa de isoyetas asumiendo que la precipitación de la cuenca varía con la altura, de la misma manera como se estableció en el Transecto Parque de los Nevados, unos 60 km en línea recta al norte del área de estudio (THOURET y FAIVRE, 1989a, 1989b).

Este mapa tiene como inconveniente principal que no toma en consideración las especificaciones microclimáticas de la cuenca. Las clases o rangos establecidos de acuerdo a la precipitación promedio anual, son los siguientes:

Isoyeta 2000 - 2500 mm anuales (Código 1)

Isoyeta 2500 - 3000 mm anuales (Código 2)

Isoyeta 3000 - 3500 mm anuales (Código 3)

Isoyeta 3500 - 4000 mm anuales (Código 4)

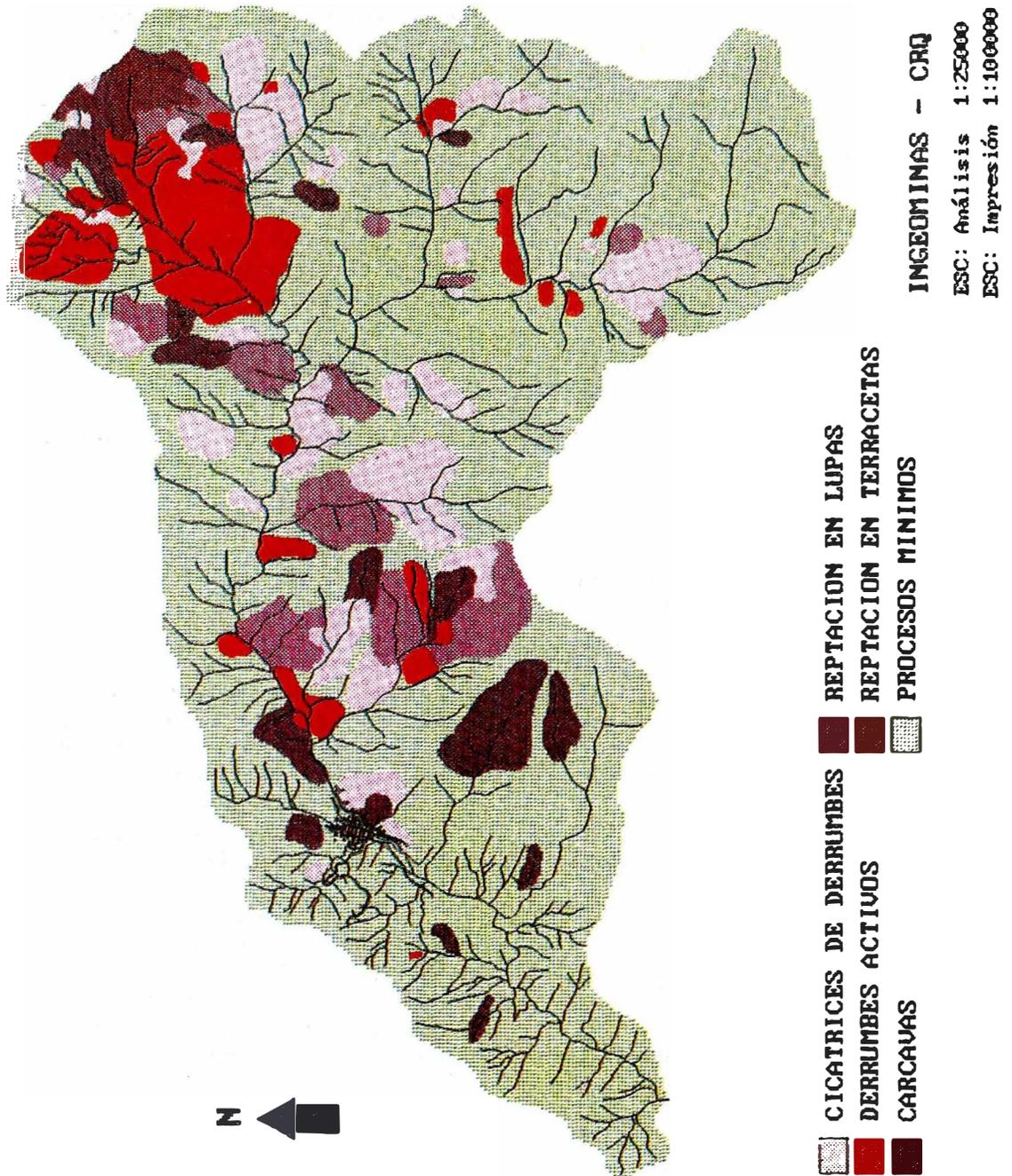


FIGURA 11. MAPA DE PROCESOS MORFODINAMICOS CUENCA RIO LEJOS

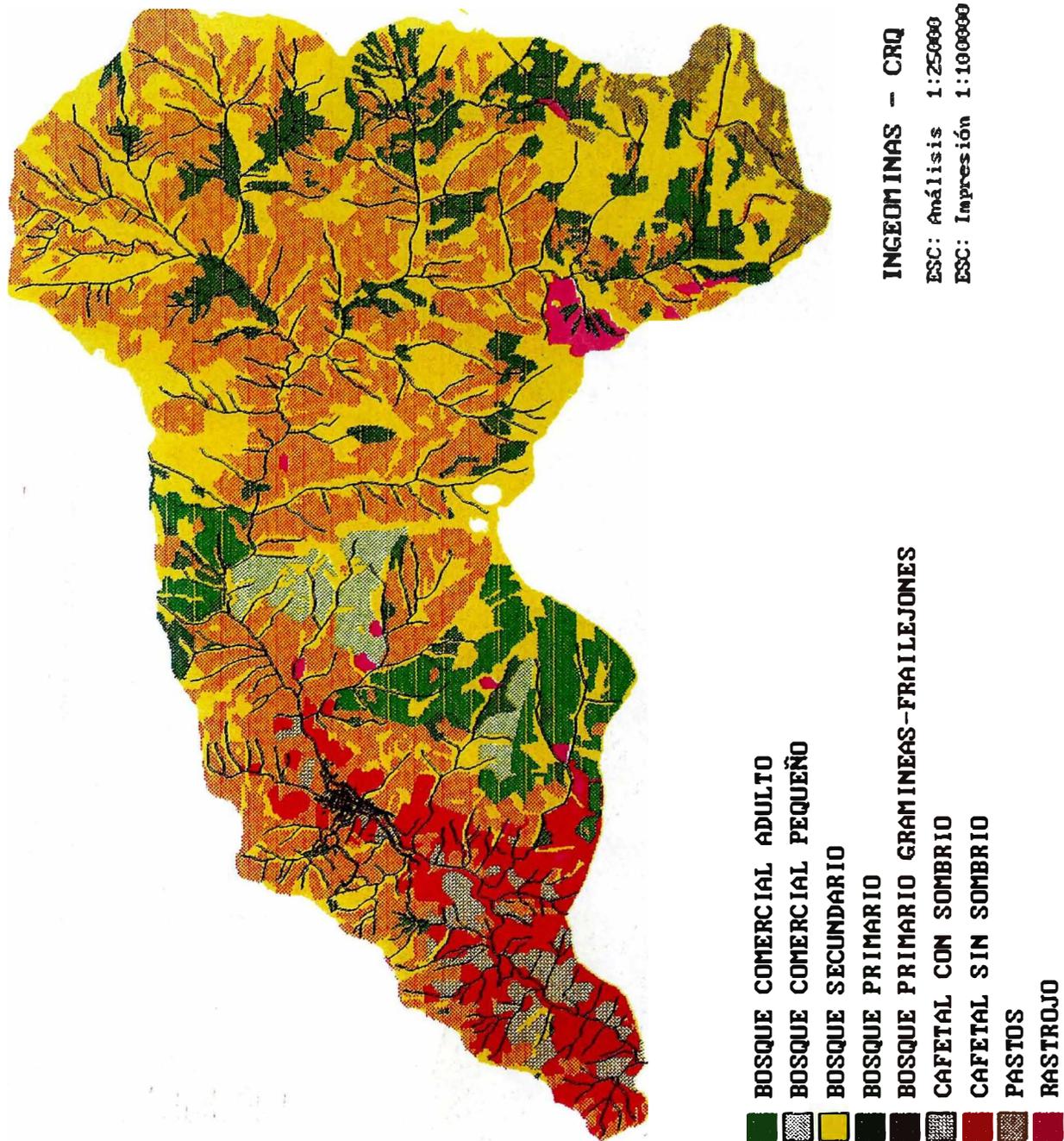


FIGURA 12. MAPA DE USO AGRICOLA DEL SUELO CUENCA RIO LEJOS

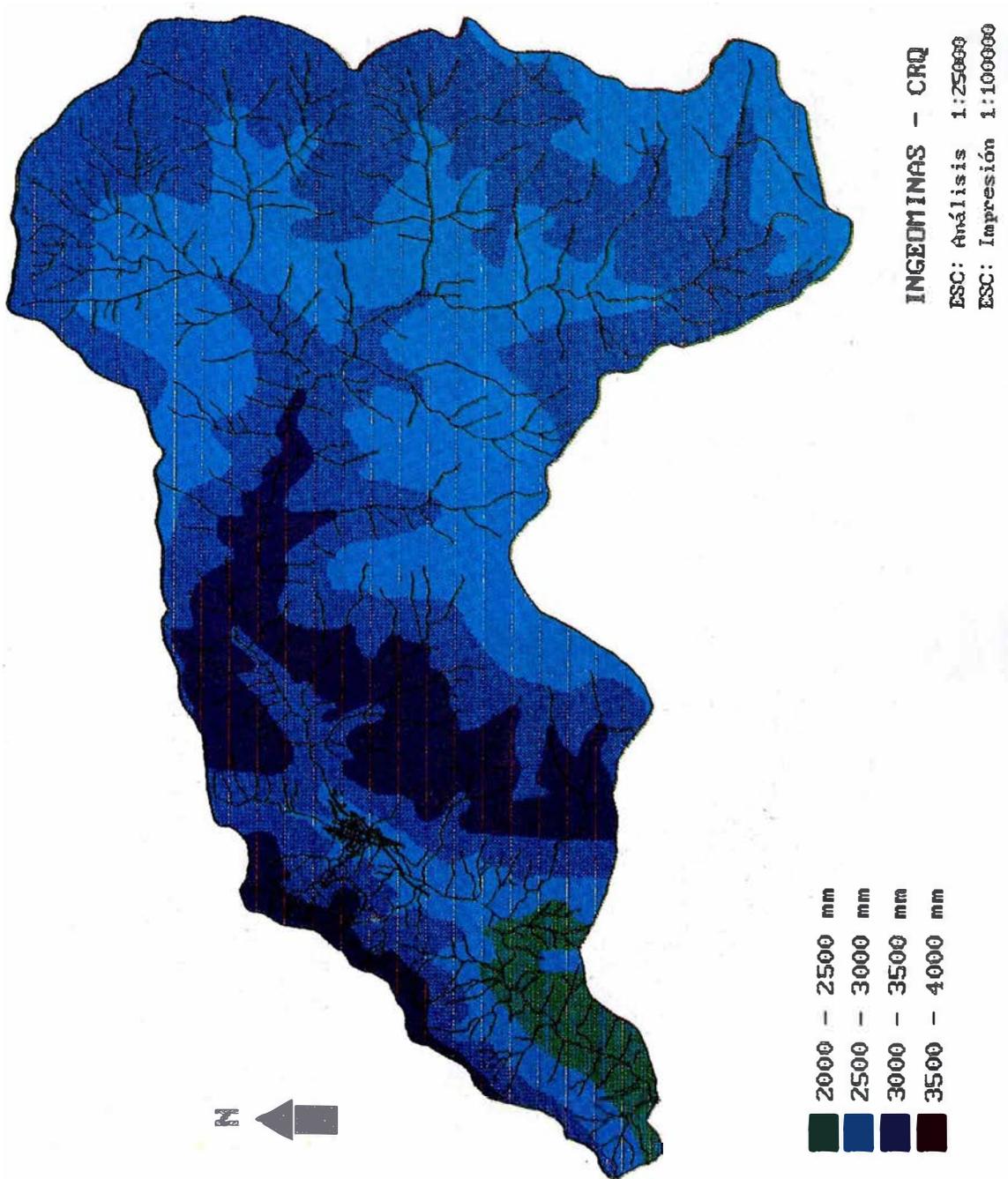


FIGURA 13. MAPA DE ISOYETAS

**Mapa de Pendientes** (Figura 14). Producido por el programa ILWIS a partir del mapa de curvas de nivel previamente digitalizado. Para su elaboración se utilizaron los siguientes 10 rangos de pendiente:

- 0° - 5° (Código 1)
- 5° - 10° (Código 2)
- 10° - 15° (Código 3)
- 15° - 20° (Código 4)
- 20° - 25° (Código 5)
- 25° - 30° (Código 6)
- 30° - 35° (Código 7)
- 35° - 40° (Código 8)
- 40° - 45° (Código 9)
- > 45° (Código 10)

### 5.2.2. Procesamiento de la información y resultados principales

Una vez digitalizados los mapas anteriores y convertidos a modo RASTER, se procedió a hacer el cruce de tablas. Como se dijo antes, se tomó como mapa base para todas las comparaciones el de procesos morfodinámicos; así se obtuvo una serie de mapas intermedios que muestran la susceptibilidad que tienen las distintas unidades de terreno consideradas, a la ocurrencia de cada uno de los procesos identificados previamente.

Dicha susceptibilidad se encontró comparando cada unidad de terreno contra el número de píxeles, (graduándose las unidades de más a menos susceptibles). Con el fin de conocer el peso relativo de cada unidad, se calculó el porcentaje de área representada por cada una y se multiplicó por el número de píxeles, obteniéndose su peso ponderado; este resultado se comparó con los datos iniciales y no se encontraron diferencias sustanciales.

En los siguientes párrafos se discuten las principales conclusiones de este cruce de mapas.

#### Mapa de pendientes vs. mapa de procesos (PENPROC)

El coeficiente de correlación de estos mapas fue de 0.80169, considerado bueno. Los procesos dominantes son en su orden: Cicatrices de derrumbes,

derrumbes activos y cárcavamiento. Los rangos de pendiente más sensibles a la ocurrencia de estos fenómenos son los correspondientes a los códigos 5 y 6; el Código 7 juega igualmente un papel importante en la generación de derrumbes activos.

Los rangos más estables se agrupan entre los de pendiente más baja (1, 2, 3) y los más altos (9, 10). Esto último se opone a la idea general que entre mayor sea la pendiente del terreno, mayor es la probabilidad de que se generen movimientos de remoción en masa; el hecho de ser las pendientes intermedias las más afectadas, podría explicarse mediante la combinación de dos factores críticos como son pendiente y volumen de infiltración de aguas lluvias; las pendientes bajas pueden recibir abundante infiltración pero la acción de la gravedad no es lo suficientemente importante. La fuerte inclinación de los rangos superiores, por el contrario, inhiben la infiltración de agua.

La simetría de valores hallados para los procesos 1, 2 y 3 podría explicarse por la relación causal que hay entre ellos; un cárcavamiento acelerado puede iniciarse a partir de la ocurrencia de derrumbes que dejan descubierta de vegetación algunas áreas, dando inicio el proceso erosivo; de la misma manera, cárcavas con elevado grado de deterioro pueden desestabilizar áreas importantes, contribuyendo a la generación de movimientos masivos.

El avance progresivo de la reptación, (procesos 4 y 5) puede igualmente dar origen a derrumbes, generalmente de tamaño moderado.

#### Mapa de uso agrícola del suelo vs. mapa de procesos (USOPROC)

Se obtuvo un buen grado de correlación (0.77721).

El uso del suelo más susceptible a la ocurrencia de todos los procesos es el de pastos para ganadería extensiva; esto concuerda perfectamente con lo observado en campo, donde la eliminación de la protección que ofrece el bosque en zonas de laderas, permite el fácil desencadenamiento de procesos erosivos y de remoción en masa, por la eliminación del "amarre" del suelo que ejercen las raíces de los árboles.

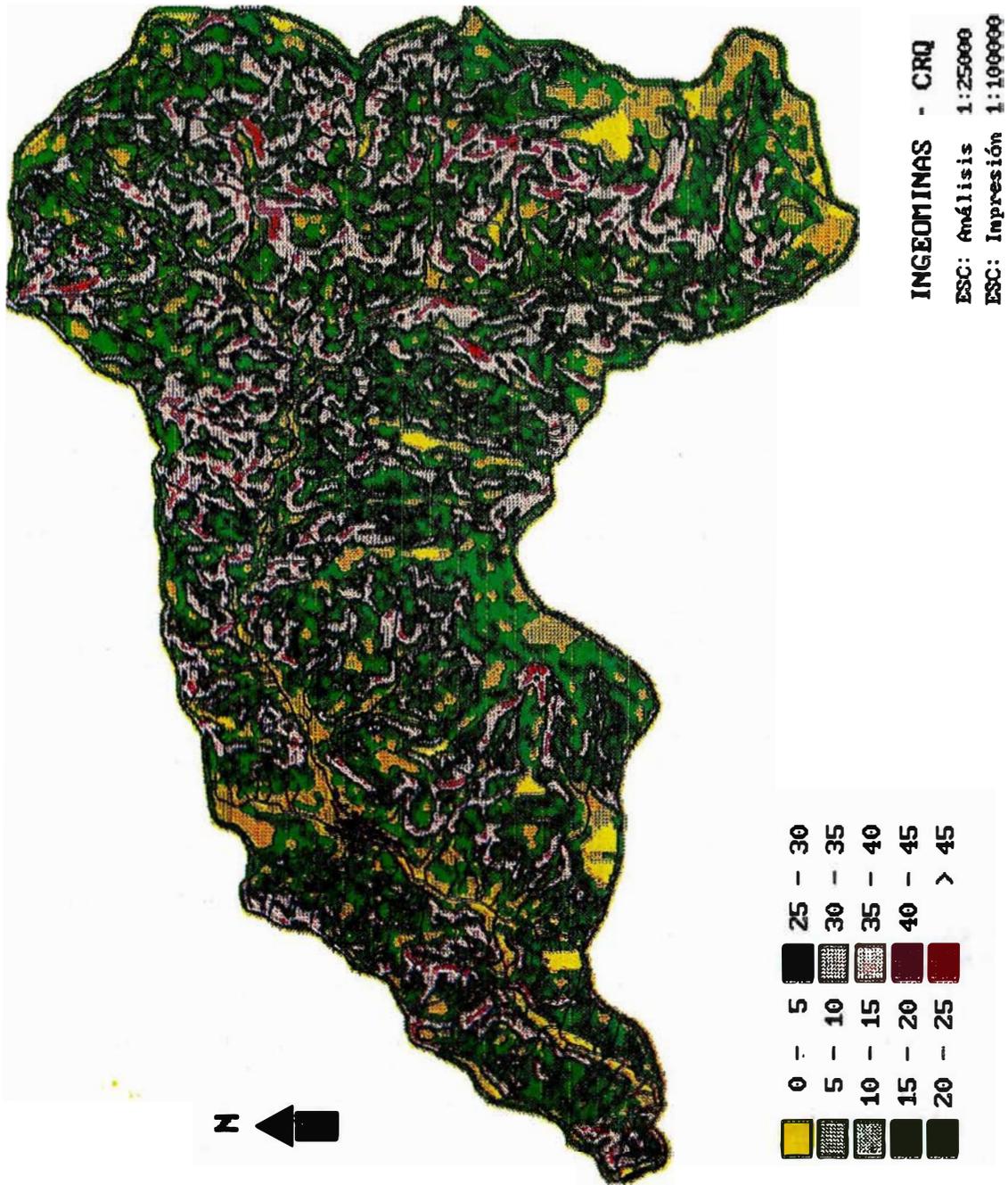


FIGURA 14. MAPA DE PENDIENTES

En estudios realizados en ambientes similares de la vertiente occidental de la Cordillera Central (FLOREZ, 1983), se ha encontrado que los movimientos de masa pequeños, del tipo golpe de cuchara, aparecen entre 2 y 5 años después de la tala del bosque, iniciándose de esta manera el deterioro progresivo de las vertientes.

Los procesos que tienen mayor incidencia en este uso del suelo son: cicatrices de derrumbes antiguos, derrumbes activos, reptación en lupas y caracavamiento, todos estrechamente ligados a la deforestación.

Un problema mayor se encuentra en la alta correlación que hay entre el uso bosque primario y la aparición de procesos morfodinámicos. Esta conclusión se contradice abiertamente con lo anterior y no corresponde con las observaciones de campo; la dificultad en la interpretación podría deberse a razones de método como:

- Que los parches de bosque natural sean en realidad menores que lo presentado en el mapa de uso agrícola del suelo.
- Que zonas de rastrojo o bosque regenerado espontáneamente, después de la ocurrencia de algunos de estos procesos, hayan sido cartografiados como bosque natural, debido a la poca experiencia de los geólogos en esta actividad.

Aunque la susceptibilidad de este uso aparece como alta, según los resultados del cruce de mapas, se le asigna al grupo de susceptibilidad baja por las razones antes expuestas.

Más acorde con la información de campo, es que los usos más compatibles con el mantenimiento y mejoramiento de la estabilidad de las vertientes son el bosque comercial adulto, el bosque secundario y el rastrojo. El cafetal con sombrío presenta un buen comportamiento; aunque los cultivos de café caturra, (sin sombrío), tienen una susceptibilidad a los procesos analizados, de nula a media, es muy intensa la erosión superficial o laminar, no contemplada dentro del esquema de trabajo, pero que tiene igualmente consecuencias graves para la conservación de los recursos naturales.

### **Mapa geológico vs. mapa de procesos (GEOLPROC)**

El coeficiente de correlación obtenido en el cruce de estos mapas fue de 0,83488, muy bueno.

La unidad geológica más propensa a presentar fenómenos de remoción en masa es el Complejo Cajamarca, compuesto por rocas metamórficas foliadas, algunas de las cuales son muy delezna- bles, facilitando la ocurrencia de derrumbes. Las cárcavas son más comunes en el miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande; el metamorfismo dinámico extendido que caracteriza esta unidad, puede ser uno de los factores que facilitan la erodabilidad de la secuencia litológica.

La reptación en lupas predomina en la misma unidad anterior, mientras que la reptación en terracetas se asocia más fácilmente con el Complejo Cajamarca. Las unidades más estables son el Complejo Igneo de Córdoba, de composición diorítica-cuarzodiorítica y el Complejo Arquía, de carácter metamórfico; el predominio de esquistos anfibólicos y anfibolitas en este último contribuyen a conferirle este grado de estabilidad.

### **Mapa geomorfológico vs mapa de procesos (GEOMPROC)**

Se obtuvo un buen coeficiente de correlación, equivalente a 0,855571.

De las cinco unidades geomorfológicas cartografiadas en la cuenca del río Lejos se encontró que la más propensa a presentar derrumbes de todo tipo es la que se codificó con el número 4, denominada unidad de filos convexos y pendientes irregulares, altitudinalmente ubicada entre los 3000 y 3500 m.s.n.m.; le sigue en orden de jerarquía la unidad 2 o de filos subredondeados y pendientes irregulares localizada entre 2000 y 2600 m.s.n.m.

Contrariamente a lo esperado, la unidad más afectada por el proceso de caracavamiento es la número 1 caracterizada por filos agudos y pendientes rectilíneas; la unidad 4, donde existen las manifestaciones más espectaculares, por las di-

menciones de las cárcavas, tiene una susceptibilidad alta. Las unidades 5 y 3 son las menos influenciadas por el carcavamiento, lo que explica en parte el relativo bajo volumen de carga (sedimentos en el cauce) que transportan las corrientes que la drenan.

La reptación en lupas, (solifluxión tropical), es muy importante en las unidades 2, (filos subredondeados, pendientes irregulares) y 4, (filos convexos, pendientes irregulares); las terracetas de desgarrar y sobrepastoreo tienen su mejor expresión en la unidad 4. La unidad más estable en su conjunto es la de rasgos glaciares heredados (5), seguida por la unidad 3 de filos agudos y pendientes irregulares.

### Mapa de isoyetas vs mapa de procesos (ISOPROC)

El coeficiente de correlación obtenido en el cruce de estos mapas fue de 0.85571 que se considera muy bueno.

En los rangos de precipitación 2, (2.500 - 3.000 mm/año), 3, (3.000 - 3.500 mm/año) y 4, (3.500 - 4.000 mm/año), es donde ocurren o han ocurrido en el pasado el mayor número de movimientos en masa de diferente tipo y volumen. La isoyeta 1 que varía entre 2.000 y 2.500 mm/año es la menos afectada por este fenómeno.

El carcavamiento es dominante en las isoyetas 3 y 2 respectivamente, mientras que en la 1 prácticamente no se produce. La reptación en lupas coincide fundamentalmente con las isoyetas 3 y 2.

## 5.3. ANALISIS DE INFORMACION Y PREPARACION DE LOS MAPAS DE AMENAZA

Como último paso se procedió a realizar los mapas de amenaza; se consideró que los procesos activos con mayor incidencia en el deterioro de la cuenca son los derrumbes activos y el carcavamiento; la reptación en lupas y en terracetas de desgarrar se pueden asimilar como el inicio de los procesos anotados.

Después de calificar la susceptibilidad de los cinco factores estudiados, se le asignó a cada una de las clases determinadas por factor, un índice de calificación de 1 a 5 según fuera su susceptibilidad: Muy baja, (1), baja (2), media (3), alta (4) o muy alta (5). Una vez recalculados los mapas se procedió a sumarlos y el total se dividió por cinco (5), ya que todos tienen el mismo peso relativo como lo indican los coeficientes de correlación obtenidos.

### 5.3.1. Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa, (Figura 15)

Representa muy bien la apreciación que tuvieron los técnicos durante el trabajo de campo.

**Susceptibilidad muy alta.** Aparece como una franja alargada en sentido norte-sur, concentrada principalmente en las cabeceras del río Lejos; se exceptúa la franja que coincide con la unidad geomorfológica de rasgos glaciales heredados, ocupada por bosque de páramo.

Las subcuencas más afectables son: Chamuscados margen derecha, Puracé parte alta, la casi totalidad del Paraíso y El Jardín, la cabecera de río Lejos en especial su margen derecha, Las Camelias parte alta, La Cuzumbera y la margen derecha de la cuenca de Las Camelias, (sector el Alto-El Pedregal).

**Susceptibilidad alta.** De la cuenca del río Lejos cubre aproximadamente el 60% de la parte alta y el 70% de la media. Se destacan dentro de esta categoría las subcuencas de La Cristalina, El Aguila, Las Camelias alta y baja, la parte alta de La Española y Las Pizarras y un tramo del río Lejos comprendido entre La Sierra y Guamal.

**Susceptibilidad media.** Resalta dentro de esta clasificación la parte más alta de la cuenca, zona de páramo, poco afectada hasta el presente por la actividad humana.

Aproximadamente el 30% de la cuenca media y parte de la baja del río Lejos, queda incluida

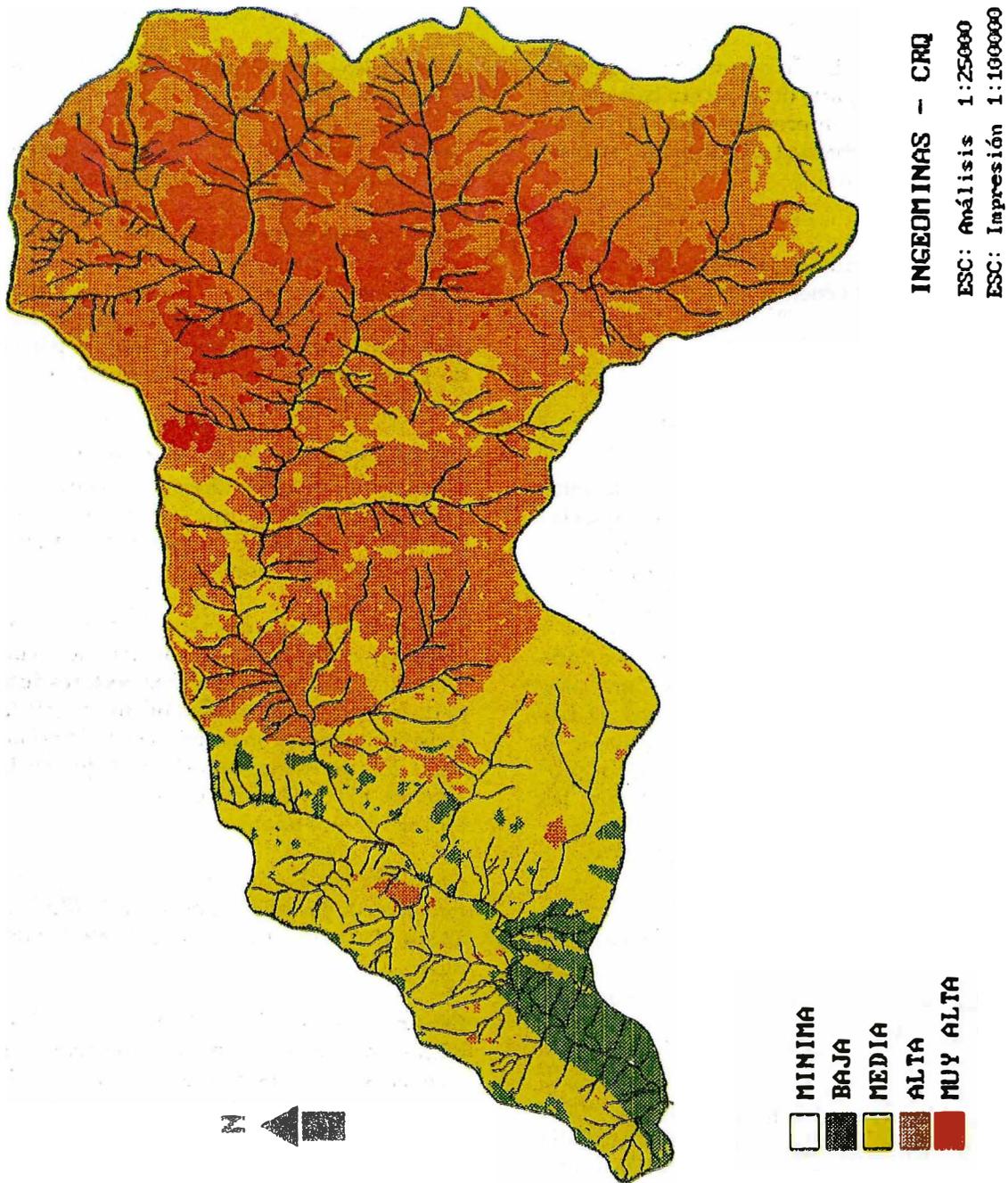


FIGURA 15. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

dentro de esta clasificación. Se destaca que la zona cafetera en su gran mayoría es de susceptibilidad media a la ocurrencia de movimientos en masa.

**Susceptibilidad baja.** En este rango, se agrupa solo una pequeña parte de la cuenca baja del río Lejos, en el sector comprendido entre la desembocadura de la quebrada La Pedregosa y su confluencia con el río Azul.

**Susceptibilidad muy baja.** No se encontró en ninguna parte de la cuenca.

### 5.3.2. Mapa de Amenaza por Carcavamiento, (Figura 16)

Su distribución es más homogénea que la anterior, en buena correspondencia con las apreciaciones de campo; los diferentes grados de susceptibilidad a este fenómeno se distribuyen así:

**Susceptibilidad muy alta.** Se concentra principalmente en las cuencas altas de Las Camelias y La Cuzumbera; los afluentes derechos de Las Camelias entre las quebradas Las Paisitas y El Tigre son igualmente afectables. En menor proporción las cabeceras del Paraíso y Puracé, las quebradas La Española, Las Pizarras, El Inglés y La Pedregosa parte alta.

**Susceptibilidad alta.** Se concentra en las cabeceras del río Lejos, especialmente en su margen derecha, y partes de las cuencas de Las Camelias y la Cristalina.

**Susceptibilidad media.** En este rango se incluyen la margen izquierda del río Lejos parte alta, la unidad geomorfológica de rasgos glaciales heredados y la cuenca baja del río.

**Susceptibilidad baja.** Se concentra únicamente en la parte más baja del cauce principal del río Lejos.

**Susceptibilidad muy baja.** No se encontró en la cuenca.

## 6. CONCLUSIONES

Las subcuencas con mayores rasgos de inestabilidad son en su orden:

- Quebrada Las Camelias, cuyo proceso erosivo tiene unos 40 años según lo informado por habitantes del sector. Se destaca la presencia de cárcavas de grandes dimensiones, con segmentos en diferente grado de actividad. Debido al avanzado estado de deterioro se constituye en la principal fuente de sedimentos, (especialmente finos), transportados por el río Lejos; su aporte se estima en 70% de la carga total actual del río.

Del estudio morfológico y sedimentológico de la acumulación detrítica en el cauce de Las Camelias, se concluye que la mayor parte del comportamiento torrencial del río se origina en este foco de erosión.

- Quebrada La Cuzumbera, afluente de Las Camelias, con procesos de carcavamiento intenso en varias de sus cabeceras. Sectores de la parte media y alta presentan una marcada incisión del cauce con la consecuente desestabilización de márgenes. Al igual que en la anterior, hay evidencias de comportamiento torrencial importante.
- Quebrada Las Paisitas; con cárcavas activas en varias de las microcuencas de origen. Su aporte al total de carga activa del río es moderada.
- Quebradas La Española y Las Pizarras. Con carcavamiento y movimientos de remoción en masa activos en sus orígenes. El aporte a la carga total del río se considera importante; el comportamiento torrencial de estas quebradas está bien representado en su acumulación sedimentaria.
- Los movimientos en masa tienen menor importancia relativa que el carcavamiento en el proceso de deterioro de la cuenca; con pocas

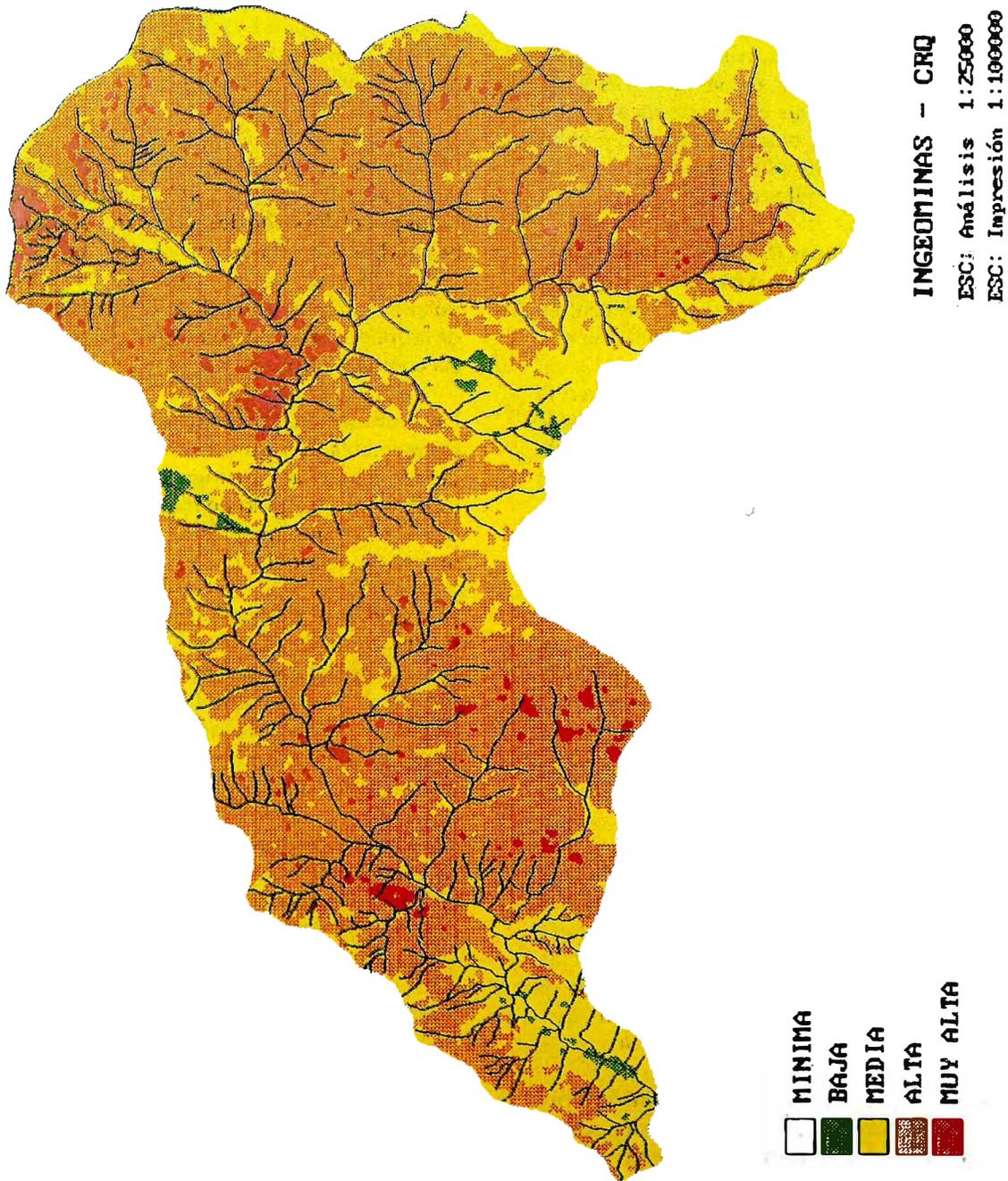


FIGURA 16. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR CARCAVAMIENTO

excepciones, son de volumen moderado y contribuyen en menor proporción a la carga total del río.

Se diferenciaron cicatrices de derrumbes inactivos o en estado latente y derrumbes activos de diferentes tipos; los más importantes son: desgarres, desplomes, caídas de rocas y derrumbes planares; las caídas de roca son los más destacados en cuanto a número y volumen de material involucrado, el cual puede ser de centenas a miles de m<sup>3</sup>.

La reptación en lupas (también conocida como solifluxión tropical) y la reptación en terracetos son localmente importantes; contribuyen, en forma moderada, al deterioro total de la cuenca.

La reptación en lupas tiene su origen en la dinámica natural del paisaje de la región; se le observa tanto en zonas de potrero como de bosque natural; sin embargo, la acción antrópica produce aceleración del proceso, dando paso a movimientos de remoción en masa, especialmente del tipo desgarres.

La reptación en terracetos predomina en zonas de potrero y está directamente relacionada con la deforestación y el sobrepastoreo de estos terrenos. Es común observar la transición de reptación en terracetos de desgarre a movimientos de masa superficiales. El proceso de reptación en terracetos es el comienzo del deterioro progresivo del suelo.

La actividad humana ha tenido gran influencia en el deterioro de la cuenca; las que más contribuyen son la deforestación, el sobrepastoreo de zonas de potreros y los cortes de carreteras; estos últimos producen desestabilización de vertientes y cárcavamiento debido a las deficientes entregas de aguas de escurrentía.

El reemplazo de café con sombrío por caturrales limpios, aumenta la erosión superficial de suelos fértiles y contribuye a la generación de movimientos en masa; no obstante lo anterior, la zona cafetera de la cuenca presenta un grado de deterioro moderado; los movimientos en masa y el cárcavamiento son escasos en este sector.

El río Lejos y algunos de sus tributarios principales presentan evidencias de comportamiento torrencial reciente a actual; los fenómenos torrenciales identificados en el registro sedimentario son flujos de escombros y flujos de lodo en su orden. Las crecientes torrenciales, (con baja concentración de sedimentos), son bastante frecuentes según los informes obtenidos de la comunidad.

- Debido a sus características geomorfológicas y de gradiente, los tramos de cauce más afectados por el depósito de sedimentos son: Quebradas Las Camelias, Cuzumbera, La Española y Las Pizarras y el tramo del río comprendido entre un poco antes de la desembocadura de la quebrada La Española hasta su confluencia con La Pedregosa.

La acumulación que ocurre en este tramo del río amenaza la seguridad del casco urbano, debido a la elevación progresiva del fondo del lecho y por el ángulo de incidencia (casi perpendicular) que tiene éste con respecto a la ubicación del poblado.

- El sistema de información geográfica (SIG) ILWIS permitió, eficientemente, la comparación y cruce de una variada cantidad de información del medio natural, con el propósito de encontrar el aporte de cada uno de los factores estudiados a las condiciones de inestabilidad que presenta la cuenca del río Lejos.
- Los factores considerados durante el estudio fueron: pendientes, uso agrícola del suelo, geología, geomorfología, isoyetas y procesos morfodinámicos.

Cada uno de los mapas temáticos fue cruzado digitalmente con el de procesos morfodinámicos, obteniéndose los grados de susceptibilidad que tiene cada una de las unidades de terreno consideradas.

- De la información procesada mediante el uso del paquete ILWIS, se concluye que los factores críticos en el desencadenamiento de fenómenos como derrumbes y erosión por cárcavamiento son:

## Pendientes

Los rangos 5(20°-25°), 6(25°-30°) y 7(30°-35°) son críticos para la generación de derrumbes y cárcavas.

## Uso agrícola del suelo

El uso de potreros (Código 8) es altamente susceptible a la ocurrencia de todos los cinco procesos estudiados. Le siguen en orden de importancia bosque secundario (Código 3) y bosque comercial adulto. Los potreros más vulnerables son aquellos localizados en la zona de vida correspondiente al bosque de niebla.

Hay que aclarar que los procesos asociados a los usos de bosque secundario y bosque comercial adulto pueden ser heredados de la situación anterior a su consolidación, ya que durante los recorridos de campo se pudo comprobar el buen desempeño de estas dos formaciones vegetales como inhibidoras efectivas de los procesos erosivos y de remoción en masa.

## Geología

El Complejo Cajamarca, de composición metamórfica, (Código 8), es el más propenso a los fenómenos de remoción en masa.

El carcavamiento es más activo en el miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande de edad cretácea, debido probablemente al alto grado de tectonismo que presenta esta unidad.

## Geomorfología

Los derrumbes de todo tipo son más frecuentes en la unidad geomorfológica de fillos convexos y pendientes irregulares, (Código 4), ubicada entre 3000 y 3500 m.s.n.m.; le sigue la unidad de fillos subredondeados y pendientes irregulares, (Código 2) localizada entre los 2000 y 2600 m.s.n.m. La unidad de fillos agudos y pendientes rectilíneas es la más afectada por carcavamiento, aunque los focos erosivos más espectaculares se encuentran en la unidad 4.

## Isoyetas

Con excepción del rango de precipitación 1 (2000 - 2500 mm/año), los otros tres (2500 - 4000 mm/año), son igualmente propensos a presentar derrumbes de diferente tipo y volumen. El carcavamiento es más común en las isoyetas 2 y 3 (2500 - 3000 y 3000 - 3500 mm/año).

- Debido a que la cuenca se encuentra dentro de una zona de amenaza sísmica alta se considera como probable la generación de derrumbes durante la ocurrencia de sismos de alta magnitud y duración. No obstante la importancia que tiene este factor para la estabilidad de vertientes, no se incluyó en el análisis digital debido a su carácter adimensional, (no zonificado).
- Se calcularon, mediante el paquete ILWIS, los mapas de amenaza por movimientos en masa y por carcavamiento, ya que se consideró que estos dos procesos son los que contribuyen en mayor grado al deterioro de la cuenca.

Ambos mapas reflejan en buena medida las apreciaciones de los técnicos durante el trabajo de campo.

- En cada uno de los mapas de susceptibilidad se divide el territorio en cinco categorías según sea en afectabilidad de los procesos.
- Según el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, la zona más propensa se encuentra en las cabeceras del río Lejos. Las subcuencas más afectables son: Chamuscados, Puracé, Paraíso y Jardín. El 60% de la cuenca alta y el 70% de la media caen dentro de la denominación alta susceptibilidad. El sector menos susceptible lo conforma una pequeña parte de la cuenca baja del río.

Las zonas más susceptibles a carcavamiento son: la cuenca alta de Las Camelias, La Cuzumbera, Las Pizarras y La Española. Gran parte de la cuenca alta y media se clasificó como de susceptibilidad alta y la más baja de la cuenca es la menos vulnerable a este fenómeno.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ESPINAL, S.T. 1977. *Zonas de vida o Formaciones Vegetales de Colombia*. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. IGAC. 238p. Bogotá.
- FLOREZ, A. 1983. *Geomorfología del Area Manizales-Chinchiná*. IGAC. Análisis Geográficos N° 9 159p. Bogotá.
- GONZALEZ, I. H. y NUÑEZ, T.A. 1991. *Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Quindío*. Memoria explicativa. Ingeominas. 42p. Bogotá.
- PAGE, W. 1986. *Geología Sísmica y Sismicidad del Noroeste de Colombia*. Informe para ISA. 155P. Medellín.
- THOURET, J.C. y FAIVRE, P. 1989a. *Suelos de la Cordillera Central, Transecto parque Los Nevados*. En: Estudios de Ecosistemas Tropoandinos Vol3:293-442. Berlín-Stuttgart.
- THOURET, J.C. y FAIVRE, P. 1989b. *Procesos morfodinámicos sobre las vertientes de la Cordillera Central*. En: Estudios de Ecosistemas Tropoandinos Vol.3:279-292. Berlín-Stuttgart.

