



Convenio de Cooperación Técnico Científica No. 004 de 1999
Presidencia de la República - Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero
FOREC e **INGEOMINAS**

ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS GEOLÓGICAS PARA LOS MUNICIPIOS DEL EJE CAFETERO AFECTADOS POR EL SISMO DEL 25 DE ENERO DE 1999



VISTA TRIDIMENSIONAL DE LA CABECERA MUNICIPAL DE LA TEBAIDA HACIA EL NORTE

CABECERA MUNICIPAL DE TEBAIDA - QUINDIO

Subdirección de Ingeniería Geoambiental

Santa Fe de Bogotá, Noviembre 1999

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA,
MINERO-AMBIENTAL Y NUCLEAR

I. INTRODUCCIÓN

El sismo del 25 de enero de 1999 se constituye, sin duda alguna en uno de los eventos, más catastróficos de los últimos tiempos, no sólo por la pérdida de vidas humanas sino materiales así como por la extensión del área de afectación que abarcó lo que se conoce como la zona cafetera, concentrando sus mayores efectos en el departamento del Quindío, especialmente su capital y la totalidad de sus cabeceras municipales.

Acorde con sus competencias y responsabilidades, el INGEOMINAS, ha brindado asistencia técnica a las autoridades encargadas de la atención de esta emergencia, con comisiones de especialistas en sismología, sismotectónica, geología, geotecnia y evaluación de los efectos físicos del sismo.

En el marco de las actividades emprendidas para la recuperación de las poblaciones afectadas por el terremoto del 25 de Enero de 1999, el Fondo para la Recuperación y Desarrollo del Eje Cafetero-FOREC, solicitó al INGEOMINAS la presentación de una propuesta técnico-económica para la realización de los estudios necesarios sobre amenazas geológicas, que sirvieran como base para la toma de decisiones de inversión más urgentes, al tiempo que pudieran ser útiles para el establecimiento de los planes de ordenamiento territorial. La propuesta para el estudio se realizó a principios de Mayo y el 25 de ese mes se firmó el Convenio Interadministrativo No. 004 entre estas dos entidades.

“Vale la pena mencionar, que los sismos son fenómenos naturales de tipo geológico, cuya ocurrencia temporal, espacial y su magnitud, no es aún posible de pronosticar, con el estado actual del conocimiento. Los casos, en los que con medios científicos se ha logrado alguna aproximación, son sumamente escasos y todavía no dan pie para el establecimiento de un método de pronóstico suficientemente confiable. Lo mejor que se ha logrado con el estudio riguroso de la dinámica de la corteza terrestre y del análisis de los datos históricos e instrumentales de sismos, es el establecimiento de la probabilidad de ocurrencia de sismos en una zona determinada, de cierta magnitud dentro de un período de tiempo dado. En este aspecto, el país cuenta con el “ Estudio General de Amenaza Sísmica” (AIS et al, 1996), del cual se ha incorporado a las Normas de Construcciones Sismo Resistentes NSR (Ley 400/97) el Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS, 1999).

Con anterioridad a la firma de éste convenio, el INGEOMINAS venía trabajando en la zona desde el mismo día en que sucedió el sismo.

Los antecedentes de catástrofes en el presente siglo debido, a los fenómenos mencionados son numerosos en esta región y de hecho sobra resaltar la importancia de planificar el desarrollo tomando en cuenta las amenazas naturales.

1 GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo general del proyecto es zonificar las amenazas de origen geológico, amenazas volcánicas y susceptibilidad a inundación de los municipios comprendidos por el FONDO PARA LA RECONSTRUCCION Y DESARROLLO SOCIAL DEL EJE CAFETERO FOREC.

Como objetivos específicos se tienen:

a) Zonificación Geotécnica indicativa escala 1:5000 de las zonas urbanas de 25 cabeceras municipales y los corregimientos de Anaimé y Barcelona. Para esta zonificación se excluyeron las ciudades de Pereira y Armenia debido a que la primera ya contaba con la Microzonificación Sísmica y Armenia porque por una parte el INGEOMINAS ya había realizado esta zonificación en años anteriores y por otra, porque previendo la necesidad urgente de esta información para las actividades de recuperación, este Instituto comenzó la revisión y complementación de dicho estudio desde los mismos días siguientes al terremoto. Al momento de que el FOREC propuso al INGEOMINAS adelantar los estudios para las otras poblaciones, se estimaba que la zonificación geotécnica de Armenia se tendría lista para mediados de Junio, pero finalmente se entregó en Julio como parte del Informe ZONIFICACION SISMOGEOTECNICA INDICATIVA PARA LA RECONSTRUCCION DE ARMENIA. Este estudio tuvo un mayor alcance al inicialmente proyectado, y se realizó con la valiosa participación de la Universidad del Quindío, la Corporación Regional del Quindío CRQ, la Alcaldía de Armenia y el CREPAD de la Gobernación del Quindío.

La zonificación geotécnica para la zona urbana de cada cabecera municipal se estableció con un alcance menor al dado a Armenia. Comprende la identificación y caracterización geomecánica general de los materiales geológicos superficiales y llenos antrópicos, con base en las cuales se elaboran mapas de zonas homogéneas indicativas de un comportamiento geomecánico típico, es decir, zonas en donde se estima que el terreno podría exhibir un comportamiento similar en cuanto a resistencia a la falla y deformabilidad ante una misma intensidad de carga y tipo de construcción.

b) Zonificación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) a escala 1:5000. Como en el caso anterior, para este objetivo se excluyeron las ciudades de Armenia y Pereira. Comprende la delimitación en mapas de zonas relativamente homogéneas en cuanto a su susceptibilidad a generar o ser afectadas por un fenómeno de remoción en masa como caídas, deslizamientos, flujos y avalanchas bien sean de suelo o roca. Esta delimitación se realiza mediante una calificación empírica del grado de propensión y posibilidad de que se presente uno o varios de estos fenómenos.

c) Zonificación Indicativa de Amenaza por Inundación a escalas 1:5000. Para este objetivo, el cubrimiento municipal en cada escala es el mismo de los casos anteriores. Corresponde a la elaboración de mapas en donde se delimitan las zonas que pueden ser afectadas por inundaciones debidas a crecientes extraordinarias de los cauces naturales de agua.

d) Mapas de zonificación de aptitud indicativa del terreno para la recuperación del casco urbano a escala 1:5000. Con este objetivo se pretende sintetizar en uno solo los mapas anteriores, de manera que para cada cabecera municipal se pueda recomendar la aptitud indicativa para la reconstrucción que se le puede dar a una zona en particular, dadas las limitaciones o características geotécnicas generales y de amenazas por FRM e inundación establecidas para esa zona.

1.2 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cabecera municipal de La Tebaida esta localizada a los 4° 27' de latitud norte y 75°47' de longitud al oeste de Greenwich. Su altura sobre el nivel del mar es de 1.350 m, con una temperatura promedio de 20°C. Fisiográficamente esta localizado en la parte distal del Cono del Quindío, de relieve ligeramente ondulado; ocupa solamente el piso térmico medio, Bosque húmedo premontano (bh-PM) y Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM).

1.3 LIMITACIONES

Los resultados de este estudio se basan en los análisis producto de recopilar documentación, generar información nueva a partir del conocimiento regional y local, efectuando análisis puntuales los cuales no tienen un amplio cubrimiento geográfico, pero que permitieron extrapolar comportamientos generales. Esto se ha hecho con base en criterios tectónicos, geomorfológicos, geológicos, geofísicos, geotécnicos y sísmicos.

2 METODOLOGÍA GENERAL

La metodología general es presentada en la **Figura 1**, los pasos seguidos se detallan a continuación.

2.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

La metodología usada para la caracterización geotécnica de los principales materiales del subsuelo, se hizo a partir de la información geológica regional y levantamientos locales de geología para ingeniería en escalas detalladas variables entre 1:2000 y 1:5000 para cada uno de los cascos urbanos.

Posteriormente, se realizó la exploración directa del subsuelo, mediante ensayos in-situ para cada unidad geológica superficial y exploración geofísica del subsuelo. Finalmente, se ejecutaron los ensayos de laboratorio de las muestras representativas para llegar a la calificación geotécnica de las principales unidades geológicas superficiales de cada cabecera municipal.

2.2 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

Con base en el estado del arte actual en la aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la investigación de la ocurrencia de Fenómenos naturales, en el presente trabajo se plasma la experiencia del trabajo de zonificación Rápida de Amenazas Geológicas del Municipio de La Tebaida. Para tal fin se realizó un análisis heurístico en el SIG ILWIS, tomando como base trabajos de fotointerpretación geológica, geomorfológica, morfodinámica, geotecnia, cobertura del suelo, semidetallada en combinación con mapas de parámetros tales como, inclinación de las pendientes, forma de las pendientes, amplitud del relieve, factor de humedad, detonante por precipitaciones (**ver capítulo 8**) y por sismicidad.

Con el fin de asignar valores de amenaza sísmica como factor detonante, se definieron valores de Intensidad (en escala de Mercalli Modificada) los cuales corresponden a un valor específico de acuerdo a la metodología usada. Estos valores de intensidad corresponden al valor de aceleración encontrado en la evaluación de amenaza sísmica preliminar del Eje Cafetero para un período de retorno de 100 años. La correlación entre el valor de aceleración y valor de intensidad esta dado de acuerdo con algunas investigaciones que se han realizado para el país.

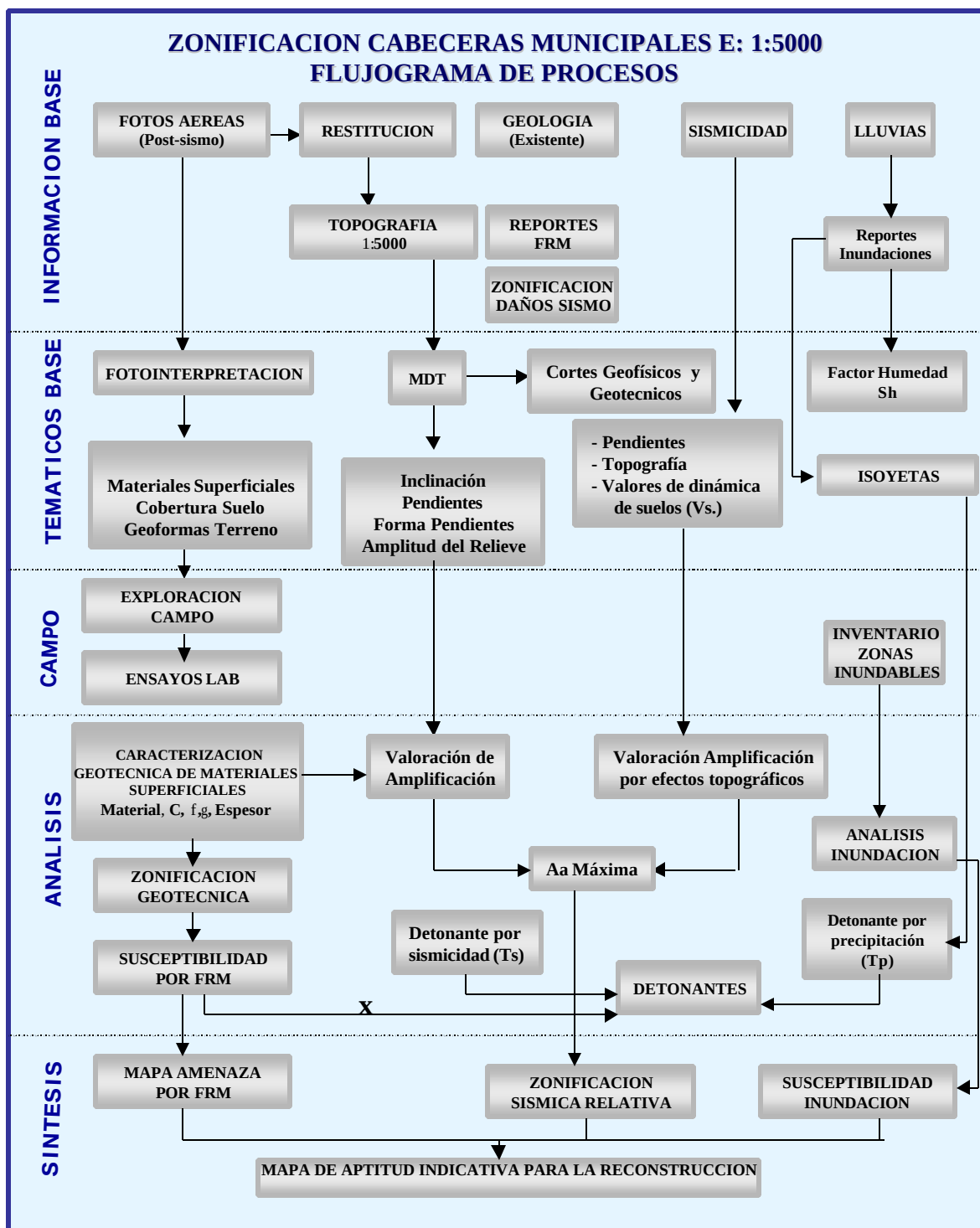


Figura 1. Flujoograma de procesos para la zonificación de las cabeceras municipales.

2.3 MAPA DE AMENAZA SÍSMICA RELATIVA

Para la obtención del Mapa de Zonificación Sísmica Relativa de los municipios se consideraron tres (3) factores importantes. Primero, el valor de la aceleración en roca con un período de retorno de 475 años obtenido de los estudios realizados sobre amenaza sísmica en el país y el estudio preliminar del Eje Cafetero. Segundo, la delimitación de zonas que por sus características topográficas pueden generar amplificaciones de las ondas sísmicas. Tercero, teniendo en cuenta el mapa de unidades superficiales, las características geológicas y geomecánicas de los materiales, los cortes geológicos, los perfiles geofísicos regionales y locales, se estimó la amplificación de la aceleración para los diferentes tipos de materiales encontrados, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de Zonificación Sismogotécnica Indicativa para la ciudad de Armenia (INGEOMINAS, 1999). Finalmente, se superponen los tres aspectos mencionados de tal forma que se obtiene un mapa de amenaza sísmica relativa indicando las zonas con mayor o menor amplificación de la onda sísmica.

2.4 ZONIFICACIÓN DE APTITUD INDICATIVA DEL TERRENO PARA LA RECONSTRUCCIÓN

La necesidad de obtener un punto de referencia u orientación en las reglamentaciones que permitieran a las entidades de planeación la conducción del proyecto de reconstrucción y desarrollo social de los municipios del Eje Cafetero afectados por el sismo del 25 de Enero de 1999, condujo además a la elaboración de un mapa de Aptitud Relativa del terreno para la construcción.

2.5 ZONIFICACIÓN DE ÁREAS URBANAS PARA LA RECUPERACIÓN INMEDIATA

Corresponde a una variación al cronograma inicialmente propuesto, atendiendo la necesidad urgente del FOREC por liberar recursos para la asignación inmediata de recursos para la reparación, reconstrucción y construcción de nuevas viviendas. Esta actividad se estimó que era técnicamente justificada puesto que en las poblaciones existían zonas suficientemente seguras para desarrollos urbanos y que los eventuales daños causados por el sismo del 25 de Enero se debieron principalmente a deficiencias estructurales y no a un efecto local del subsuelo. Como criterios para la delimitación de estas zonas se establecieron los siguientes:

- a) Zonas relativamente planas donde no se esperaría una amplificación sísmica por cambios topográficos
- b) Zonas que no corresponden a cauces de agua y que no podrían ser afectadas por inundaciones, avenidas torrenciales o avalanchas
- c) Zonas que no se encuentran al pie o borde de laderas en donde podrían ocurrir deslizamientos o ser afectadas por estos
- d) Zonas en donde el subsuelo es de origen natural, libre de rellenos, escombreras o botaderos ya que estos terrenos generalmente no han contado con un diseño y construcción técnica que asegure la estabilidad de las construcciones ante sismos, sobrecargas y cambios de nivel del agua subterránea.

3 GEOLOGÍA

En este capítulo se describen la estratigrafía y los aspectos tectónicos del área urbana y suburbana de La Tebaida, debido a la importancia que éstos tienen en el comportamiento general y efecto de las ondas sísmicas, principalmente, sobre estructuras durante un evento de este tipo, tal como quedó demostrado en el terremoto del 25 de enero de 1999.

De otro lado los aspectos estratigráficos y tectónicos son una herramienta indispensable en la identificación y cartografía de las diferentes amenazas de origen geológico presentes en una región dada; además, el comportamiento geotécnico de cualquier material rocoso, depende en gran medida del tipo de suelo o roca presente en un área dada, que es dominio del conocimiento geológico.

3.1 ESTRATIGRAFÍA

La zona de interés se localiza sobre un gran depósito volcánico sedimentario, conocido como “Glacis del Quindío” o Formación Armenia, constituido por alternancias de flujos piroclásticos y laháricos y en menor proporción materiales fluvio-torrenciales, aluviales y glaciales, en su mayoría cubiertos por tobas volcánicas cenizas, lapilli y polvo volcánico que cubrieron una paleopotografía, generando colinas suaves redondeadas, que son las formas que caracterizan actualmente la región.

Los materiales que conforman el Glacis del Quindío, provienen de la Cordillera Central, ubicada al oriente y nororiente de la zona de interés, estos depósitos en su mayoría son producto de la actividad de los volcanes Nevados del Quindío, Santa Isabel y Cerro Santa Rosa (GÓNZALEZ Y NUÑEZ; 1991). Las erupciones volcánicas generaron flujos piroclásticos e indujeron laháres por deshielo de los glaciares, descendiendo principalmente por los cauces de los ríos Quindío y Otún y demás corrientes que drenan el sector, depositando su cauce en el antiguo valle o depresión intracordillerana, posiblemente de origen tectónico, localizado entre el piedemonte occidental de la Cordillera Central, abarcando una vía comprendida entre Pereira al norte, Caicedonia al sur el río La Vieja al occidente y la cordillera central al oriente, de igual forma por esta misma época geológica (Plioceno-Cuaternario), tuvo similar origen los materiales que conforman el Abanico de Ibagué, los terrenos sobre los cuales está localizada Manizales y otros cuerpos dispersos en la región, mostrados en la figura anterior.

Morfogenéticamente, el Glacis del Quindío debería llamarse con el nombre de Abanico de Armenia y Pereira. En la literatura geológica se le conoce también como Formación Armenia.

Finalmente, erupciones volcánicas de tipo explosivo del Pleistoceno y Holoceno, aportaron gran cantidad de material de caída o tobas volcánicas, tipo cenizas, lapilli y polvo volcánico, que cubrieron la región con una capa de 3 a 20 m de espesor promedio, excepcionalmente 25 ocultando los flujos mencionados.

A continuación se hace la descripción detallada de las unidades geológicas del área de estudio, con su presentación en una ortofoto escala 1:5000, denominada Mapa de Unidades Geológicas superficiales", la cual se presenta acompañada de un corte geológico a la misma escala, que ejemplariza la disposición espacial de los diferentes conjuntos estratigráficos (**Mapa 1. Anexo 4**).

3.1.1 Llenos antrópicos (Ra)

Se denominan con este nombre todos aquellos materiales provenientes de la actividad humana (desechos de construcción, materiales de descapote, de cortes de vías, etc.) que han sido arrojados sobre depresiones naturales (cañadas), llenándolas parcial o totalmente. Se incluyen dentro de esta denominación los llenos realizados sobre cañadas, para el paso de vías.

En la ciudad de La Tebaida, se pudieron distinguir dos (2) tipos de llenos antrópicos: de vertiente y de cauce; el primero de ellos se refiere a aquellos materiales que son arrojados sobre laderas naturales sin obstruir el cauce natural, los segundos son aquellos donde la depresión ha sido llenada total o parcialmente.

Prácticamente, la totalidad de los llenos de cauce han sido realizados para el paso de vías, destacándose sobre la quebrada La Jaramilla los pasos de las calles 13 o salida a Montenegro y la calle 12 y el lleno localizado en el sector de las calles 9 y 10, entre carreras 4 y 6.

Los llenos de vertientes son los más comunes; éstos en su mayoría han sido utilizados para ampliar el área para construcciones habitacionales como son los casos de los Barrios. Providencia y los Almendros, sobre la Quebrada la Jaramilla, El Mangón, Arango y barrios Unidos sobre la margen derecha de la quebrada La Tulia.

Es interesante observar que buena parte de las zonas con más alto daño en construcciones, durante el sismo del 25 de enero de 1999, coinciden con llenos antrópicos como fue el caso del barrio El Mangón, el sector de las calles 9 y 10 entre carreras 4 y 6, Barrios Unidos, etc. Es importante rescatar que debido a la actividad constructiva, no fue posible observar con claridad la totalidad de los sitios con llenos antrópicos, los presentados en la plancha no son la totalidad de los mismos.

La mayoría de los llenos antrópicos son materiales heterogéneos, compuestos por mezclas de suelos orgánicos con cenizas y lapilli volcánico, desechos de construcción, basura orgánica, etc. de color amarillo ocre, gris amarillento o gris negro con amarillo ocre, generalmente húmedo, con espesor aproximado variable entre 3 y 5 m.

3.1.2 Depósitos aluviales del cauce menor y mayor de las quebradas La Jaramilla y La Tulia (Qa)

Se entiende como cauce menor o cauce activo, la zona comprendida a lado de la corriente que resulta inundada periódicamente durante la presentación de lluvias normales; dentro de esta definición quedan involucradas, entonces, las playas y las barras, donde los sedimentos son continuamente erosionados y redepositados.

El cauce mayor es la zona adyacente a la anterior, que es alcanzada por agua con sedimentos solamente con ocasión de las avenidas o crecientes extraordinarias de una corriente dada.

En la zona de estudio, en ambos casos, son intercalaciones de capas y estratos con forma lenticular de color gris a gris amarillentos, de limos y arenas medias a gruesas, de consistencia blanda, muy húmedas, la altura respecto al cauce medio de las quebradas mencionadas (junio 1999) del cauce menor y mayor, es variable entre 1,5 y 2,0 m.

Sobre el cauce mayor de la quebrada La Tulia se localizan algunos sectores de los Barrios Unidos, Arango y otros de tipo informal, mostrados en el mapa 1 **Geológico- Unidades Superficiales. Anexo 4**. Sobre la Quebrada La Jaramilla cabe destacar la presencia de una parte del matadero y un sector localizado sobre su margen derecha en el sitio de la carretera de salida hacia El Club de la Caja Agraria.

3.1.3 Piroclastos de Caída (Qpc)

Se denominan con este nombre a los productos de erupciones volcánicas explosivos, lanzados a la atmósfera y depositados luego en sectores más o menos alejados de su sitio de origen, comprende fragmentos de tamaño entre 4 y 32 milímetros, conocidos como lapilli, de un 1/16 a 4 milímetros llamados cenizas, y menores de 1/16 milímetros denominados polvo volcánico. Su origen se relaciona con erupciones ocurridas entre el Pleistoceno y Holoceno de los volcanes que conforman el actual parque de los nevados, además de productos del volcán Machín, ubicado al otro lado de la cordillera, en el municipio de Cajamarca Tolima.

Pese a su importancia, no existe ningún estudio detallado de las tefras del sector, por lo tanto esta integrada a partir de observaciones realizadas en un talud de corte de la vía del ferrocarril y del polideportivo, con la salida hacia Montenegro, margen derecha de la Quebrada La Jaramilla.

Gracias al perfil estratigráfico es fácil dividir la secuencia de piroclastos de caída en dos secciones diferenciadas por su granulometría, grado de meteorización y consistencia.

La parte superior correspondiente a los primeros 4,7 a 5,5, m, se caracteriza por estar conformada por estratos, principalmente de cenizas de 0,20 a 2,0 m de espesor moderada a débilmente meteorizadas, con predominio de colores gris a gris amarillento, desde el punto de vista granulométrico observado en el campo, son arenas medias y limos-areno-arcillosos, de consistencia blanda, aspecto poroso ligeramente húmeda, distinguiéndose con facilidad minerales de plagioclasa, cuarzo, anfíboles, líticos de pómez y andesitas y en ocasiones, mica biotita.

Se continúa con un depósito de lapilli volcánico de aproximadamente 15 cm de espesor, que da paso a la parte inferior de la secuencia de cenizas con espesor aproximado de 2,0 - 2,5 m, caracterizada por presentarse meteorizada, de color amarillo ocre en estratos de 40 a 50 cm, con intercalaciones de capas de color gris amarillento; desde el punto de vista granulométrico son limos-areno-arcillosos, con abundante mica Muscovita, plagioclasa, cuarzo, anfíboles y algunos líticos, porosos, firmes a muy firmes, muy húmedas. La capa de lapilli, granulométricamente es una arena gruesa, con abundante

mica muscovita y fragmentos de pómez, muy poroso, suelto a muy húmedo. El límite inferior de la secuencia descrita se caracteriza por la presencia de una arcilla-limosa, correspondiente a un suelo residual derivado de depósitos volcánicos que se describen más adelante, este límite es donde aflora el nivel freático local, cuya profundidad varía entre 2,07 y 14,70 m que corresponde precisamente al espesor mínimo y máximo de los piroclastos de caída.

3.1.4. Suelo residual y saprolito (Qsr) subyacen a los depósitos de piroclastos de caída.

Cenizas y lapilli volcánicos, afloran en los taludes producto de la disección de ríos y quebradas y en cortes artificiales con altura superior a 10 m; su espesor total varía entre 9 y 10 m aproximadamente y se originaron por alteración de los depósitos volcánicos (TQr).

Desde el punto de vista granulométrico y del grado de alteración, se distinguen dos (2) niveles; el superior, con espesor variable de 3 a 4 m corresponde al suelo residual propiamente dicho, que en términos generales son arcillas limosas de alta a baja plasticidad; debajo del anterior, se presenta lo que se conoce como saprolito o zona de material alta a moderadamente meteorizado de flujos piroclastos y laháricos, caracterizado por la presencia de fragmentos de pórfidos y andesíticos, alta a moderadamente meteorizados. En la secuencia inicialmente la cantidad de fragmentos varía entre 10% y 20%, incrementándose con la profundidad hasta valores de 60% a 70% del total del depósito, hasta llegar a los flujos de piroclastos moderadamente duros y resistentes. La matriz del saprolito puede variar desde limo-arcillosos en su parte superior, a arenas limosas en la parte más baja de la secuencia.

3.1.5. Basamento Terciario Cuaternario (TQr)

Involucran depósitos de origen volcánico, principalmente flujos piroclásticos y lahares con buena compactación y algo de cementación, que le dan características de roca con resistencia baja a intermedia, que falla únicamente a través de discontinuidades (a lo largo de diaclasas), para fines prácticos se considera como un basamento resistente de edad Terciaria-Superior o Neógeno-Cuaternario 1,6 a 23 millones de años antes del presente.

Litológicamente la secuencia la conforman, principalmente, flujos piroclásticos con interclaciones de flujos laháricos, esta unidad aunque no es posible observarla en el área de estudio, se puede reconocer por sectores aguas abajo del pueblo a lo largo de las quebradas La Jaramilla y La Tulia. Está conformado por flujos piroclásticos, laháres con alto contenido de material volcánico y en menor proporción, flujos de lodos y escombros. Aflora en el fondo de las cañadas mencionadas, cubiertos por un espeso perfil de roca meteorizada, cenizas y lapilli volcánicos, lo que dificulta su observación.

Viniendo de Calarcá en el paso de la carretera con el Río Quindío, se observan flujos de piroclastos poco meteorizados, mostrando su origen volcánico, clasificándose macroscópicamente como tobas líticas; presentan matriz finogranular, con estructuras de flujo, englobando fragmentos líticos sub-angulares tamaño grava fina y composición

andesítica. El color es rosado pálido y en superficies al meteorizarse conforman suelos arcillosos color rojizo.

3.2 TECTÓNICA

La zona de estudio localizada hacia el flanco occidental de la Cordillera Central, en un ambiente de tectónica de tipo compresional, dominado por Fallas de dirección general NNE, conocidas en la literatura geológica como el sistema de fallas de Romeral, que se extiende desde el Ecuador, hacia el norte por más de 80 Km. de longitud, el globo terrestre tectónicamente activa, a través del choque de la plancha de Nazca y Caribe contra el continente suramericano, en el sector de la Costa Pacífica y Atlántica, hacen de esta región una zona de alta sismicidad.

La Falla de Romeral, en el departamento del Quindío, cerca a Armenia, se divide en varios ramales, en una faja de aproximadamente 20 Km de ancho (CALAD ET AL 1976), alguna de las cuales presentan rasgos de actividad neotectónica Cuaternaria, visibles en el campo a través del desplazamiento y brechamiento de capas de piroclastos de caída (cenizas y lapilli).

Se destaca por su actividad al oeste y norte de La Tebaida la Falla de Montenegro, de la cual se han reportado desplazamientos de 20 Km y la Falla de Caicedonia-El Aeropuerto, que pasa inmediatamente al este y al sur de la población con desplazamiento cuaternario de 10 Km (Cline et al 1981).

De especial importancia por sus numerosos indicios de actividad neotectónica, es la Falla de Armenia, cuyo trazo atraviesa el casco urbano de esta ciudad (INGEOMINAS, 1992), en dirección N 10° a 20° E, donde se destaca un escarpe del orden de 20 m de altura, que corresponde a la expresión morfológica formada por el levantamiento del bloque oeste de la falla, controlando varias corrientes de agua. La Falla de Armenia de acuerdo con (VERGARA Y MORENO (1996), se cataloga siguiendo los criterios de MAT SU DA; en SLEMONS (1997), como de actividad moderada.

Otras fallas que han sido reportadas con actividad neotectónica, pertenecientes al sistema de Fallas de Romeral, son las Fallas de Cauca-Almaguer, Buenavista, Silvia-Pijao, Córdoba, Navarco y San Jerónimo, localizadas a menos de 20 Km de la población de La Tebaida.

Por el casco urbano de La Tebaida, costado occidental, se presentan varias características morfológicas, consistentes en sillas de falla y basculamiento en materiales de Glacis del Quindío, alineamiento y desplazamientos de corrientes de agua, entre ellas las quebradas La Jaramilla, La Tulia (cerca de la población), El Vadeo y La Coqueta, al norte de La Tebaida, La Argentina y el río Barragán, al sur de la población, brechamiento en piroclastos de caída, permiten trazar una falla que pasa por el oeste de la población, cuyo movimiento ha sido inferido a partir del desplazamiento de las corrientes de agua mencionadas, como una estructura de movimiento predominante de rumbo de tipo sinistral, denominada en este trabajo como Falla de La Tebaida; el basculamiento y silla de falla más fácil de observar, se presenta en cercanías de la intersección de la carretera Montenegro autopista Cali, costado norte del casco urbano; la Falla de La Tebaida parece

unirse al norte con la Falla de Montenegro y al sur con la Falla de Caicedonía el aeropuerto.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS GEOLOGICAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Procesos de remoción en masa que afectan áreas pobladas, se presentan principalmente a lo largo del Valle de la Quebrada La Jaramilla y del corte de la vía del ferrocarril, en el sector más nor-occidental del casco urbano. A continuación se hace una descripción de los sitios de mayor interés:

3.3.1 Barrio Providencia

Este barrio se localiza en el sector centro-norte del casco urbano, desde las calles 14 y 17, entre la carrera 5 y la quebrada La Jaramilla. Un amplio sector del barrio había sido construido en la ladera de la quebrada, sobre un relleno de origen antrópico, el cual falló a través de fenómenos de reptación y deslizamientos, resultando afectados más de 15 casas; la fecha exacta de dicho fenómeno no se tiene, pero se habla de aproximadamente hace cuatro (4) años, sin pérdidas humanas.

El proceso de inestabilidad como pudo constatarse observando los sardineles mostrados en la fotografía, se encuentra relativamente activo con grietas y hundimientos en el pavimento, avanzando peligrosamente hacia la zona actualmente construida. Lo anterior es un campanazo de alerta para que se ejecute en el menor tiempo posible, el estudio correspondiente de geología y geotecnia, que permita tomar las medidas necesarias tendientes a estabilizar el sector, impidiendo el avance de la inestabilidad hacia sectores más céntricos del pueblo.

3.3.2 Sector de las calles 9 y 10 entre la carrera 6 y la Quebrada La Jaramilla

Esta es un área correspondiente al cauce de una pequeña corriente que drenaba hacia la Quebrada La Jaramilla, que fue rellenada antitécnicamente y urbanizada. En el estudio de INGEOMINAS 1992, el sector fue reportado con problemas de agrietamientos de las viviendas por asentamiento diferencial, daños permanentes sobre el pavimento de la vía y rupturas de las conducciones de alcantarillado y acueducto que agravaba más el problema de las construcciones.

El sitio, en el trabajo mencionado, se reportaba con defectos constructivos en las viviendas y presencia de numerosos aljibes particulares, con profundidad del nivel freático de 4 m. en el sismo del 25 enero de 1999, las anteriores deficiencias quedaron plenamente demostradas, con la destrucción de aproximadamente un 90% de las construcciones allí cimentadas. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de realizar estudios puntuales en dicho sector, de geología, geotecnia y sísmica, cuando se piense reconstruir el área.

3.3.3 Barrio El Mangón.

El barrio El Mangón se localizaba, antes del sismo del 25 de enero de 1999, en la parte más sur-oriental del casco urbano, sobre una ladera inclinada aproximadamente 20° a 25°, que cae a la Quebrada La Tulia. El sector fue completamente destruido durante el sismo mencionado

Las casas estaban construidas sobre un lleno de origen antrópico, formado principalmente por desechos de construcción, sin ningún tipo de compactación. Además, las construcciones carecían de vigas y columnas, presentando serias deficiencias constructivas. Por lo anterior se recomienda no volver a ocupar el sitio.

3.3.4 Barrio Estación del Ferrocarril

Entre la estación del Ferrocarril y unos 200 m aguas abajo contra el borde superior de la ladera que cae a la Quebrada La Jaramilla, se encuentran unas cuatro (4) a seis (6) casas localizadas contra el borde mencionado, cerca a antiguos fenómenos de inestabilidad, que ha generado agrietamientos en algunos patios de las construcciones mencionadas, haciendo de esta zona un sector a tener en cuenta en futuros planes de reubicación.

3.3.5 Talud de corte de la línea del ferrocarril, frente al barrio La Estación del Ferrocarril

En este sector el corte para el paso de la línea del ferrocarril dejó un talud sub-vertical de altura variable entre 2 y 4 m, en el cual se encuentran construcciones habitacionales, localizadas contra su borde superior y base del talud, en cenizas volcánicas. Por su disposición se esperan problemas de inestabilidad del talud que pueden afectar las viviendas. Por lo anterior es aconsejable hacer una evaluación geotécnica a todo lo largo de dicho talud, que permita definir sus condiciones de estabilidad, facilitando con ello la toma de decisiones para la construcción de obras de control y estabilización o de reubicación de estas viviendas.

La misma situación anterior se presenta en talud de corte del ferrocarril en el tramo comprendido entre la carretera de salida a Montenegro y la calle 15, donde se deben tomar las medidas de precaución anotadas en el párrafo precedente.

4 GEOMORFOLOGÍA

La Geomorfología es el estudio de las formas de la tierra, materiales y sus procesos relacionados como son: Tipo de litología, suelo, drenaje y tectónica, entre otros. Los rasgos geomorfológicos son importantes en muchos aspectos de manejo ambiental y pueden contribuir a la evaluación de recursos y políticas de desarrollo regional y urbano de los municipios, al estudio de amenazas naturales ya que juega un papel importante en la identificación de procesos que dan forma al paisaje, algunos de los cuales son peligrosos u ofrecen algún grado de amenaza para la población.

El origen geomorfológico de las diferentes unidades está relacionado a procesos **exógenos o endógenos** dominantes responsables de su existencia, por ejemplo: Las geoformas volcánicas y ciertas formas estructurales tales como escarpes de falla, anticlinales y sinclinales se clasifican dentro de un origen causado por procesos endógenos o internos en la tierra. Para las formas exógenas o externas, el origen principal en primera instancia se relacionan con el tipo de roca y el producto de meteorización residual (suelos), dando una forma de terreno característica, es así como una topografía kárstica siempre se asocia a calizas, mientras que formas como terrazas, planicies de inundación o partes superiores de deltas se asocian con depósitos aluviales.

El método de mapeo geomorfológico se basó en el "Sistema ITC" (Verstappen et. al., 1975 y Van Zuidam et. al., 1979). El mapa geomorfológico que se presenta se basa en la agrupación de las diferentes formas de la superficie del terreno dentro de una variedad de categorías con base en la similitud del tipo de características del terreno. Este mapa se elaboró mediante la interpretación de fotografías aéreas usando estereoscopio de espejos, control de campo que consistió en la revisión de las unidades y subunidades geomorfológicas obtenidas mediante la fotointerpretación para posteriormente ajustar a las condiciones reales y por último se digitalizó en el SIG ILWIS.

Los principales orígenes geomorfológicos se enumeran en la tabla I. De acuerdo a esta tabla muchas veces se presentan problemas al clasificar unidades que están en el campo de superposición entre denudacionales y estructurales, por lo tanto se unen los dos principales orígenes en una clase única: formas de origen estructural/denudacional.

4.1 OBSERVACIONES

Teniendo en cuenta la clasificación de los principales orígenes geomorfológicos contenidos en la **Tabla 1**, en el Municipio de La Tebaida se encontraron las siguientes unidades geomorfológicas (**Figura 2**).

4.1.1 Formas de origen fluvial:

Laderas de Cañadas (F4): Corresponden a los bordes del cauce actual de ríos y quebradas, con pendientes moderadas a abruptas. Conforman los flancos de las quebradas donde estas profundizan su cauce, principalmente al norte del municipio donde existen puentes que comunican estos barrios con la zona sur, también se presenta esta unidad en el flanco derecho de la quebrada que limita al sur el municipio.

4.1.2 Formas de origen denudacional

Laderas Denudacionales (D1): Aquellas laderas suavemente onduladas, poco disectadas y que generalmente están cubiertas por suelos residuales y/o cenizas volcánicas. Se presentan en los alrededores del municipio hacia la parte superior del valle de las quebradas y conforman el terreno donde se encuentran las viviendas ubicadas al extremo nororiental del casco urbano.

Depósitos de Ladera (D4): Acumulaciones de material (suelo residual y/o fragmentos de roca) desprendido de laderas que se depositan en zonas puntualizadas a lo largo de éstas o en los valles de ríos y quebradas. Se localizan en sectores aislados de la parte baja del valle de la quebrada que corta al norte la cabecera municipal.

Lomos Denudacionales (D3): Formas alargadas que corresponden generalmente a divisorias de aguas, algunos presentan formas suaves y otros formas agudas. Existe un pequeño lomo al norte del municipio, cerca de la vía principal que comunica a La Tebaida con el municipio de Montenegro.

Laderas Escarpadas (D2): Son formas del terreno bastante regulares con pendientes que varían entre 65° y 90°. Estas geoformas se pudieron observar hacia el extremo norte del municipio y en las laderas de la quebrada que lo corta en este mismo sector.

4.1.3 Formas de origen volcánico

Superficies de Glacis (V1): Son formas suaves, planas a levemente onduladas, originadas por erosión y/o acumulación de material volcánico (Cenizas). Sobre esta unidad se encuentra ubicado casi todo el casco urbano de La Tebaida.

4.1.4 Formas de origen antrópico

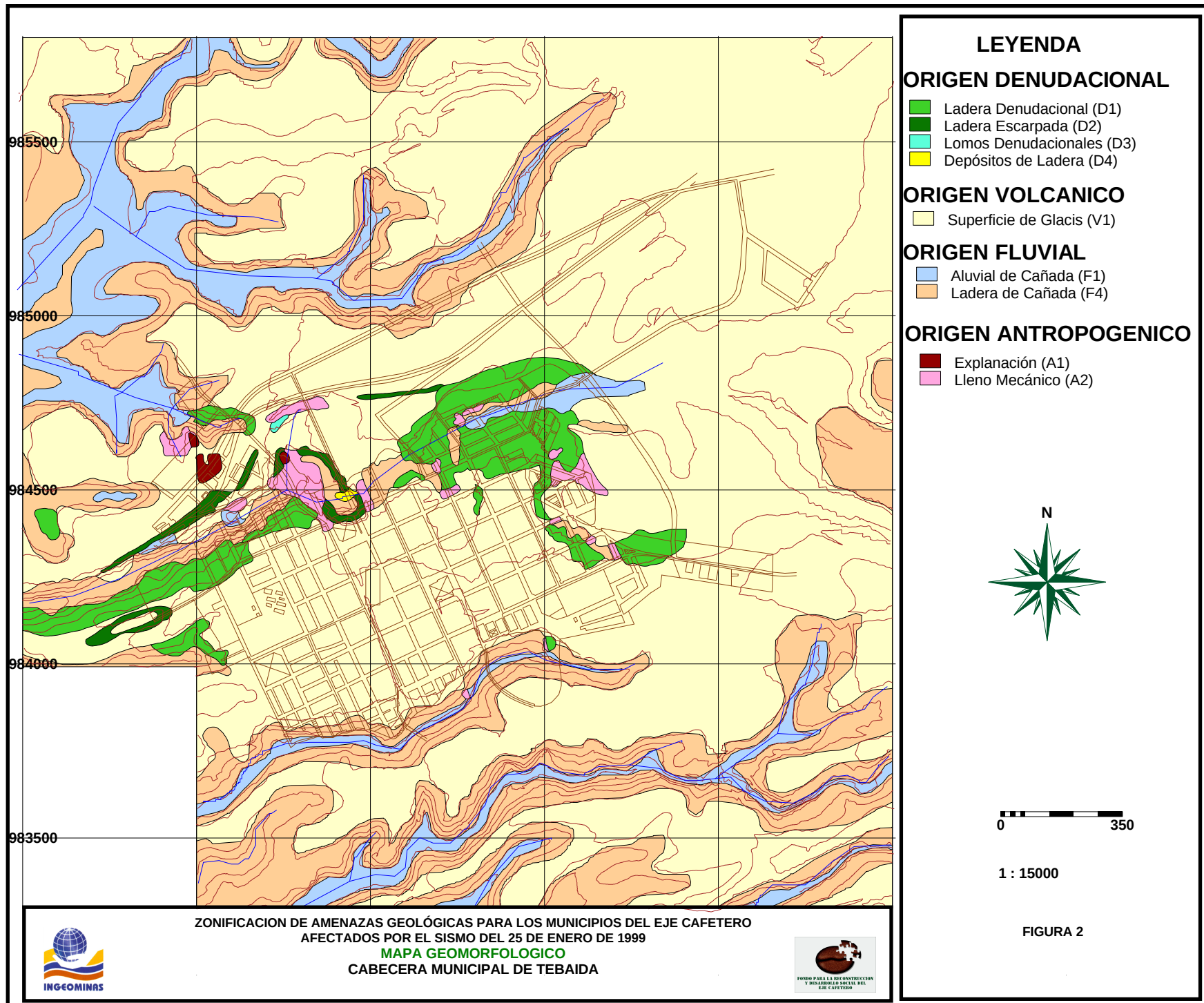
Explanación (A1): Areas planas donde se presenta remoción de material con el fin de realizar obras civiles como son estadios, construcción de viviendas, vías, parques, etc.

Llenos Mecánicos (A2): Zonas de acumulación o relleno de material que corresponde principalmente a construcción de puentes, viviendas y botaderos de basuras o escombros.

Estas dos unidades se observan dentro del casco urbano, principalmente al norte.

Tabla 1. Orígenes Geomorfológicos

ORIGEN PRINCIPAL	EJEMPLOS DE FORMAS CON UN ORIGEN ESPECIFICO
FLUVIAL Erosión Fluvial & Sedimentación.	Geoformas de acumulación y complejas planicies Aluviales. Geoformas transicionales, Formas erosionales.
LACUSTRE Erosión lagunar & sedimentación	Geoformas con niveles de agua alto (terrazas). Geoformas de fondo de lagos. Evaporitas/playa, no evaporitas
MARINO Erosión Marina & Sedimentación	Geoformas de ambientes de alta energía (materiales de grano grueso). Geoformas de ambientes de baja energía (materiales de grano fino) y geoformas asociadas a complejos levantamientos.
VOLCÁNICO Actividad Volcánica	Conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava, geoformas labradas en materiales piroclásticos.
DENUDACIONAL Meteorización, desgaste de masa, erosión linear	Geoformas asociadas a desgastes, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear y geoformas asociadas con procesos denudativos específicos (desgaste de masas).
ESTRUCTURAL Fallamiento	Geoformas asociadas con las capas de roca estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamiento y levantamiento.
ESTRUCTURAL-DENUDACIONAL	Asociaciones de ambos.
KARSTICO Solución & redepositación	Geoformas positivas (colinas), geoformas negativas (depresiones) geoformas estructurales y otras geoformas (complejos).
EÓLICO Erosión por el viento & Sedimentación.	Geoformas de acumulación (Activas /No activas), Geoformas de deflación.
GLACIAL Erosión & Sedimentación.	Geoformas erosionales predominantemente de glaciación continentales y glaciación de montañas. Geoformas de acumulación (predominantemente morrenas, hielo y lomos).
ANTROPOGÉNICO	Aquellas formas del relieve que son el producto de modificaciones causadas por la intervención del hombre.



5 ESTUDIO GEOELÉCTRICO

Complementario al estudio geofísico regional realizado en la zona afectada por el sismo del 25 de enero de 1999, en el mes de agosto del presente año se llevó a cabo una exploración geoeléctrica en la cabecera municipal del Municipio de Tebaida.

5.1 OBJETIVO

Con fines geotécnicos, determinar los valores de resistividad bajo el subsuelo de del perímetro urbano y suburbano de Barcelona y, correlacionar estos valores con las características litológicas de las unidades geológicas.

5.2 METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo propuesto se implementó la siguiente metodología:

5.2.1 *Diseño del estudio*

Con base en la información de mapas e informes temáticos sobre Barcelona, junto con el reconocimiento de campo, se estableció un programa de adquisición de datos de resistividad eléctrica con la ubicación de 6 sondeos eléctricos verticales (SEV) en el perímetro urbano y suburbano de este municipio.

5.2.2 *Posicionamiento geográfico*

La localización geográfica de los centros de medición de los SEV y el perfil geoeléctrico, se realizó sobre un plano ortomapa base escala 1:2000 (**Figura 8, ver Anexo 1**).

5.2.3 *Adquisición de datos de resistividad*

La toma de datos de resistividad eléctrica en la modalidad de SEV se realizó utilizando un equipo geofísico digital Syscal Junior. La abertura de electrodos a partir del centro de medición fue controlada con base en la extensión lateral entre 1.5 y 400 m de $AB/2$, en función de las condiciones logísticas del terreno.

5.2.4 *Procesamiento e interpretación de datos geofísicos*

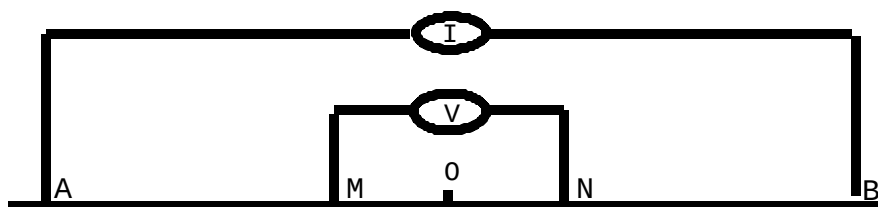
Para el procesamiento de los datos de resistividad eléctrica se utilizó el programa Resixp Plus (versión 2) de la Interprex Ltd. La interpretación del modelo de capas geoeléctricas fue correlacionada con la información sobre la geología de referencia y descripción de secciones estratigráficas de las unidades superficiales, y complementada con la información general de estudios geológicos regionales del INGEOMINAS.

El método de resistividad eléctrica, en la modalidad de Sondeos Eléctricos verticales (SEV) ha sido recomendado con base en su versatilidad y economía, debido a que cada SEV consiste en una “perforación eléctrica”, en la cual se obtiene un modelo puntual de la sucesión de capas geoelectricas con diferentes valores de resistividad bajo un centro de medición.

5.3 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

El método de resistividad eléctrica consiste fundamentalmente en estudiar las variaciones, en el subsuelo, de la propiedad física conocida como resistividad eléctrica o propiedad que poseen los diferentes tipos de materiales, artificiales o naturales, de oponerse al flujo de la corriente eléctrica, en presencia de un campo eléctrico en cualquiera de las direcciones X, Y, ó Z. A través de los contrastes de los valores obtenidos es posible diferenciar distintas clases de materiales existentes en el subsuelo y calcular sus espesores.

La toma de los SEV se realizó utilizando un dispositivo tipo Schlumberger, el cual consiste de un arreglo de 4 electrodos que permiten obtener variaciones de resistividad bajo un punto dado. Para generar el campo eléctrico se introduce al subsuelo corriente eléctrica a través de los 2 electrodos (A y B) provocando un campo de potenciales, el cual es medido por los otros 2 electrodos de medición (M y N).



Arreglo tipo Schlumberger

La profundidad investigada esta relacionada con las dimensiones y geometría del dispositivo utilizado. Las lecturas de corriente y de diferencia de potencial permiten calcular la resistividad de los materiales del subsuelo.

5.3.1 Procesamiento de los datos

El procesamiento de los datos se realizó con la ayuda del programa Resix Plus de la Interpex Ltda, el cual está basado en la metodología de “aproximaciones sucesivas”. Esta metodología consiste en comparar las curvas de campo con curvas sintéticas generadas a partir de modelos hipotéticos. Esta comparación se realiza hasta cuando las curvas de campo y las sintéticas alcanzan un grado de ajuste predeterminado. Con todos los SEV procesados se establecieron relaciones entre los diferentes puntos de observación mediante la elaboración del perfil geoelectrico A-A' (**Anexo 1**).

5.3.2 Interpretación y resultados

Con base en las interpretaciones de datos de los SEV y del modelamiento de capas geoelectricas (**Anexo 1**), y con el propósito de determinar la distribución de resistividad bajo y entre centros de medición de los SEV, se presenta el perfil A-A' a escala horizontal 1:2000 y vertical 1:1000 y, para efectos de correlación y mejor ilustración, estas se agrupan en zonas de resistividad (**Tabla 2**).

Tabla 2. Zonas de resistividad y correlación litológica

Zona	Resistividad (Ohm-m)	Espesor (m)	Unidad geológica	Correlación litológica
1	144-688	4-5	Glacis del Quindío (Q)	Piroclastos de caída. Arenas medias y limos secos
2	62-174	7-17	Glacis del Quindío (Q)	Piroclastos de Caída. Lapilli, cenizas volcánicas, arenas y limos húmedos
3	23-48	20-45	Glacis del Quindío (Q)	Suelo residual e intercalaciones limoarenosas
4	77-749	No determina do	Glacis del Quindío (TQ)	Saprolito, flujos piroclásticos y lahares

6. COBERTURA DE SUELOS

La estabilidad del terreno, depende en gran parte de la cobertura del suelo a parte de otros factores y agentes como el relieve, el clima y el material que lo conforma. La cobertura vegetal densa protege los suelos de los agentes atmosféricos, adiciona materia orgánica y los amarra con las raíces.

En algunas ocasiones las plantas penetran más allá del suelo uniéndolo con la roca, dando mayor estabilidad al terreno, por lo tanto en las zonas cubiertas con bosques matorrales o pastos los suelos están más protegidos, lo que no ocurre en sitios con cultivos limpios, construcciones o eriales.

La prevención de los fenómenos de remoción en masa, está influenciada por el uso y manejo de la zona donde pueden ocurrir estos eventos, aparte de las prácticas mecánicas y obras de ingeniería que se implementen en el sitio.

En muchas regiones del país ocurren derrumbes deslizamientos o desplomes, debido principalmente a la falta de prácticas culturales complementarias para que las obras permanezcan o para prevenir movimientos en masa, consistentes en mantener el suelo con cobertura vegetal permanente entre otras

En algunos casos las plantas de tipo arbóreo muy altas de tronco ancho producen peso en el terreno sensible a la remoción y ocasionan perdidas y movimientos de material al igual que construcciones de concreto, cemento o ladrillo, por lo tanto la reforestación que se realice con el propósito de evitar este fenómeno debe ser cuidadosa en cuanto a la selección de especies.

Con el propósito de determinar la susceptibilidad del terreno frente a los fenómenos de remoción en masa, integrando el estado actual de la cobertura del suelo con otros componentes en el Municipio de La Tebaida, se realizó el estudio de cobertura teniendo en cuenta que con la clasificación de cobertura a nivel exploratorio, se puede determinar cual de las coberturas propicia con más frecuencia estos fenómenos.

6.1 MARCO TEÓRICO

Los levantamientos del uso de la tierra en una región ayudan a la comprensión de los patrones de organización del espacio geográfico y a la definición de los posibles efectos o impactos, en este caso de los fenómenos de remoción en masa.

6.1.1 Generalidades

El término cobertura en este proyecto se aplica a un todo o en parte a algunos de los atributos de la tierra que ocupan una porción de su superficie. Dadas las características diferentes de la cobertura se determina que ésta puede derivarse de ambientes naturales

producto de la evolución ecológica, (bosque, pastos matorrales, etc.) o a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre (cultivos, construcciones, etc.). De otra parte el término uso se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura, "Cíclica o permanente, para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales" (IGAC, 1992).

En este orden de ideas es evidente que las características del uso de la tierra son el resultado de la interacción entre los factores físicos o naturales (Atributos de la Tierra) y los factores culturales o humanos.

El levantamiento de cobertura y uso de la tierra puede ser definido como el análisis y clasificación de los diferentes tipos de cobertura y usos asociados que el hombre práctica en una zona o región determinada. Su importancia se fundamenta en que la información obtenida durante el estudio puede contribuir a la solución de diversos problemas de interés para el hombre y su bienestar siempre y cuando se usen métodos adecuados de colección. (IGAC, 1992).

Existen muchos sistemas de clasificación de cobertura y uso de la tierra, por esto para cada caso, se debe adaptar un sistema de clasificación que incluya las unidades más representativas, basándose en experiencias anteriores, que permitan obtener un resultado muy aproximado a lo que se encuentra en el terreno.

6.1.2 *Sistemas de clasificación de cobertura y uso de la tierra*

Entre los más usados actualmente en Colombia están el Sistema de Clasificación del Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF), el Sistema de Clasificación ITC, Sistema de Clasificación de la Unión Geográfica Internacional, Clasificación del Servicio Geológico de Estados Unidos y el Sistema de Clasificación de Karmon.

El Sistema de clasificación CIAF es el más utilizado en Colombia debido a que establece criterios de jerarquización de clases correspondientes a categorías menores de manera que estas sean congruentes con los distintos niveles de detalle de un levantamiento de uso y cobertura de la tierra adelantado con diferentes fines. A continuación se realiza una descripción de este sistema.

Sistema de Clasificación CIAF

La característica más sobresaliente e importante del sistema CIAF de clasificación de la cobertura y uso de la tierra, es que ha sido diseñado de manera que pueda ser ejecutado mediante la interpretación de imágenes de Sensores Remotos de diversas fuentes y escalas. (IGAC, 1992)

Dentro de este sistema no se hace diferenciación de los conceptos Uso y Cobertura, si bien las primeras dos categorías agrupan clases de Cobertura y las restantes alternan clases de Cobertura con clases de uso, las que eventualmente el profesional clasifique, podrá separar en función de los parámetros que emplee para definir dichas clases.

La clasificación consta de cuatro niveles categóricos que van de lo general a lo detallado y los cuales son correspondientes con los cuatro niveles de detalle más usados en distintos tipos de levantamientos a saber: (IGAC, 1992)

- Exploratorio
- Reconocimiento
- Semidetallado
- Detallado

La definición de clases dentro de cada nivel categórico se hace teniendo en cuenta los siguientes criterios.

En el primer nivel o Exploratorio las clases corresponden a los elementos cobertura los cuales por sus diferentes características pueden ser identificados y separados en grupos distintos, en una imagen de satélite o en una fotografía.

En el segundo nivel o Reconocimiento tiene como criterios de selección de clases, una condición particular, índole, naturaleza o cualidad dentro de los elementos que integran una clase del primer nivel y que amerita una subdivisión de esa clase, en subclases.

El tercer nivel usa como criterios de selección, la dedicación a que halla sido destinado un elemento o grupo de elementos, características inherentes a su manejo o cualidades particulares que los hagan distintos a otros elementos que pertenezcan a la misma clase del nivel anterior.

Los criterios de categorización para las clases del cuarto nivel se relacionan con la función, entidad o cualidad de un grupo de elementos que conforman una clase en el tercer nivel.

Un aspecto importante del sistema, radica en su versatilidad para permitir la inclusión o exclusión de clases según las circunstancias locales del área de estudio sin que se altere su estructura. Esta versatilidad es progresiva desde las clases del primer nivel hasta aquellas del cuarto nivel.

Para estudios de cobertura y uso actual de la tierra a escala 1:500.000, se utiliza el primer nivel referente a la cobertura y uso de la tierra.

6.1.3 La cobertura del suelo en las fotografías aéreas

La cobertura del suelo se diferencia y se puede delimitar en las fotografías aéreas de acuerdo con el tono, la forma y tamaño, la Textura y el patrón de la misma como se describe a continuación:

El tono se refiere a la gama de variaciones de gris que hay del blanco al negro como resultado de la cantidad relativa de luz reflejada por los objetos. El tono de cualquier superficie u objeto terrestre en particular depende del tipo de película del filtro utilizado, del valor de reflectancia de la superficie, del grado de exposición al sol y del proceso fotográfico.

Las diferencias de tonalidades, permiten definir tipos de coberturas o estados característicos de los mismos. De una forma particular por lo tanto la experiencia del fotointerprete es de gran importancia para evitar errores debido a factores secundarios.

La Forma y el tamaño dependen de las características particulares de los objetos que pueden adquirir con el tiempo en forma natural, refiriéndonos a las formas irregulares o las que le puede imprimir el hombre con el propósito de suplir sus necesidades, refiriéndose a las formas regulares rectilíneas. El tamaño manifiesta la diferencia entre objetos similares pero que pueden ser de mayor tamaño por el estado de evolución que han alcanzado (Bosques naturales primarios) o por el uso actual al que están sometidos (edificaciones con uso industrial)

La Textura se define como la apariencia que tiene un conjunto de elementos o detalles unitarios que puede dar como resultado, según la escala de detalle, una superficie lisa y uniforme (pastos limpios, cuerpos de agua, etc.) o una superficie irregular o rugosa (Bosques, Rastrojos, Pastos enmalezados, etc.)

El Patrón indica la disposición o distribución espacial de los elementos o la repetición característica de ciertas formas o relaciones generales.

La combinación de las características de la foto mencionadas anteriormente más la habilidad del fotointerprete y el reconocimiento general de la zona, es lo que produce el resultado de una adecuada delimitación de unidades y la definición de su contenido.

6.1.4 La cobertura del suelo y los fenómenos de remoción en masa

La remoción en masa consiste en el movimiento de materiales de suelo o roca ocasionados principalmente por las características intrínsecas del mismo (adhesión, cohesión, etc.) o por agentes externos como el agua el viento o la pendiente.

Los suelos cubiertos por vegetación densa y con raíces abundantes, presentan menor susceptibilidad a la remoción en masa, porque el agua lluvia no cae directamente en los suelos y es retenida por la vegetación existente evitando así el deterioro de estos. Así mismo las raíces de las plantas amarran los suelos y en algunas ocasiones penetran la roca evitando que el material se mueva fácilmente.

La cobertura vegetal es una capa amortiguadora de las aguas de escorrentía y de infiltración, debido a que las plantas retienen gran cantidad de agua en su follaje que disminuye el volumen de agua infiltrada, por lo tanto cuando la vegetación es densa el peso del suelo no aumenta, en época de invierno y disminuye la probabilidad de ocurrencia de los movimientos en masa.

En este orden de ideas, para evitar los fenómenos de remoción en masa es necesario conocer la cobertura actual del suelo además de otras características que manifiestan el grado de riesgo y amenaza que existe en un sitio determinado.

6.2 METODOLOGÍA

El levantamiento de la cobertura del suelo para este municipio se realizó a nivel exploratorio debido a que con la separación por coberturas a este nivel es suficiente para diferenciar el grado de exposición de los suelos a los agentes atmosféricos y el de infiltración de agua que es el que produce los fenómenos de remoción en masa junto con otros factores.

Las etapas que se llevaron a cabo para obtener la cobertura de este municipio fueron: la delimitación del área en estudio, la fotointerpretación, la transferencia de unidades, la descripción de las coberturas y la elaboración del informe final.

A continuación se describen las etapas:

6.2.1 Delimitación del área en estudio

El área de estudio se delimitó en las fotografías aéreas, tomando puntos comunes entre la ortofoto y las fotografías aéreas.

6.2.2 Fotointerpretación

En esta etapa se realizó una observación general de las fotografías que cubren el Municipio de La Tebaida y alrededores, con lo que se elaboró la leyenda y se asignaron los símbolos para identificar las unidades en la cartografía respectiva. Luego se procedió a delimitar las unidades de cobertura de acuerdo con el color, el tono, la textura y el patrón de distribución que manifiestan los objetos que cubren el suelo en las fotografías aéreas, y a cada unidad delimitada se le asignó el símbolo correspondiente.

6.2.3 Transferencia de unidades

La transferencia consistió en pasar las líneas de los polígonos de cada unidad a la respectiva ortofoto del Municipio de La Tebaida, con los símbolos asignados durante la fotointerpretación del área en estudio.

6.2.4 Descripción de las coberturas

Con la determinación de las coberturas que existen en el municipio y alrededores, se procedió a describirlas en cuanto al área que ocupan, ubicación y las características que presentan.

6.3 RESULTADOS OBTENIDOS

La leyenda elaborada para este estudio está integrada así (**Figura 3**):

COBERTURA	SIMBOLO
Cultivos	CL
Construcciones	C
Pastos	P
Bosques Plantados	BP
Eriales	E

En el área de este municipio, establecida para el estudio, la cobertura que predomina es los Cultivos (CL); en segundo lugar se encuentran las Construcciones (CL); en tercer lugar los Pastos (P); en cuarto lugar tenemos los Bosques Plantados (BP) y en quinto lugar los Eriales (E)

A continuación se describen estas coberturas:

Cultivos (CL): ocupan un 60.10% del total de la superficie correspondiente a 355.00 Hectáreas, agrupan todos aquellos elementos inherentes a las actividades culturales que el hombre realiza en el campo en busca de alimento y abrigo, en este sitio predomina el café sin sombrero que está distribuido en los valles y en las laderas de las montañas o colinas y se ubican alrededor de la cabecera municipal, indistintamente en cualquier sitio del área total del estudio.

Construcciones (C): ocupan el 20.68% las cuales corresponden a un área de 122.00 Hectáreas conformadas básicamente por el Municipio de La Tebaida. Se denominan así, todas aquellas obras hechas por el hombre para su servicio y beneficio en las que comúnmente usa materiales como el hierro, cemento, ladrillo, madera, etc. Sus características geométricas van de acuerdo a su dedicación.

Las construcciones están distribuidas en el centro y al nororiente de la zona de estudio.

Pastos (P): ocupan 16.05% correspondiente a un área de 95 Hectáreas. Están ubicados en los valles, y en algunas laderas Conformados por gramíneas. En esta clase se agrupa toda aquella vegetación de carácter herbáceo no leñoso que se considera dominante en términos de porcentaje de ocupación de la superficie del municipio. En este sitio los pastos son libres de malezas y la presencia de árboles es escasa.

Los Pastos están distribuidos indistintamente en la zona de estudio alrededor de la cabecera municipal.

Bosques Plantado (BP): ocupan el 2.80% del área de estudio que corresponden a 17.00 Hectáreas. Están conformados por plantas de tipo arbóreo que han sido cultivadas por el hombre en donde predomina una especie determinada. En el área de estudio estos Bosques son principalmente de Guadua, se encuentran como islas en medio de los pastos y de los cultivos y están distribuidos al oriente de la zona de estudio.

Eriales (E): Ocupan el 0.36% del área total correspondiente a 2.00 Hectáreas. De acuerdo al significado del término erial, a esta clase corresponden todas aquellas

superficies de tierra sin capacidad para ser cultivadas y labradas. Los Eriales están ubicados al nororiente de la cabecera municipal y de la zona de estudio.

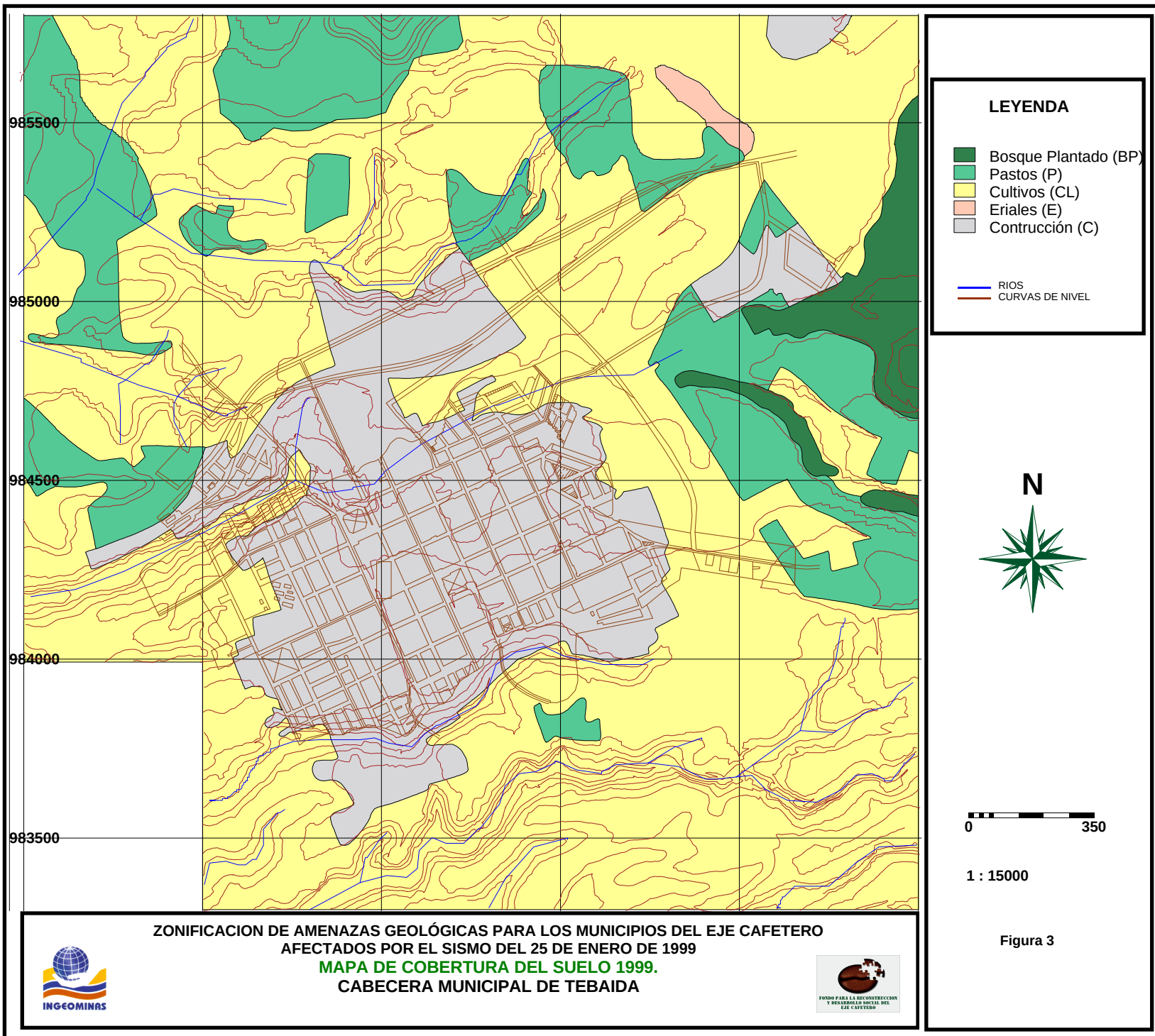
6.4 SÍNTESIS

Alrededor de las quebradas y ríos no existe vegetación protectora que evite el efecto erosivo del agua, causado principalmente por la excavación que produce esta en los taludes de las corrientes de agua; por lo tanto se debe propiciar la expansión de esta cobertura.

Los pastos requieren de siembra dispersa de arboles que den sombra a los suelos y al ganado, además de mantener la protección de los suelos y el reciclaje de nutrientes.

La permanencia de barreras vivas es importante para prevenir los movimientos de remoción en masa, además protegen los cultivos y los suelos de los agentes atmosféricos, sobre todo en zonas de alta pendiente. Estas prácticas se pueden complementar con la rotación de cultivos y de potreros que generen el descanso de la tierra y eviten la formación de suelos estériles.

Se debe evitar la expansión de asentamientos en las riberas de los ríos y quebradas como medida preventiva de los movimientos en masa que ocasionan desastres naturales.



7 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

La ejecución de la calificación geotécnica de los materiales del subsuelo se acordó dentro del Proyecto FOREC, por ser la herramienta técnica fundamental para proceder a efectuar la evaluación de amenazas por fenómenos de remoción en masa y la zonificación sismogeotécnica indicativa. Sin la caracterización “in situ” y de laboratorio, la ubicación de la estratigrafía de cada localidad, la evaluación de la resistencia al corte y el conocimiento de las propiedades dinámicas fundamentales, cualquier mapeo basado en otra clase de conceptos, carecería de la rigurosidad requerida, en particular debido a que el problema principal en estudio es la amenaza sísmica y la dinámica de suelos. Las labores seguidas de exploración y caracterización geotécnica se ilustran en la **Figura 4**.

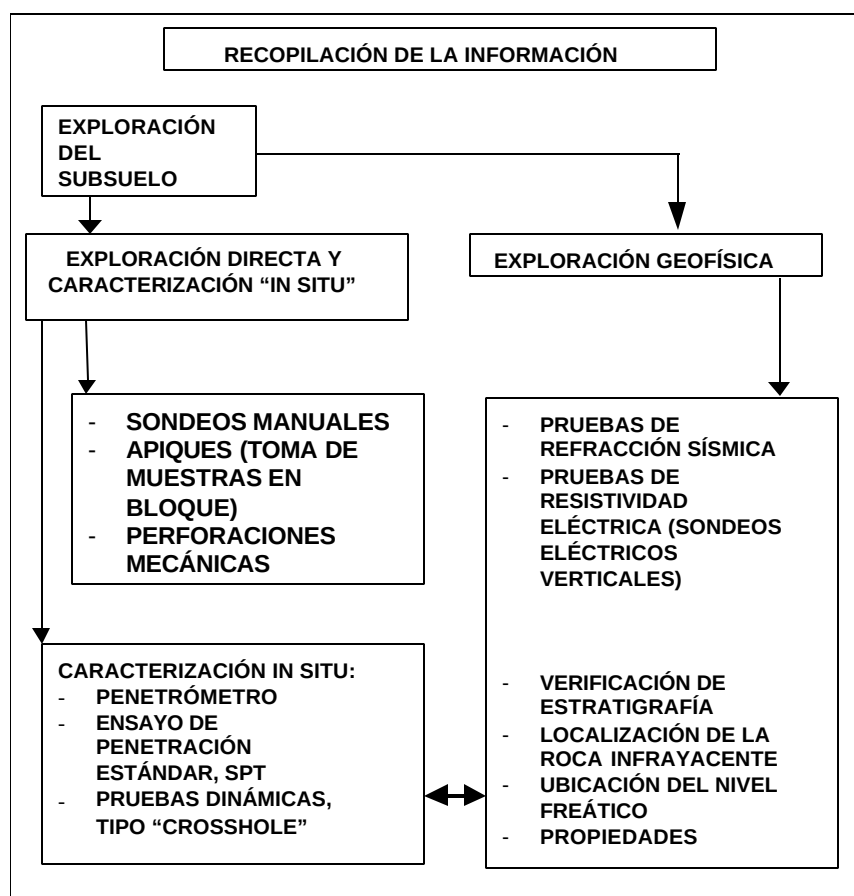


Figura 4. Exploración del Subsuelo y Caracterización Geotécnica a partir de Ensayos “in situ” en los municipios afectados por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.

Igualmente, la **Figura 5** presenta la etapa seguida en el laboratorio, para caracterizar los materiales del subsuelo de cada uno de los municipios estudiados:

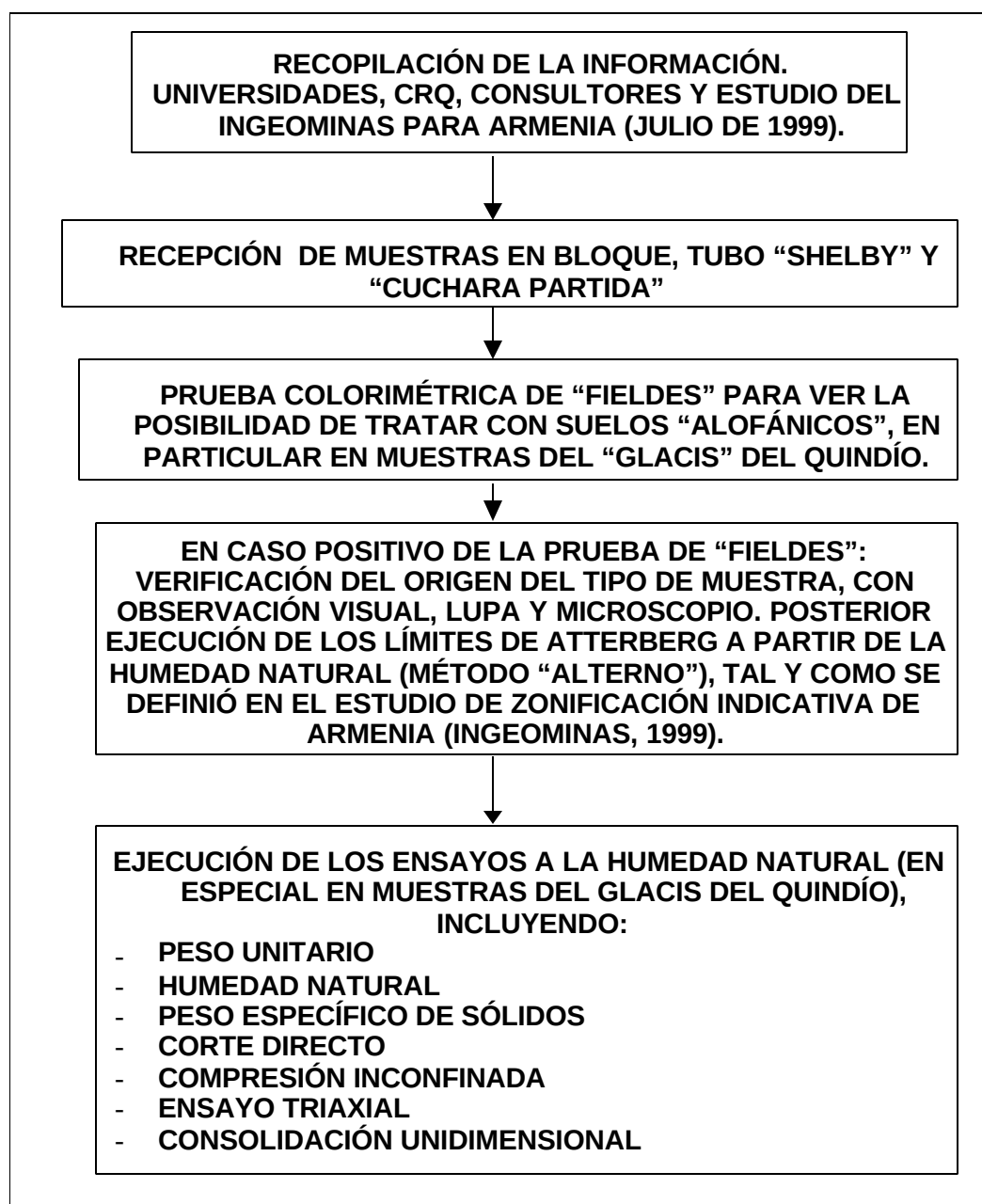


Figura 5. Caracterización Geotécnica a partir de Ensayos de Laboratorio efectuada por el INGEOMINAS y la Universidad del Quindío, en los municipios afectados por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.

Como se aprecia en la **Figura 5**, el INGEOMINAS verificó la experiencia ganada en el Estudio de la Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de Armenia (Julio, 1999), en lo

referente al estudio de los depósitos de ceniza volcánica (Piroclastos de caída). Estos materiales son del tipo alofánico y cuentan con singulares propiedades ingenieriles, siendo la más importante el cambio estructural irreversible que sufren cuando su condición de humedad natural se altera.

Estos materiales son “plásticos” (límites de Atterberg altos) cuando se encuentran en condición natural húmeda, transformándose a materiales “arenosos” (con menores límites de Atterberg siendo hidrofóbicos, menor succión, distinto índice de liquidez comparado con el obtenido con datos compatibles de humedad – límites de Atterberg) cuando se secan. Por ello, el mismo proceso de muestreo, la protección durante el transporte, la manipulación y el tiempo entre la recepción de muestras y la ejecución de los ensayos de laboratorio, entre otros, fueron aspectos que se trataron con mucho cuidado, preservando al máximo la humedad natural (y con ello preservando la estructura “in situ” y logrando resultados de caracterización coherentes con la realidad de campo).

El INGEOMINAS ya ha tenido la oportunidad de divulgar los resultados preliminares de las investigaciones efectuadas durante el estudio del subsuelo de Armenia, lo cual se hizo en las recientes “X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana”, efectuadas en Bogotá y organizadas por la Sociedad Colombiana de Ingenieros y la Sociedad Colombiana de Geotecnia, durante la primera semana de Noviembre del año en curso. Allí se presentaron varios de los resultados obtenidos, incluyendo temas novedosos como la caracterización de suelos alofánicos, información de gran valor técnico-práctico para la comunidad nacional y en particular la del Eje Cafetero. De esta forma, se cumple con nuestra misión institucional de investigar y divulgar aspectos técnico-científicos que mejoren la calidad de vida de los Colombianos. Los trabajos publicados fueron:

- **El Sismo del Quindío.** Por Escallón, J. 1999.
- **Evaluación de Daños producidos por el Sismo del Quindío.** Por Caro Peña, P., Forero-Dueñas, C. A., Moreno Espitia, M., Rodríguez Granados, E. E., & García Núñez, J. R. 1999.
- **Análisis de Acelerogramas del Sismo del Quindío.** Por Bermúdez, M. L. 1999.
- **Zonificación Geotécnica de Armenia.** Por Forero-Dueñas, C.A., Carrillo Lombana, E. & Rodríguez Granados, E. E.
- **Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de Armenia.** Por Rodríguez Granados, E. E., Rubiano Vargas, D., & Alvarado Flórez, C. 1999.
- **Estructura de las Cenizas Volcánicas de Armenia y su relación con el Comportamiento Geotécnico.** Por Forero-Dueñas, C.A., Gálvez Peralta, E., Fino, W. & Ulloa C, E. F. 1999.
- **Zonificación de los Llenos de la Ciudad de Armenia.** Por Forero-Dueñas, C.A., Castellanos Pinto, C. & Carrillo Lombana, E. 1999.

7.1 METODOLOGÍA DE ZONIFICACIÓN

La **Figura 6** presenta la estrategia metodológica seguida para lograr la calificación geotécnica de los principales materiales del subsuelo. En primer lugar se contaba con información geológica regional, por esto el grupo de Geología para Ingeniería procedió adicionalmente a efectuar levantamientos locales en cada cabecera municipal, agrupando los materiales desde el punto de vista de comportamiento de ingeniería. Este trabajo se efectuó a escalas detalladas, variables entre 1:2000 y 1:5000. Con base en este mapa y luego de visitas conjuntas al área entre geólogos y geotecnistas, se llegó a un acuerdo sobre la localización óptima y adecuada tanto de las pruebas geofísicas como de los sondeos, apíques y perforaciones mecánicas.

Igualmente se contaba con las observaciones que el INGEOMINAS efectuó sobre el comportamiento de las distintas unidades geológicas, en los diferentes informes de emergencia que se generaron inmediatamente después del sismo. Luego de cumplir con el proceso de muestreo y ensayos “in situ”, y de efectuar la exploración geofísica de manera complementaria, se procedió a ejecutar los ensayos en el laboratorio de geotecnia, sobre muestras representativas de cada unidad geológica superficial.

El paso final consistió en agrupar la información y definir una metodología de calificación geotécnica, la cual se aplicó de manera sistemática en cada una de las cabeceras municipales.

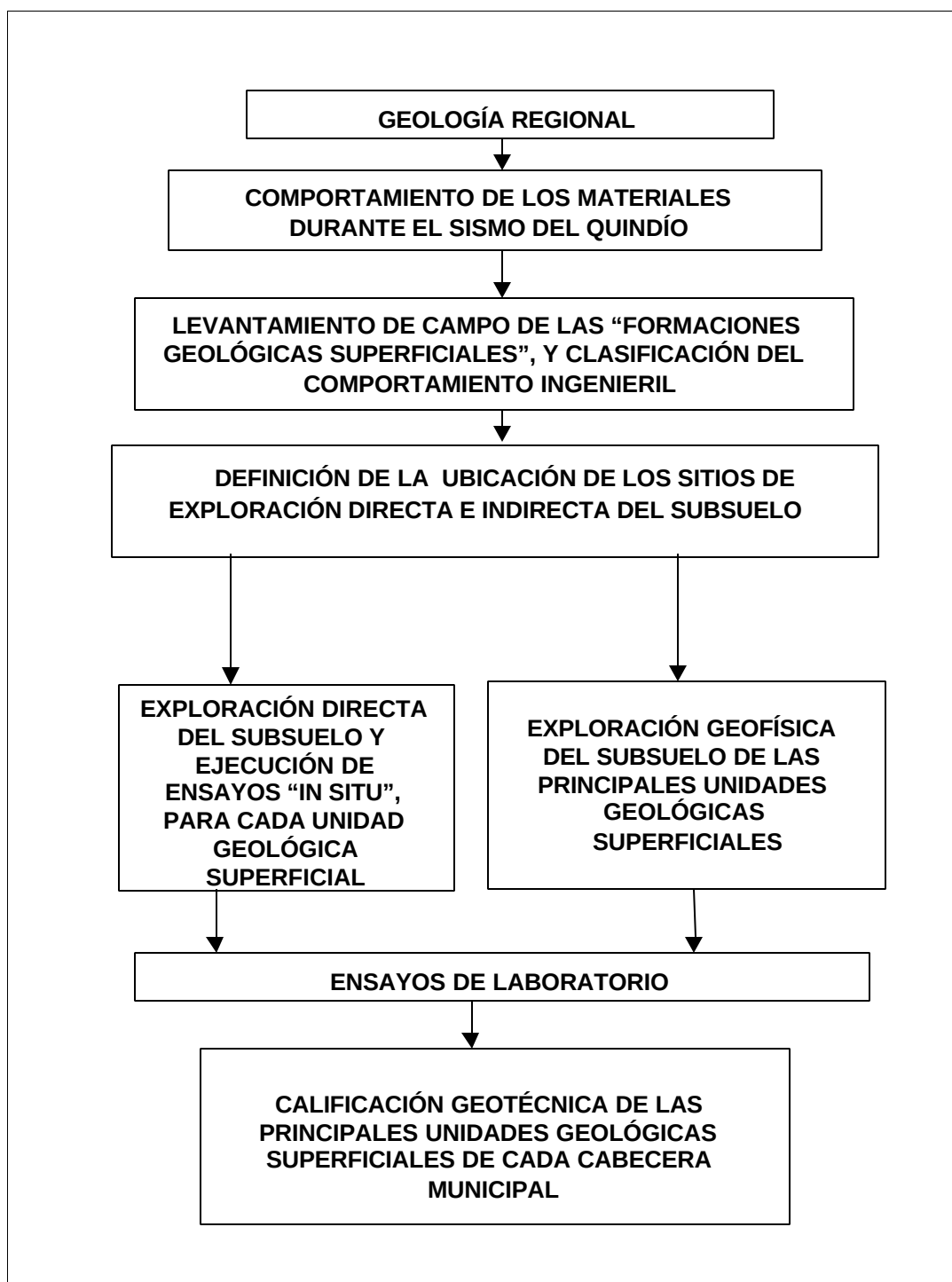


Figura 6. Metodología seguida para la Calificación Geotécnica de los principales materiales del subsuelo, en las cabeceras municipales afectadas por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.

7.2 CALIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Tal y como se ha mencionado, en cada una de las cabeceras municipales se realizaron labores de investigación del subsuelo con el fin de caracterizar las principales unidades geológicas presentes. Sobre la unidad geológica superficial preponderante se realizó un ensayo geofísico (cross – hole), con el fin de determinar la velocidad de onda de corte (V_s) y así poder evaluar el módulo cortante máximo (G_{max}) como principal parámetro dinámico.

Para determinar una calificación por unidad geológica se tomaron como parámetros base:

- La resistencia al corte del suelo (evaluada con base en el número de golpes del ensayo SPT, o qu en el ensayo de compresión inconfiada).
- La plasticidad (Índice de Plasticidad, IP).
- La humedad natural, W_n , y el peso específico de sólidos, G_s .

Los datos de compresibilidad y resistencia al corte no fueron incluidos sistemáticamente en la calificación inicial debido a que se tenían en menor cantidad que los parámetros mencionados anteriormente, sin embargo se tuvieron en cuenta en la calificación final de la unidad a la que pertenecían.

Para cada uno de los parámetros evaluados se determinó una calificación basada en la **Tabla 3** (Terzaghi y Peck 1949). La calificación por unidad geológica se evaluó como el promedio ponderado de la calificación de los parámetros, de acuerdo con los criterios de Terzaghi & Peck, dándole una mayor importancia a la resistencia y a la plasticidad del suelo.

Una vez evaluada cada unidad geológica superficial, se le asignaba una calificación total a cada material, a partir de la cual se obtenía una calificación relativa para cada material por sondeo, en una escala de números enteros de 1 a 5, donde el 1 hace referencia a lo mejor y el 5 hace referencia a lo más desfavorable. Posteriormente, se evaluó el valor de la Calificación Geotécnica de cada unidad geológica en la cabecera municipal, como el promedio de las calificaciones de dicha unidad en los diferentes sondeos donde estuviera presente. Con estos valores, además de calificar el material, se alimentó el “SIG ILWIS”, y se calculó la Amenaza Relativa a fenómenos de remoción en masa.

DENSIDAD O CONSISTENCIA DE LOS MATERIALES

N del "SPT"	CALIFICACIÓN	qu (kg/cm2)
N < 2	MUY BLANDA	qu < 0,25
2 ≤ N < 4	BLANDA	0,25 ≤ qu < 0,50
4 ≤ N < 8	MEDIA	0,50 ≤ qu < 1,00
8 ≤ N < 15	FIRME	1,00 ≤ qu < 2,00
15 ≤ N < 30	MUY FIRME	2,00 ≤ qu < 4,00
30 ≤ N	DURA	4,00 ≤ qu

GRADO DE PLASTICIDAD

IP (%)	GRADO DE PLASTICIDAD
IP < 1	No Plástico
1 ≤ IP < 5	Ligero
5 ≤ IP < 10	Bajo
10 ≤ IP < 20	Medio
20 ≤ IP < 40	Alto
40 ≤ IP	Muy Alto

GRADO DE HUMEDAD

w (%)	GRADO DE HUMEDAD
w < 15	BAJA
15 ≤ w < 40	MEDIA
40 ≤ w	ALTA

(Tomado de Terzaghi y Peck 1949)

El peso específico de sólidos (Gs) se calificó teniendo en cuenta un rango de valores de la siguiente manera:

Gs	CALIFICACION
2 ≤ Gs < 2.15	1
2.15 ≤ Gs < 2.3	2
2.3 ≤ Gs < 2.45	4
2.45 ≤ Gs < 2.6	6
2.6 ≤ Gs < 2.75	8
2.75 ≤ Gs < 2.9	10

Tabla 3 Rangos establecidos para calificar los parámetros geotécnicos de resistencia, humedad y peso específico de sólidos, en las cabeceras municipales afectadas por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.

En la **Figura 7** se resume el procedimiento de Calificación Geotécnica de los principales materiales presentes en cada cabecera municipal. Cabe destacar que además de los

cuatro parámetros geomecánicos usados para calificar, en cada municipio se ejecutaron ensayos adicionales, los cuales se presentan en las tablas resumen correspondientes a cada sitio estudiado(ver Anexo).

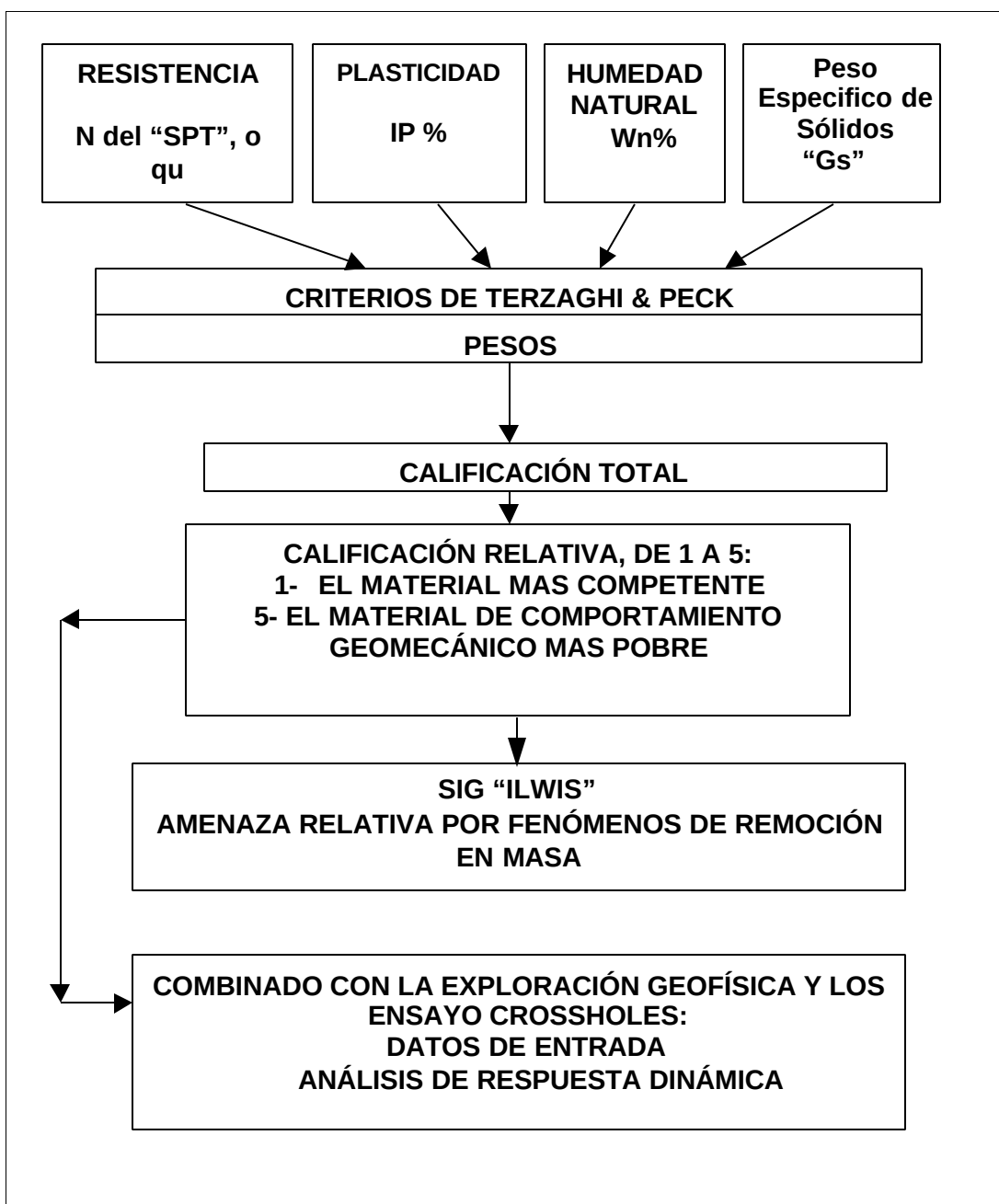


Figura 7. Procedimiento de Calificación Geotécnica para cada Unidad Geológica Superficial, en las cabeceras municipales afectadas por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.

7.3 RESULTADOS DE LA CALIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA TEBAIDA

A continuación se presentan los resultados obtenidos al calificar geotécnicamente las distintas unidades geológicas en el municipio (ver Mapa de Unidades Geológicas Superficiales).

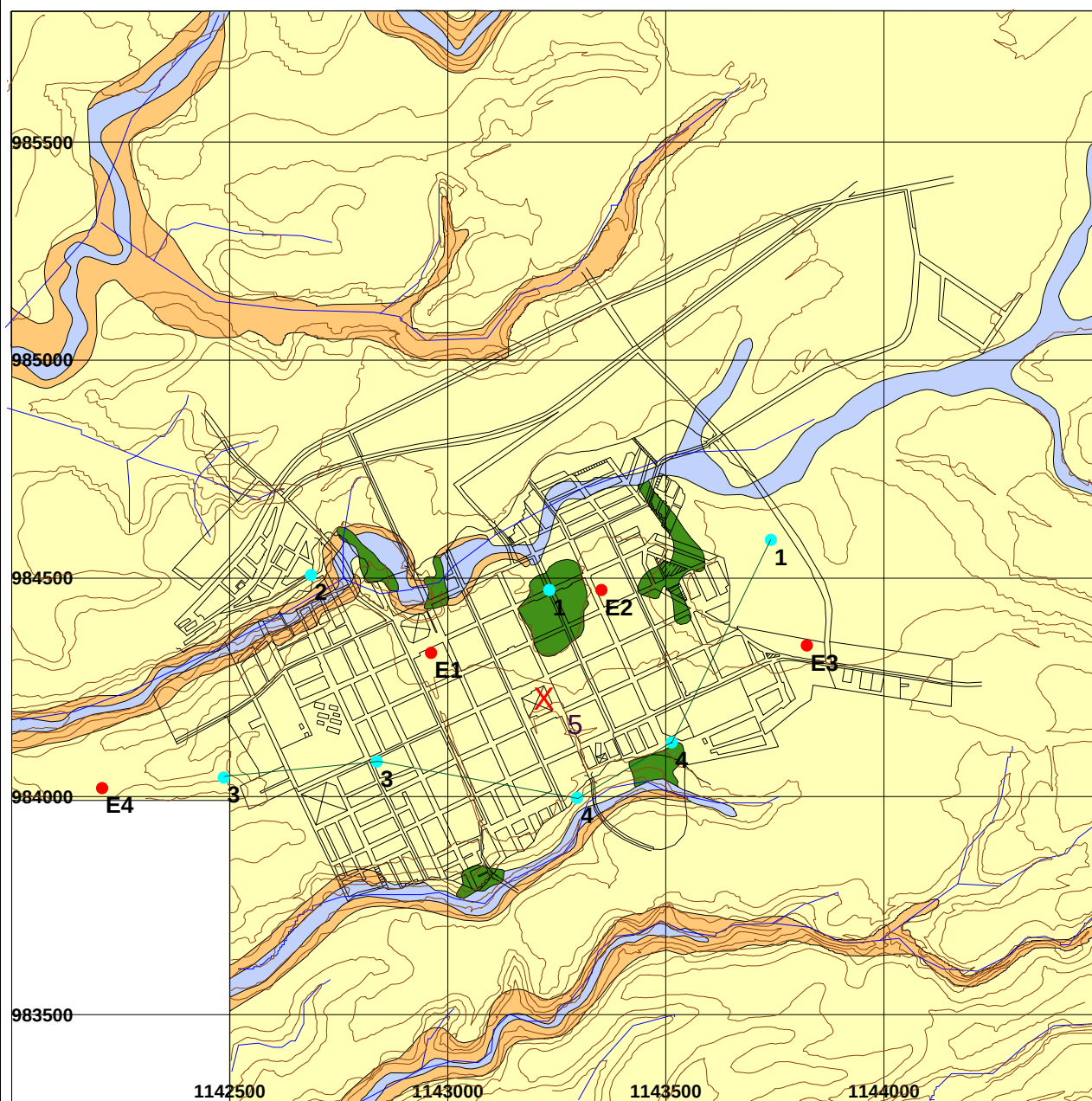
En el Municipio de La Tebaida se realizaron en total 9 sondeos sobre los cuales se caracterizaron 2 unidades geológicas, de acuerdo con los valores de la calificación geotécnica (**Anexo 2**), se presenta en la **Tabla 4** sus respectivas calificaciones.

UNIDAD GEOLOGICA	DENSIDAD O CONSISTENCIA	GRADO DE PLASTICIDAD	GRADO DE HUMEDAD	CALIFICACION GEOTÉCNICA RELATIVA
Piroclastos de caída	Firme	Media	Alta	3
Depósitos volcánicos	Dura	-	Media	2

Tabla 4. Calificación Geotécnica Relativa de las principales Unidades Geológicas Superficiales del casco urbano de La Tebaida, afectada por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.

A su vez, en La Tebaida se realizó un perfil mediante la combinación de la exploración geofísica y geotécnica. Este perfil (Corte A - A') cruza la cabecera municipal en sentido (W - NE), donde se observan los sondeos T3EAFIT, T4EAFIT, PTB3 y PTB4 en detalle.

En la **Figura 8** se observan la ubicación de los sondeos, la exploración geofísica y geoelectrica sobre las unidades geológicas superficiales.



LEYENDA

LITOLOGIA

- Aluvión (Qal)
- Cenizas (QPc)
- Llenos antrópicos (Ra)
- Suelos residuales (Qsr)

EXPLORACION GEOTECNICA

- 1 PTB 1
- 2 PTB 2
- 3 PTB 3
- 4 PTB 4
- 5 PTB 5
- E1 EAFIT 1
- E2 EAFIT 2
- E3 EAFIT 3
- E4 EAFIT 4

EXPLORACION GEOELECTRICA

— PERFIL AA'

EXPLORACION GEOFISICA

X CROSS - HOLE



0 350

1 : 15000

Figura 8

ZONIFICACION DE AMENAZAS GEOLÓGICAS PARA LOS MUNICIPIOS DEL EJE CAFETERO
AFECTADOS POR EL SISMO DEL 25 DE ENERO DE 1999
MAPA DE UBICACIÓN DE SONDEOS
CABECERA MUNICIPAL DE TEBAIDA



8 HIDROLOGÍA

8.1 PRECIPITACIÓN

Para considerar los efectos de la precipitación dentro de la zonificación fueron determinados tres parámetros fundamentales relativos a este fenómeno. El primero de ellos, la precipitación total anual registrada por la estación en un período no menor de 10 años con el fin de establecer la distribución espacial de la precipitación (curvas isoyetas) y su magnitud.

Utilizando como base la metodología para la Macrozonificación de Amenaza por Deslizamientos expuesta por Mora y Vahrson (1994), se determina el segundo parámetro (Sh), que corresponde a la calificación de la zona de estudio por cantidad de lluvia. Esta calificación varía con los valores de precipitación media mensual y total anual registrados por una estación hidrometeorológica cercana (período de registro mayor de 10 años) como valor de precipitación acumulada en un rango de valores entre 1 y 5

Calificación	Factor Sh
Muy Bajo	1
Bajo	2
Medio	3
Alto	4
Muy Alto	5

Así mismo, se establece con base en los registros de precipitación máxima en 24 horas de dicha estación, ajustado a una distribución de probabilidad para valores extremos, el valor de la precipitación máxima con período de recurrencia 100 años, igualmente para valores registrados en no menos de 10 años. El criterio de calificación es el mismo.

Máxima lluvia para Tr=100 años, n>10 años	Calificación	Factor Tp
<100 mm	Muy Bajo	1
101 – 200 mm	Bajo	2
201 – 300 mm	Medio	3
301 – 400 mm	Alto	4
>400 mm	Muy Alto	5

El total de las estaciones empleadas para la determinación de estos parámetros y los valores determinados de cada uno de los parámetros hacen parte del análisis regional escala 1:50.000.

El listado de estaciones seleccionadas para el análisis de la precipitación dentro de la zonificación por amenazas y sus valores de precipitación media anual, parámetros Sh y Tp, se encuentra en el **Anexo 3**.

Para el Municipio de La Tebaida se seleccionó la Estación Vivero Tebaida la cual posee registros de pluviometro desde el año 1971. La precipitación media anual registrada en esta estación es de 1918 mm y la máxima en 24 horas para período de retorno de 100 años es de 123 mm. El hietograma de precipitación media anual (**ver Anexo 3**) presenta distribución temporal con régimen bimodal. Los períodos de mayor precipitación son marzo a mayo y septiembre a noviembre, siendo octubre el mes de mayor magnitud de precipitación media mensual (242.9 mm).

8.2 INUNDACIONES

De acuerdo a las observaciones hechas en campo y teniendo en cuenta las condiciones topográficas no se considera el parámetro de inundaciones en la evaluación de la amenaza.

Sin embargo, cabe anotar que algunos barrios de tipo informal construidos sobre el cauce de las quebradas La Jaramilla y La Tulia han reportado inundaciones, las cuales no se atribuyen al desbordamiento natural de las mismas, sino que obedecen a factores relacionados con las deficiencias del drenaje superficial. La superficialidad de nivel freático presente en el suelo hace de algunos sectores prácticamente pantanos.

El objeto de establecer zonas susceptibles a las inundaciones está orientado a evitar que se produzca la ocupación de zonas anegadas en épocas de invierno como efecto del desbordamiento natural de las quebradas. Así mismo, las zonas bajas donde se produce encharcamiento no deben ser ocupadas a menos que se garantice un manejo adecuado del agua mediante obras de drenaje o bombeo que eviten esta situación. Estos sistemas para el drenaje de aguas lluvias no deben ser conectados con los drenajes de aguas servidas, por los múltiples problemas que se generan cuando se presentan fallas.

A continuación se detalla la situación actual de los sectores más afectados, esperando sea una política de ordenamiento municipal el no permitir la ocupación de sectores en similares condiciones.

8.2.1 Quebrada La Jaramilla

Sector Los Alpes Bajos.

Este sitio figura reportado en el estudio de INGEOMINAS 1992. Está localizado al nor-oeste del casco urbano sobre la margen izquierda de la Quebrada La Jaramilla. Los inconvenientes de drenaje son atribuidos por los moradores del sector a la construcción de una alcantarilla en cajón (Box), en una zona muy plana donde algunos sectores de la

obra quedan prácticamente al mismo nivel de la superficie del terreno. Así mismo, se requiere la construcción de colectores o sumideros que evacuaran las aguas lluvias acumuladas en la hondonada y el volumen de esorrentía proveniente de la calle 13.

Las inundaciones que se consideran de pequeña magnitud, se presentan en las temporadas invernales. No obstante se presentan problemas de funcionamiento de las recámaras cuando se aumenta el nivel de aguas al interior del Box, produciendo efecto de reflujo.

Sector del Matadero.

Contra el matadero, ubicado sobre la margen izquierda de la Quebrada La Jaramilla, actualmente se adelanta un proceso de urbanización informal, el cual está ocupando el cauce menor de la quebrada, la cual a pesar de encontrarse canalizada, no garantiza que hacia el futuro se presenten eventos de inundación que afecten las viviendas.

En el estudio de INGEOMINAS 1992, el sitio ya había sido reportado como carente de acueducto y alcantarillado técnico, lo que obligaba a sus moradores a consumir agua proveniente de aljibes elaborados por ellos mismos. El riesgo de contaminación por este motivo es alto y se desconoce si en la actualidad este sector cuenta con el servicio de acueducto municipal.

Sector del Barrio La Alambra.

En el sector localizado entre el Barrio La Alambra y la Urbanización Fabio Molina, sobre las márgenes de la Quebrada La Jaramilla a la salida hacia el Club de La Caja Agraria, actualmente se construyen conjuntos habitacionales, los cuales igualmente se ubican sobre el cauce mayor de la quebrada. Los suelos allí poseen características de pantanosos, situación que los hace poco aptos para el desarrollo de este tipo de proyectos.

8.2.2 Quebrada La Tulia.

Los desarrollos habitacionales, principalmente sobre la margen derecha de esta quebrada incluido su cauce mayor, son susceptibles a fenómenos de inundaciones en temporadas invernales. La diferencia de nivel entre las viviendas y el nivel medio de agua en la quebrada oscilan entre 1,5 y 2,0 m aproximadamente, lo cual hace de estas zonas susceptibles a inundaciones en caso de eventos extremos.

Barrio Los Guayacanes

Este barrio se localiza en el sector centro sur del casco urbano, sobre la margen derecha de la Quebrada La Tulia. Parte del barrio fue construido sobre el cauce mayor de la quebrada, la cual colecta parcialmente aguas negras de la población, situación que genera malos olores y deterioro ambiental. En temporada de lluvias se pueden generar problemas de inundación.

Barrios Unidos Parte Baja.

Este barrio se localiza en el sector sur occidental del casco urbano, sobre la margen derecha de la Quebrada La Tulia. Parte del barrio fue construido sobre el cauce mayor de dicha corriente en un sector bajo con probabilidad de ser inundado en temporada de intensa lluvia. De la misma forma la presencia de aguas negras crea un problema de orden higiénico ambiental que debe ser solucionado.

Asentamientos nuevos sobre la margen izquierda de la Quebrada La Tulia.

Como consecuencia del sismo del 25 de enero de 1999, algunos de los damnificados de dicho evento se han ubicado sobre la margen izquierda del cauce mayor de la Quebrada La Tulia. Es conveniente evitar que dichos asentamientos crezcan sin advertir a sus moradores de los inconvenientes que se puedan generar hacia el futuro con el manejo de las aguas lluvias y servidas.

9 ZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA RELATIVA

La Zonificación Sismogeotécnica Relativa consiste en identificar zonas que por sus características topográficas y sus condiciones geológicas, geofísicas y geotécnicas pueden alterar la respuesta dinámica del suelo, definiendo zonas de baja, moderada y alta amplificación de las ondas sísmicas, factor importante para la reconstrucción sísmo-resistente de edificaciones y otras obras de infraestructura.

9.1 EFECTOS LOCALES DEBIDOS A EVENTOS SÍSMICOS

Desde la década de los años 70, a raíz de efectos observados luego de muchos terremotos, se han empleado modelos numéricos para investigar la incidencia de las ondas sísmicas sobre diferentes tipos de formas topográficas (depresiones en forma de “V” ó “U”, protuberancias en forma de triángulo, “U” invertida ó talud sencillo). Algunas de esas investigaciones se presentan en Boore (1972), Bouchon (1973), Ohtsuki y Yamahara (1984), Celebi (1987), Conte y Dente (1992), entre otros.

En el medio colombiano existe evidencia de daños por causa de llenos antrópicos en Pereira (sismo de Calima, Febrero 8 de 1995), en los Proyectos de Microzonificación Sísmica de Ciudades (Santa Fe de Bogotá, Medellín y Pereira), y recientemente en la Zonificación Sismogeotécnica Indicativa para la Ciudad de Armenia (INGEOMINAS, 1999), se ha incluido el estudio de los efectos locales tanto por formas topográficas como por la presencia de estratos o capas de suelo de características geotécnicas especiales.

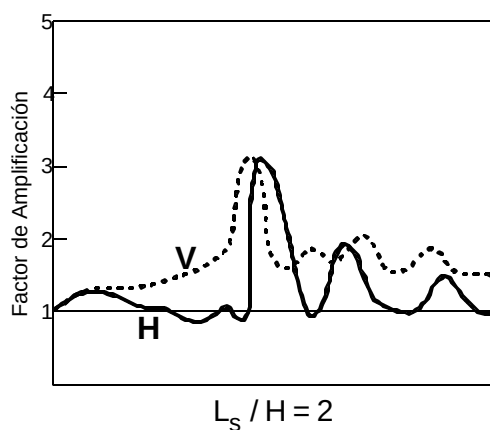
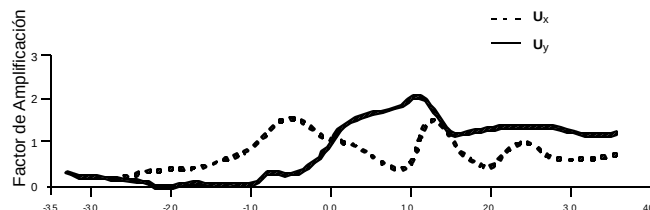
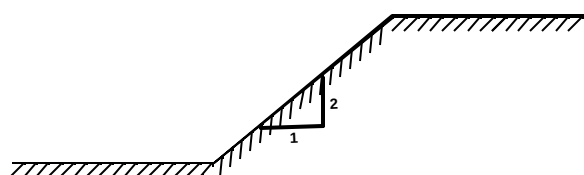
En forma general se pueden relacionar estos efectos de la siguiente manera:

a. Amplificación por geometría del talud

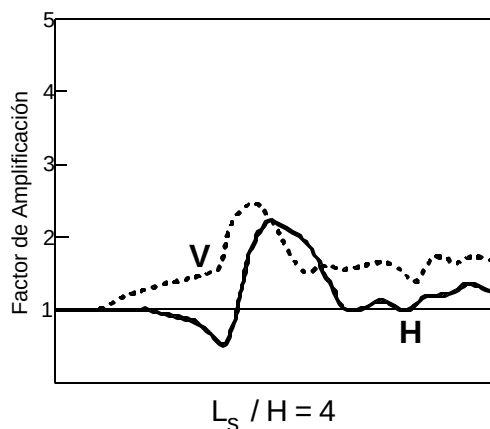
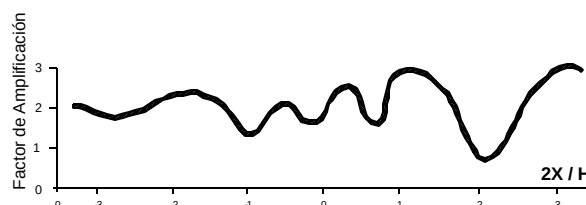
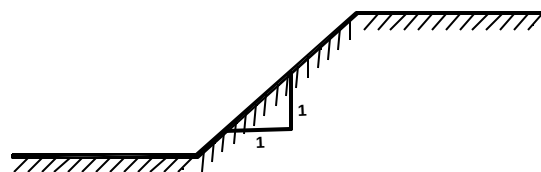
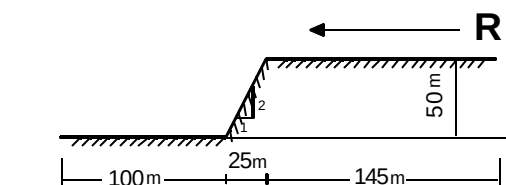
Se parte de la relación entre longitud de onda del sismo en el sitio de estudio, L_s , y la altura del obstáculo, H . Ohtsuki y Yamahara (1984), y Conte y Dente (1992) encontraron que para taludes con inclinaciones variables entre 45° y 90° se obtiene:

TIPO DE ONDA	L_s	Amplificación del Desplazamiento	Distancia afectada desde la corona del talud
R	2H	$A_H = 3$ $A_V = 3$	H/2
	4H	$A_H = 2.2$ $A_V = 2.5$	H
SH	1H a 2H	$A_H = 1.5$	H

En la **Figura 9** se muestran los resultados obtenidos para algunas de estas formas topográficas.



b) Distribución de amplitudes de desplazamiento para ondas. Rayleigh, **R**, (Conte et al, 1992).



a) Distribución de desplazamientos horizontales y verticales superficiales máximos, para ondas Rayleigh, **R**, (Ohtsuki et al, 1984).

c) Distribución de amplitudes de desplazamiento para ondas. **SH**, (Conte et al, 1992).

Figura 9. Casos típicos de amplificación por efectos topográficos

b. Amplificación por forma de los valles entre laderas

De acuerdo con Sauter (1989), para valles de ancho L_v , algunos investigadores han encontrado que cuando $L_s < 2L_v$ se producen elevadas amplificaciones de las aceleraciones en la superficie del valle.

c. Resonancia por similitud de períodos

Para diferentes formas geométricas del subsuelo o de estructuras es posible conocer su período fundamental de vibración con el fin de relacionarlo con el período de vibración del sismo y detectar los efectos de resonancia.

Para depósitos de suelo de topografía horizontal:

$$T = \frac{4H}{V_s}$$

Para formas topográficas triangulares, (tipo presa):

$$T = \frac{2,67H}{V_s}$$

Para taludes:

$$T = \frac{(3 \text{ a } 4)H}{V_s}$$

Para edificaciones:

$$T = \frac{N}{10}$$

Siendo : T : Período de vibración del suelo o estructura
 H : Altura o espesor del material evaluado
 N : Número de pisos del edificio
 V_s : Velocidad de propagación de la onda de corte en el medio.

9.2 METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA INDICATIVA

Teniendo en cuenta que el área afectada por el Sismo del Quindío (25 de Enero de 1999) se ubica en zonas con topografía ondulada, es posible que se presenten amplificaciones sísmicas debidas a dicha morfología, cuya delimitación en zonas homogéneas no es fácil

dada la gran variabilidad existente. Sin embargo, analizando algunos cortes geológicos y topográficos específicos, es posible delimitar zonas que poseen diferencias de nivel que podrían generar amplificaciones en superficie de las ondas sísmicas y por ende en las aceleraciones del terreno.

Otro factor importante que incide en la amplificación de las ondas sísmicas es el que genera el tipo de material existente en la zona. Dicho material consiste básicamente en depósitos cuaternarios, flujos piroclásticos, materiales volcánicos y suelos residuales, lo que hace que para cada uno de ellos deba definirse un factor de amplificación. Para dicha evaluación se utilizó el mapa de formaciones superficiales y la caracterización geomecánica de los materiales de acuerdo a los estudios geotécnicos y geofísicos realizados.

Para la obtención del Mapa de Zonificación Sísmica Relativa y considerando los factores descritos anteriormente se utilizó la siguiente metodología:

- De acuerdo con el estudio de amenaza sísmica en el país y los estudios preliminares realizados en la zona del Eje Cafetero, se evaluó la aceleración horizontal máxima probable en roca correspondiente a un evento con período de retorno de 475 años, o lo que es igual, para un tiempo de exposición de 50 años con una probabilidad de excedencia del 10%.
- Posteriormente, se delimitaron las zonas que por sus características topográficas podrían generar amplificaciones de las ondas sísmicas, para lo cual se estimó el rango de diferencia de altura que se asemeja a la longitud de onda del sismo, esta última evaluada para las velocidades de onda de corte estimadas de acuerdo con la exploración del subsuelo realizada en la zona (ensayos Cross-Hole).
- Teniendo en cuenta el mapa de unidades superficiales, las características geológicas y geomecánicas de los materiales, cortes geológicos, perfiles geofísicos regionales y locales, se procedió a estimar cualitativamente las amplificaciones de las ondas sísmicas debido a los diferentes perfiles típicos del subsuelo. Para ello se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en el Estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa para la Ciudad de Armenia (INGEOMINAS, 1999).
- Por último, mediante un Sistema de Información Geográfica se superpusieron los tres aspectos anteriormente descritos, y se definieron 4 rangos de resultados para lograr de esta manera la Zonificación sismogeotécnica Relativa.

9.3 RESULTADOS ENCONTRADOS

Para el Municipio de La Tebaida se identificaron cuatro (4) zonas de comportamiento Homogéneo (**Mapa 2. Anexo 5**), las cuales se describen a continuación (**Tabla 5**):

Tabla 5. Zonas de Amenaza Sísmica Relativa

ZONA	AMENAZA SÍSMICA RELATIVA	DESCRIPCIÓN
Zona 1	Baja	En esta zona se esperan las más bajas amplificaciones de las ondas sísmicas, debido a los tipos de materiales y a las condiciones topográficas existentes. Está constituida por suelo residual y aluvión localizados en zonas sin efecto topográfico. Es indispensable hacer uso de las recomendaciones dadas por la Norma Sismo Resistente vigente.
Zona 2	Moderada	En esta zona se esperan amplificaciones moderadas de las ondas sísmicas, debido a los tipos de materiales y a las condiciones topográficas existentes. Está caracterizada por cenizas volcánicas en zonas sin efecto topográfico. Es indispensable hacer uso de las recomendaciones dadas por la Norma Sismo Resistente vigente.
Zona 3	Alta	En esta zona se esperan amplificaciones altas de las ondas sísmicas, debido a los tipos de materiales y a las condiciones topográficas existentes. Se encuentra caracterizada por cenizas volcánicas localizadas en zonas de efecto topográfico leve. Para la construcción de cualquier obra es indispensable realizar un estudio geotécnico detallado y seguir las recomendaciones dadas por la Norma Sismo Resistente vigente.
Zona 4	Muy Alta	En esta zona se esperan las más altas amplificaciones de las ondas sísmicas, debido a los tipos de materiales y a las condiciones topográficas existentes. Está constituida por cenizas volcánicas localizadas en sectores de efectos topográficos fuertes y llenos en efecto topográfico leve. Para la construcción de cualquier obra es indispensable, además de seguir las recomendaciones dadas por la Norma Sismo Resistente vigente, realizar un estudio geotécnico detallado y un análisis de respuesta sísmica del subsuelo.

10 CONSIDERACIONES Y DATOS SOBRE LA AMENAZA VOLCÁNICA

Debido a la no disponibilidad del mapa de amenaza volcánica del Cerro Machín, el cual estará terminado en el año 2000, sólo se suministra información que es útil para evaluar la amenaza y para toma de decisiones en ordenamiento territorial, acompañada de consideraciones para su uso.

El territorio del Municipio de La Tebaida se halla ubicado en la denominada zona distal o lejana de caída de piroclastos. El levantamiento de columnas estratigráficas, con el fin de medir los espesores de depósitos piroclásticos acumulados por dos (2) erupciones del Machín, denominadas P1 y P2, dio como resultado que en la cabecera municipal han alcanzado espesores mínimos de 15 cm para P1 y entre 5 y 10 cm para P2.

La información sobre espesores acumulados por caída de cenizas nos lleva a presentar escenarios potenciales similares para erupciones futuras. Tales escenarios indican que los resultados de las caídas pueden traer como consecuencia los efectos siguientes:

- Oscurecimiento por la caída misma y por efectos del viento sobre las cenizas finas.
- Cubrimiento de vías, estructuras e infraestructura.
- Colapso de coberteras débiles cubiertas por ceniza, especialmente cuando los espesores son de 10 cm o más.
- Daños a cultivos por impacto y cubrimiento.
- Problemas respiratorios para personas y animales.
- Problemas en maquinarias y equipos por abrasión y por corrosión.
- Contaminación a forraje de animales. Si los animales lo consumen, pueden presentar problemas graves por envenenamiento y por abrasión en las vías digestivas.
- Contaminación de aguas naturales y de acueductos.
- Problemas de tráfico vehicular.
- Los depósitos de piroclastos, especialmente los acumulados en áreas pendientes, pueden ser fácilmente removidos por la lluvia y favorecer la generación de flujos de lodo a lo largo de cauces. Los flujos de lodo son un fenómeno peligroso que puede arrasar lo que encuentra a su paso.

11 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

11.1 METODOLOGÍA

Como no se disponía de una cartografía básica apropiada para desarrollar el proyecto, esta fue contratada con la firma INGENIERIA GEODESIA Y SISTEMAS-IGES LTDA., la cual entregó cartografía digital en ortomapas a escala 1:5000 de la cabecera municipal de La Tebaida. Dentro del SIG ILWIS se realizó el análisis para zonificación por movimientos en masa, partiendo del Modelo Digital del Terreno (MDT) (**Figura 10**); se generaron mapas derivados de sombras (**Figura 11**) y vistas tridimensionales (**Figura 12**) sobre las cuales se sobrepusieron las ortofotos de cada municipio. Una rápida recopilación y ajuste de los estudios existentes aunado a un trabajo de campo en zonas críticas representativas, permitieron involucrar variables litológicas, geotécnicas, geomorfológicas, cobertura del suelo y geofísicas en el análisis, confiriéndole un grado confiable a los resultados obtenidos, a pesar del corto tiempo en que se ejecutó el proyecto. Los mapas de parámetros utilizados en el análisis son recodificados de acuerdo a tablas en donde les son asignados pesos a cada mapa de parámetros (en la escala de 0, amenaza nula a baja, a 10, amenaza alta). Posteriormente estos mapas son sumados y el mapa obtenido es reclasificado de acuerdo a su histograma para obtener el mapa final en donde se contemplan 4 rangos de amenaza (Baja, Intermedia, Alta y Muy Alta). Finalmente un mapa de Aptitud Relativa del terreno para la construcción fue obtenido utilizando una tabla bidimensional en donde se confrontan los parámetros de los mapas de Geotecnia y de susceptibilidad a FRM.

11.2 MODELAMIENTO DE VARIABLES

11.2.1 *Materiales Superficiales*

Uno de los principales factores a considerar en los fenómenos de remoción en masa es la litología del material involucrado, debido a que la génesis, composición y estructura de los mismos, inciden notablemente en el esfuerzo cortante y la resistencia a la cizalla. Para el caso particular del área urbana de la Población de La Tebaida fue asignado un mayor peso a las unidades de roca con más alto grado de intemperismo y aquellos materiales inconsolidados o que presentan una composición heterogénea. Los suelos residuales, tienen entonces el mayor peso relativo en la escala de 1 a 5 (**Ver tabla 6**).

Tabla 6. Valoración de Materiales Superficiales

S	UNIDAD	Peso
Qal	Aluvial	2
Qlm	Llenos Mecánicos	4
Qpc	Piroclásticos de Caída	2
Qsr	Suelos Residuales	4

11.2.2 Cobertura del Suelo

Tabla 7. Valoración de cobertura del suelo

S	UNIDAD	Peso
BP	Bosque plantado	1
C	Construcciones	3
E	Eriales	4
CL	Cultivos	3
P	Pastos	2

11.2.3 Inclinação de Pendientes

Un mayor grado de inclinación del terreno natural aumenta los esfuerzos cortantes. Con base en este criterio fueron asignados los pesos relativos presentados en la **Tabla 8**, en la escala de uno (menor susceptibilidad) a cinco (mayor susceptibilidad).

Tabla 8. Valoración de la inclinación del terreno

C	R	Clase	Peso
1	0-2°	Planas	0
2	2°-5°	Levemente Empinadas	1
3	5°-15°	Moderadas	2
4	15°-25°	Moderadamente Empinadas	3
5	25°-35°	Empinadas	4
6	> 35°	Muy Empinadas	5

11.2.4 Geomorfología

De acuerdo a la **Tabla 9**, las geoformas de origen estructural son más susceptibles a FRM, al igual que escarpes o laderas de terrazas aluviales y de glaciares, por lo cual reciben un mayor peso, mientras relieves planos o formaciones naturales tienen menor peso.

Tabla 9. Valoración de la geomorfología

S	UNIDAD	Peso
F1	Aluvial de Cañada	2
A2	Llenos Mecánicos	4
A1	Canteras	3
D4	Depósitos de Ladera	4
D1	Laderas Denudacionales	3
F4	Laderas de Cañadas	3
D2	Laderas Escarpadas	3
D3	Lomos Denudacionales	2
V1	Superficies de Glacis	3

11.2.5 Forma de las pendientes

Esta variable, obtenida por medio de filtros aplicados al MDT, nos permite investigar sobre las formas de las pendientes adjudicando un peso mayor a las convexas por ser las más susceptibles a FRM y menor, a las rectas o planas (**Figura 13**).

Tabla 10. Valoración de la forma de las pendientes

FORMA	PESO
Cóncavas	2
Convexas	4
Rectas y Planas	3

11.2.6 Amplitud del Relieve

La amplitud del relieve se define como las máximas diferencias de altura entre los lechos de las corrientes y las divisorias de aguas y se relaciona como la máxima diferencia de altura del terreno por hectárea cuadrada.

Este mapa nos permite considerar zonas con mayor diferencia de alturas a las cuales se les asigna un peso considerable comparado con un menor peso en el caso de diferencias de altura pequeñas (**Figura 14**)

Tabla 11. Valoración de amplitud del relieve

AMPLITUD DEL RELIEVE	Peso
MUY BAJA (0-4 m/ha)	0
BAJA (4-10 m/ha)	1
MODERADA (10-20m/ha)	2
MEDIA (20-28 m/ha)	3
ALTA (28-35 m/ha)	4
MUY ALTA (>35 m/ha)	5

11.2.7 Factor de Humedad (Sh)

El valor del factor de humedad (Sh) resulta de la clasificación de valores promedio mensual de los índices de precipitación. Para el caso de La Tebaida se determinó un valor de 2.

11.2.8 Detonante por Intensidad Precipitación (Tp)

Este factor de intensidad por precipitación resulta de la clasificación de precipitaciones máximas diarias para un período de retorno de 100 años con base en el promedio de valores máximos anuales de precipitación (duración un día), aplicables solamente en caso de poca disponibilidad de registros en cuestión temporal (Mora, S., Vahrson, W., 1992). Para el caso de La Tebaida se encontró un valor de 2.

11.2.9 Detonante por sismicidad (Ts)

Con el fin de valorar los movimientos sísmicos como factor detonante, se definieron valores de intensidad (en escala de Mercalli Modificada) los cuales corresponden a un valor específico de acuerdo a la metodología usada. Considerando que la amenaza sísmica se define normalmente con base en parámetros de aceleración o de velocidad, fue necesario evaluar un valor de intensidad equivalente.

De acuerdo con las investigaciones realizadas por MacGuire (1974), el estudio de la Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán (1992) y el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá (1997) hay una correlación de los valores de aceleración con la velocidad de la siguiente forma:

$$\frac{a}{v} = \left(\frac{83.7}{(R + 25)^{0.1}} \right) e^{-0.28M}$$

donde:

a	= Aceleración	(m/seg ²)
v	= Velocidad	(m/seg)
R	= Distancia focal	(Km)
M	= Magnitud	(Ms)

Teniendo en cuenta algunas consideraciones y simplificaciones se encontró que para Popayán:

$$\frac{a}{v} = 54e^{-0.28M}$$

Debido a la similitud entre las regiones de estudio y considerando que son zonas con ambientes geológicos y tectónicos parecidos, se decidió tomar las mismas ecuaciones para la Región del Quindío, donde:

$$\frac{a}{v} = 7$$

De acuerdo con Newmark y Rosenblueth (1971), la Intensidad I expresada en escala de Mercalli Modificada es:

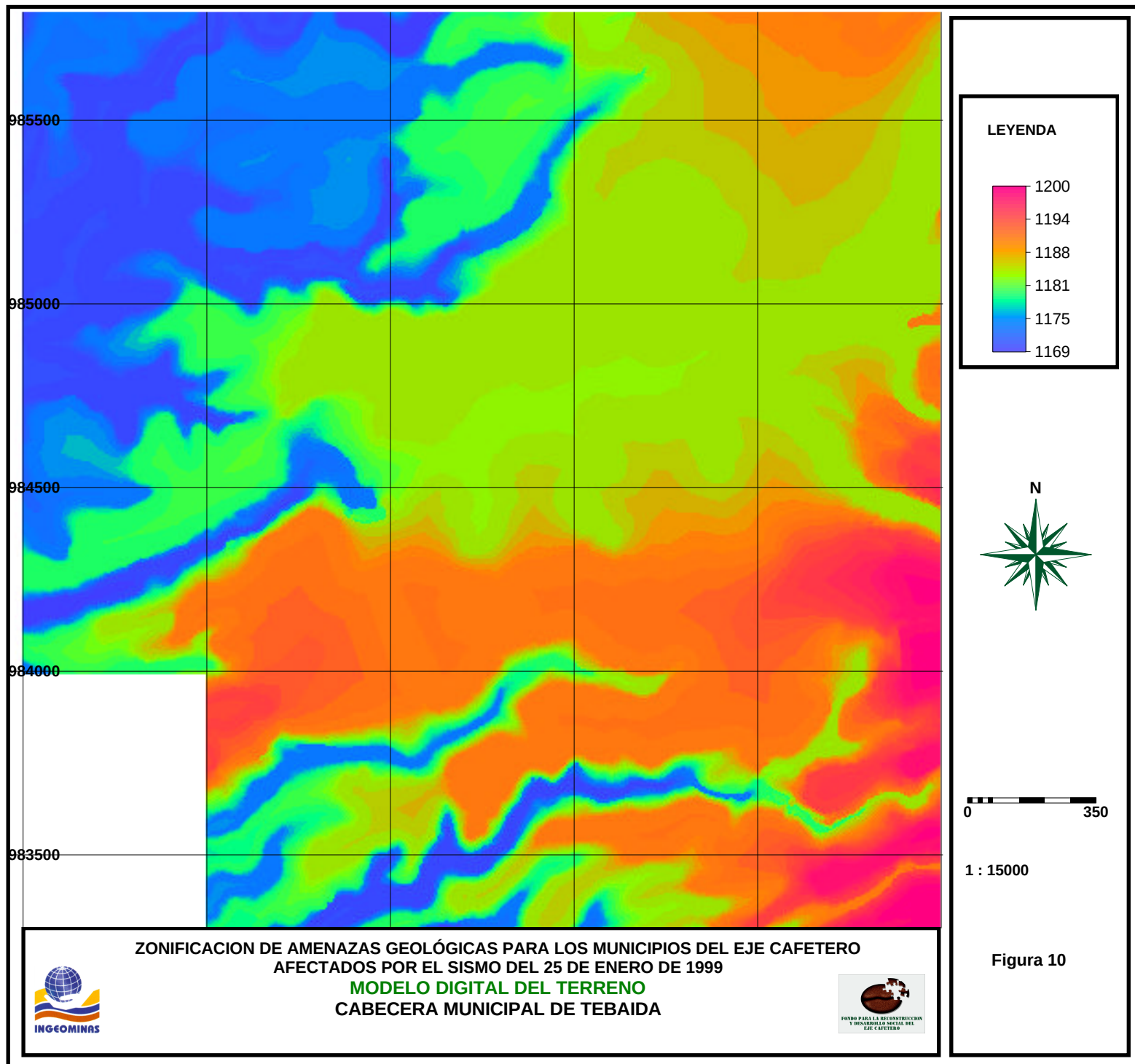
$$I = \frac{\text{Log}(14v)}{\text{Log}(2)}$$

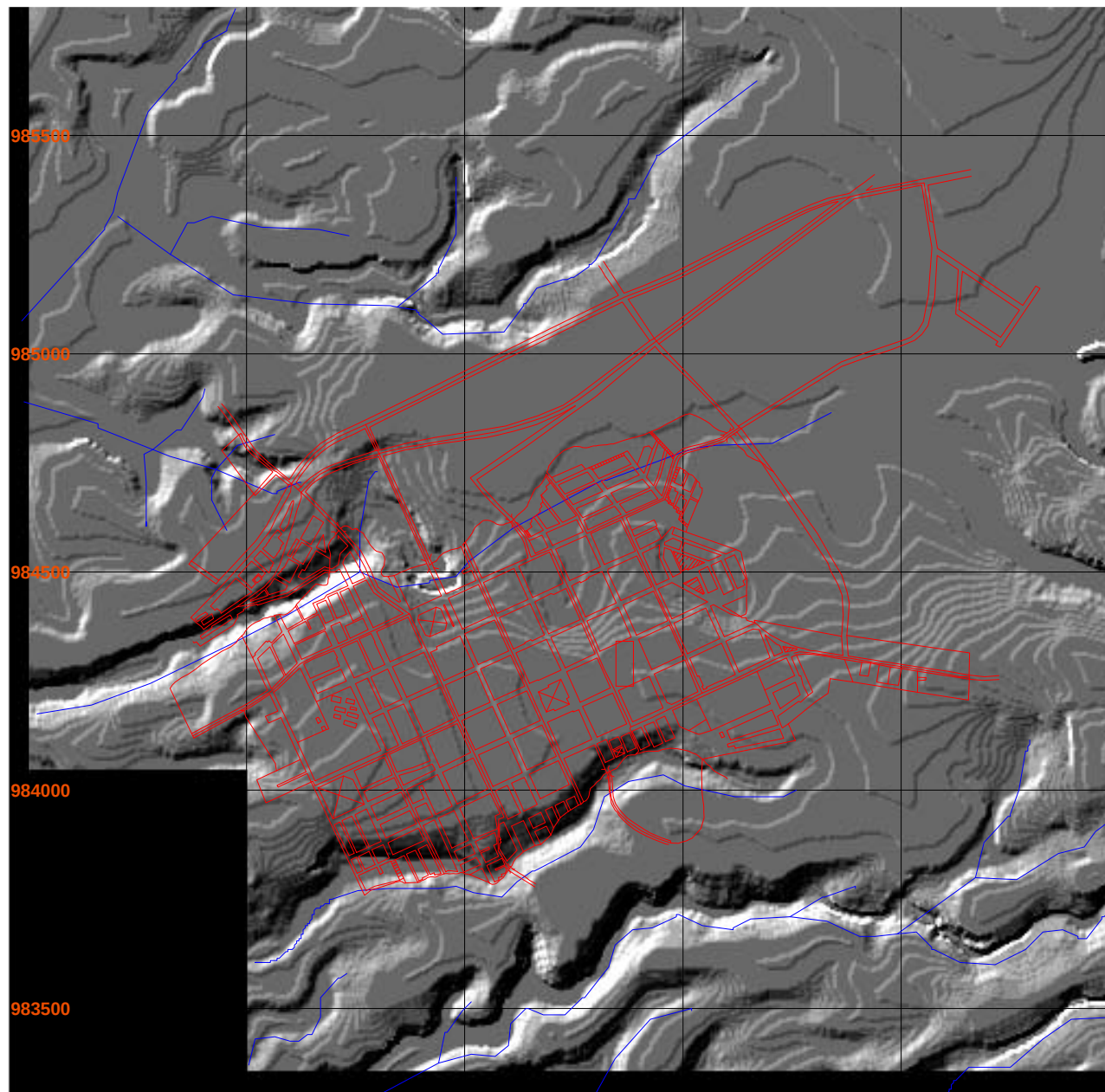
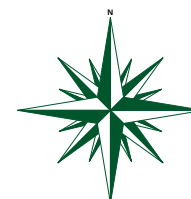
Con estas indicaciones se procedió a obtener el valor de intensidad para el municipio de La Tebaida, partiendo del valor de aceleración máxima probable a nivel de roca correspondiente a un período de retorno de 100 años, dado por la evaluación de la amenaza sísmica regional así:

Periodo de Retorno, Tr	100 años
Aceleración Máxima Probable	0.16 g
Intensidad (Escala Mercalli Modificado)	VIII
Factor Ts (según metodología de Mora)	6

11.2.10 Geotecnia

Aquí se consideran las características geotécnicas generales de los suelos superficiales y de algunas zonas con llenos antrópicos y son consideradas dentro de la calificación del mapa de Unidades Superficiales.





0 350

1 : 15000

ZONIFICACION DE AMENAZAS GEOLÓGICAS PARA LOS MUNICIPIOS DEL EJE CAFETERO
AFECTADOS POR EL SISMO DEL 25 DE ENERO DE 1999

MAPA DE SOMBRAS

CABECERA MUNICIPAL DE TEBAIDA

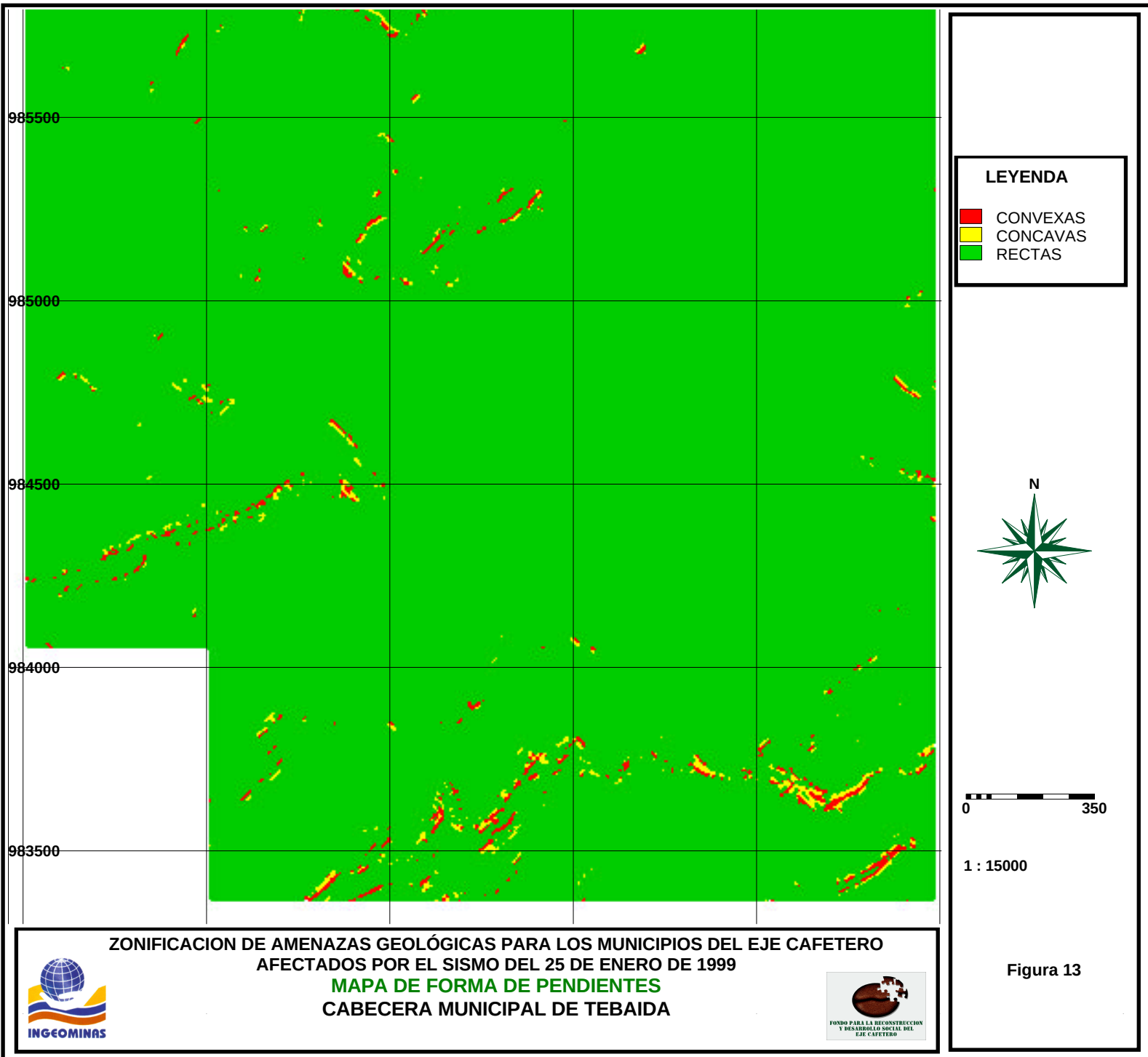


Figura 11



VISTA TRIDIMENSIONAL HACIA EL NORTE DE LA TEBAIDA

FIGURA 12



985500

985000

984500

984000

983500

LEYENDA

- Muy Alto (> 35 m/ha)
- Alto (28-35 m/ha)
- Medio (20-28 m/ha)
- Moderado (10-20 m/ha)
- Bajo (4-10 m/ha)
- Muy Bajo (0-4 m/ha)



0 350

1 : 15000

ZONIFICACION DE AMENAZAS GEOLÓGICAS PARA LOS MUNICIPIOS DEL EJE CAFETERO
AFECTADOS POR EL SISMO DEL 25 DE ENERO DE 1999

MAPA DE AMPLITUD DEL RELIEVE
CABECERA MUNICIPAL DE TEBAIDA



Figura 14

11.3 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Una vez concluida la valoración de los diferentes niveles de observación, considerando la metodología de Mora y Vahrson (1992) y las condiciones de escala del proyecto se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{AMENAZA} = (PI + Pf + Pp + Pr + Pg + Pc + Sh) * (Ts + Tp)$$

Siendo **PI** el peso dado a los materiales superficiales de acuerdo a sus características geológicas y geotécnicas, Pf el peso dado a las formas del relieve, Pp el peso dado a la inclinación del terreno, Pr el peso dado al factor de amplitud del relieve en metros por hectárea cuadrada, Pg el peso dado a las geoformas, Pc el peso dado a la cobertura del suelo, Sh peso por factor de humedad, Ts el peso dado por amenaza sísmica y Tp el peso dado por intensidad de precipitación. Mediante la creación de un dominio de grupo que se denominó “amecla” (**ver Tabla 12**) se ejecutó la clasificación de este mapa y finalmente se le aplicó un filtro denominado Majority (utilizando filtro de 5x5), para homogenizar la información haciendo análisis de vecindad de píxeles.

Tabla 12. Dominio de grupo “Amecla”, utilizado para clasificar el mapa final en donde se combinaron las nueve variables.

CLASE	LIMITE
BAJA	97
MODERADA	127
ALTA	157
MUY ALTA	200

11.4 CATEGORÍAS DE LA AMENAZA POR FRM

11.4.1 Muy Alta

Vertientes naturales y taludes artificiales con pendientes mayores a 30° que incluyen movimientos en masa activos y antiguos. Son terrenos donde frecuentemente se pueden originar movimientos en masa o reactivación de movimientos. En ocasiones están asociados a zonas cizalladas por fallas geológicas.

Los ensayos geotécnicos de laboratorio permiten ratificar estas áreas como de terrenos inestables.

11.4.2 Alta

Incluye laderas de pendiente media a alta, con evidencias de antiguos movimientos en masa sujetos a presentar su reactivación con precipitaciones máximas de recurrencia mayor a 100 años.

Se presentan aquí ocasionalmente fenómenos erosivos laminares, surcos, cárcavas, hondonadas y movimientos en masa lentos (terracetas o pisadas de vaca y reptación). Los ensayos geotécnicos de laboratorio codifican estos terrenos como zonas de calidad baja a muy baja y de inestabilidad latente.

11.4.3 Media

Sectores sin evidencia de movimientos en masa actuales o antiguos que pueden, por cambios de uso del suelo o dinámica de la corteza terrestre, alterar su estabilidad especialmente en laderas con inclinaciones mayores de 5 grados. La geotecnia califica estos sectores como de calidad media.

11.4.4 Baja

Zonas con pendientes planas a ligeramente inclinadas. Los ensayos geomecánicos indican buena estabilidad relativa del terreno, condicionada a que ocasionalmente pueden incluir, por falta de información o investigación, llenos antrópicos mecánicos o sanitarios, áreas de guaqueo o erosión subterránea, fenómenos que podían producir subsidencia en estos sectores.

Los resultados obtenidos en el presente estudio (**Ver Mapa 3. Anexo 4**), se han enfocado principalmente desde un punto de vista geológico-geotécnico, con base en la correlación de información: morfométrica, geomorfológica, dirección de las pendientes, forma de las pendientes, amplitud del relieve y llenos antrópicos.

11.5 APTITUD INDICATIVA DEL TERRENO PARA LA CONSTRUCCIÓN

Mediante el uso de una tabla bidimensional en el SIG ILWIS se pudo establecer una relación general de parámetros de los mapas de amenaza por FRM y Materiales Superficiales (Geología, Geotecnia). Esta zonificación no contempla amenaza volcánica, por inundaciones y avalanchas (**Mapa 4. Anexo 4**).

11.5.1 Zonas de Baja Aptitud

Zonas no recomendadas para construir, aún siguiendo la Norma Sismo Resistente, NSR-98, y efectuando estudios de campo y laboratorio que amplíen las investigaciones de propiedades dinámicas de materiales efectuadas por INGEOMINAS y la Universidad del Quindío en aspectos de interacción suelo-estructura, efectos topográficos que amplifiquen las señales sísmicas y estabilidad de laderas. Aún con estos estudios detallados, la construcción puede resultar de alto riesgo y desventajosa en relación costo-beneficio, en particular en cercanías a Zona de Materiales fracturados o cizallados, llenos de

características geomecánicas muy pobres, en lugares de muy altas pendientes, o en donde se unen estos elementos negativos.

Sin embargo si alguien insiste en llevarlas a cabo, puede hacerlo pero deberá realizar estudios locales detallados y cumplir todas las normas mencionadas. Requiere como norma el confirmar el espesor de los materiales del subsuelo, la posición de la tabla de agua y tener por lo menos dos perforaciones que penetren 5m en los flujos volcánicos; esto es particularmente importante para los llenos antrópicos.

11.5.2 Zonas De Aptitud Media

Zonas de moderada aptitud para construir, siguiendo la Norma Sismo Resistente, NSR-98 efectuando estudios de campo y laboratorio adicionales a los efectuados por INGEOMINAS y la Universidad del Quindío, que establezca para cada sitio en particular las propiedades dinámicas del material, la interacción suelo-estructura, los efectos topográficos que amplifiquen las señales sísmicas y la de estabilidad de laderas. Requiere como norma el confirmar el espesor y secuencia de los materiales del subsuelo, la posición de la tabla de agua, y tener por lo menos una perforación que penetre un mínimo de 3m en los flujos volcánicos; esto es particularmente importante para los llenos.

11.5.3 Zonas Aceptables con Restricciones

Zonas con algunas restricciones, pero adecuadas para construir, siempre y cuando se aplique la Norma Sismo Resistente, NSR-98, y se efectúen estudios de campo y laboratorio que establezcan para cada sitio en particular las propiedades dinámicas del material. Requiere como norma el confirmar el espesor de los materiales del subsuelo, la posición de la tabla de agua, y tener por lo menos una perforación que penetre un mínimo de 3m en los flujos volcánicos.

11.5.4 Zonas Aceptables

Zonas aptas para la construcción, siguiendo la Norma Sismo Resistente, NSR-98. Requiere como norma el confirmar el espesor y secuencia de los materiales del subsuelo, la posición de la tabla de agua, y tener por lo menos una perforación que penetre 1m en los flujos volcánicos.

Tabla 13. Bidimensional Aptitud Uso del Suelo

Unidades Superficiales	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
<i>Qal</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>
<i>Qpc</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>Qlm</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>D</i>
<i>Qsr</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>D</i>

Aptitud	
Baja	D
Media	C
Aceptable con restricciones	B
Aceptable	A

12 BIBLIOGRAFÍA

ANDERSON, E. M. 1942. "The Dynamics of Faulting", Primera Edición. Edinburgo. Oliver y Boyd.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, INGEOMINAS, UNIANDÉS, 1998. "Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia", Segunda Edición INGEOMINAS, Bogotá.

ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS-1997). Normas de Construcciones Sismo-Resistentes AIS-100, Santa Fe de Bogotá.

ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS-1997). Universidad de los Andes, INGEOMINAS. "Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia". Publicación Especial. INGEOMINAS. Santa Fe de Bogotá.

BOORE A.M., (1972) "A note on the effect of simple topography on seismic SH waves". Bull. Seismi. Soc. Am. 62, pp. 275-284.

BOUCHON M., (1973). Effect of topography on surface motion. Bull. Seismi. Soc. Am., 63, pp. 615-632.

C.R.Q. (1997). Identificación y caracterización macroscópica de la secuencia de tefras de la ciudad de Armenia. Trabajo desarrollado por Duyoner M. y Aguirre Y, Armenia.

CELEBI M. (1987). "The culprit in Mexico city; amplification of motions". Earthquake Spectra, Vol. 3, No. 2, May.

CONTE E., DENTE G., (1992). Amplification effects of wave propagation in slopes, proceedings of the French – Italian Conference on Slope Stability in Seismic Areas, Burdighera – Italy, May.

CRQ, (1997). Universidad de los Andes, "Microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Armenia". Armenia.

FAO – Guideline's for soil description, Rome, Italy.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION DEPARTMENT OF THE INTERIOR USA Hydraulic design of Culverts.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA 1993. Manual de Uso de Fotografías Aéreas. Editorial Presencia. 54 p.

FORERO DUEÑAS C. A., & BOOTH A, 1995. "Hazards Evaluation During Emergency Situations", Memorias, 31^{ava} Conferencia Anual del Grupo de Geología para Ingeniería de Inglaterra, Publicación Especial de la Sociedad Geológica de Londres, Coventry, Inglaterra.

FORERO DUEÑAS, C.A 1998. "Characterisation of a silica gel as a geotechnical cement" Tesis Doctoral. Imperial College, Londres.

GONZALEZ , H., NUÑEZ, A (1991). Mapa geológico generalizado del Departamento del Quindío. Escala 1:100.000, INGEOMINAS. Bogotá.

GONZÁLEZ H., NUÑEZ A, 1991. "Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Quindío, escala 1:100.000, memoria explicativa de geología y recursos minerales", INGEOMINAS, Bogotá, 42 p.

H. TH. VERSTAPPEN & R.A. VAN ZUAIDAM (1975). The ITC system of geomorphological mapping. ITC Textbook VII-2.

H. TH. VERSTAPPEN (1983). Applied geomorphology, Elsevier, Amsterdam.

HENAO, J., & SÁNCHEZ, F., (1998) Evaluación de la distribución de depósitos antrópicos en las laderas de las cañadas en la Ciudad de Armenia. CRQ - Universidad de Caldas.

IGAC, 1992. Análisis y Clasificación del Uso y Cobertura de la Tierra con Interpretación de Imágenes.

IGAC; 1980, Diccionario Geográfico de Colombia, Tomos I y II Bogotá.

INGEOMINAS (1999). "Zonificación Sismogeotécnica Indicativa para la Ciudad de Armenia", Santa Fe de Bogotá.

INGEOMINAS (1999). "Terremoto del Quindío, Enero 25 de 1999, Informe Técnico Preliminar 1", Santa Fe de Bogotá, febrero 8.

INGEOMINAS (1999) "Terremoto del Quindío, Enero 25 de 1999, Informe Técnico Preliminar 2", Santa Fe de Bogotá. marzo 2 .

INGEOMINAS, (1999). El Terremoto del Quindío (Enero 25 de 1999), Informe Técnico Científico. Volumen II: Zonificación Sismo-geotécnica Indicativa de Armenia–Quindío, Capítulo 5: Geotecnia, por Forero Dueñas y Carrillo Lombana, Bogotá.

INGEOMINAS, 1999. Geología de la Zona del Eje Cafetero, escala 1:200.000, Bogotá.

INGEOMINAS, 1999. Mapas geológicos Cabeceras municipales, Pijao, Córdoba, Argelia, Buenavista, Cajamarca, Quimbaya, Montenegro, Barcelona, La Tebaida y Calarcá. Escala 1:2000, (Inéditos) Bogotá.

INGEOMINAS, Universidad de los Andes (1997). "Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá". Publicaciones especiales INGEOMINAS. Santa Fe de Bogotá.

INGEOMINAS, 1996. "Actividad Neotectónica en el Departamento del Quindío con énfasis en la Falla de Armenia", Vergara H., Moreno M., Avila G., Ibagué, 105 p.

INGEOMINAS, 1992. "Evaluación de Amenazas Geológicas y Zonificación Geotécnica preliminar de la ciudad de Armenia", Moreno M., Vergara H., Avila G., Ibagué, 105 p.

INGEOMINAS, 1992. "Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Municipios del Quindío", Informe presentado a la Corporación Regional del Quindío, Caballero H., Cossio U., Mejía I, Parra E.,.

INGEOMINAS, Comunidad Económica Europea (1992). "Microzonificación sísmica de Popayán". Publicaciones especiales INGEOMINAS. Santa Fe de Bogotá.

INGEOMINAS; 1992. Evaluación de amenazas geológicas en el área urbana del Municipio de Calarcá, Buenavista, Circasia, Filandia, Génova, La Tebaida, Montenegro, Quimbaya y Salento. Informe presentado a la Corporación Autónoma Regional del Quindío.

INTERPEX LTD. 1996. Programa de interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales, Resixp- Plus versión 2.0.

KRAMER, S (1996). "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall. USA.

M. J. MEIJERINK & VALENZUELA (1987). ILWIS: Integrated Land and Water shed Management System, Methodology Terrain, Soil Module Input, 2nd version, ITC, Enschede - Holland.

MACGUIRE (1974). "Seismic Structural Response Risk Analysis Incorporating Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance". MIT Department of Civil Engineering. Boston. USA.

McCOURT W., MOSQUERA D., NIVIA, NÚÑEZ A, 1984. "Mapa Geológico Preliminar de la Plancha 243 - Armenia, escala 1:100.000, memoria explicativa", INGEOMINAS, Bogotá.

MORA – VAHRSON (1994). "Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination" Bulletin of the Association of Engineering Geologists. Vol XXXI, No. 1

MOSQUERA D., 1984.et. al., "Mapa Geológico de la Plancha 243, escala 1:100.000, Armenia", INGEOMINAS, Bogotá.

NEWMARK, N., ROSENBLUETH E. (1971). "Fundamentals of Earthquake Engineering". Prentice Hall.

OHTSUKI A., YAMAHARA H., (1984). "Effect of topography and Subsurface inhomogeneity on Seismics SV waves and Rayleigh waves". VII World Conference on earthquake Engineering, Vol. 2, San Francisco.

PARIS, G; 1997; Fallas potencialmente sismogénicas que pueden afectar las obras del complejo vial y cruces a desnivel de la 2 da con avenida Bolivar y de la Cejita con avenida República del Líbano. Empresa Geológico-Minera Gabriel París. Alcaldía de Armenia, 93 pp.

PAYAN, M., BELTRAN, M., ARBOLEDA, D., CALLE, D., CAMARGO, J., ESCOBAR, O., MONTOYA, C., & POLANÍA, Y., (1994). Aproximación a la Microzonificación de Rellenos en la Ciudad de Armenia. Universidad del Quindío, Facultad de Ingeniería.

R.A. VAN ZUAIDAM & F. I. CANCELADO (1979). Terrain analysis and classification using aerial photographs, ITC, Textbook VII – 6.

RESTREPO, M.I., ALZATE, J.C., ARBOLEDA, D.F., NINCO, et al., (1994). Aproximación a la microzonificación de rellenos en la ciudad de Armenia. Universidad del Quindío, Facultad de Ingeniería Civil, inédito. Armenia.

RODRÍGUEZ E. E., 1990. “Respuesta Dinámica de Taludes Naturales Aplicado al Sistema Vial Colombiano”, Tesis de Grado para Magíster en Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

RODRÍGUEZ E. E., GONZÁLEZ A. J., 1988. “Amplificaciones Sísmicas debidas a efectos topográficos locales en los depósitos de la Formación Sabana aledaños a los Cerros Orientales de Bogotá”, V Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana, Bogotá.

SAUTER F. 1989. “Introducción a la Sismología”, Editorial Tecnológica de Costa Rica.

SCHOLZ, C.H. 1990. “The Mechanics of Earthquakes and Faulting”. Cambridge University Press,

SHAHIN M. (1980). Statistical Analysis in Hydrology.

SLEMMONS, D; 1997. Faults And Earthquake Magnitude. State Of Art for assessing earthquake hazards in the united states. University of nevada, report 6, 129 pp, Reno

SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS & SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA 1999. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Bogotá, Noviembre 3 al 5. Libro y CD, con la producción científica del INGEOMINAS en Armenia y el Eje Cafetero.

SOIL CONSERVATION SERVICE SCS (1972). National Engineering Handbook. Section 4. U.S. Department of Agriculture.

TELDFORD, W.M., GELDART L.P., SHERIFF, R.E. 1994. Applied Geophysics, second edition, Cambridge University Press, London, United Kingdom.

TERZAGUI, K., & PECK, R., (1976). Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda Edición, Editorial El Ateneo.

TERZAGHI, K & PECK, R. 1955. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. John Wiley & Sons.

UNITED STATES WATER RESOURCES COUNCIL. (1978) Guide Lines for Determining Flood Flow Frequency.

UNIVERSIDAD DE CALDAS, C.R.Q. (1998). Evaluación de la distribución de depósitos antrópicos en las laderas de las cañadas en la ciudad de Armenia. Manizales, Facultad de Ciencias.

VARNES, D. J. (1984), Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice, Commission on landslides of the IAEG, UNESCO. Natural Hazard No. 3, 61 pp.

VARNES, D. 1978. Slope movement and types and processes in landslides. Analysis and control. Edited by R.L. Schuster and R.J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington. Special report. 176: 11: 33

VENTE CHOW. (1964) Handbook of Applied Hydrology.

VENTE CHOW. (1959) Open Channel Hydraulics.

VERGARA H., 1996. "Actividad Neotectónica en el Departamento del Quindío con Énfasis en la Falla de Armenia", II Seminario de Sismotectónica del Noroccidente Colombiano, INGEOMINAS, Medellín, 13 p.

VERGARA, H., MORENO, M, 1996. Actividad neotectónica en el Departamento del Quindío, con énfasis en la Falla de Armenia. II Simposio de Sismotectónica del Noroccidente Colombiano. INGEOMINAS, Medellín, 10 p.

ANEXOS

TABLA DE CONTENIDO

1	GENERALIDADES	2
1.1	OBJETIVOS Y ALCANCES.....	2
1.2	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	3
1.3	LIMITACIONES	3
2	METODOLOGÍA GENERAL.....	4
2.1	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	4
2.2	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE MOVIMIENTOS EN MASA	4
2.3	MAPA DE AMENAZA SÍSMICA RELATIVA	6
2.4	ZONIFICACIÓN DE APTITUD INDICATIVA DEL TERRENO PARA LA RECONSTRUCCIÓN.....	6
2.5	ZONIFICACIÓN DE ÁREAS URBANAS PARA LA RECUPERACIÓN INMEDIATA	6
3	GEOLOGÍA.....	7
3.1	ESTRATIGRAFÍA.....	7
3.1.1	Llenos antrópicos (Ra)	8
3.1.2	Depósitos aluviales del cauce menor y mayor de las quebradas La Jaramilla y La Tulia (Qal)	8
3.1.3	Piroclastos de Caída (Qpc)	9
3.2	TECTÓNICA	11
3.3	IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS GEOLOGICAS POR MOVIMIENTOS EN MASA	12
3.3.1	Barrio Providencia.....	12
3.3.2	Sector de las calles 9 y 10 entre la carrera 6 y la Quebrada La Jaramilla	12
3.3.3	Barrio El Mangón.	13
3.3.4	Barrio Estación del Ferrocarril.....	13
3.3.5	Talud de corte de la línea del ferrocarril, frente al barrio La Estación del Ferrocarril.....	13
4	GEOMORFOLOGÍA.....	14
4.1	OBSERVACIONES	14
4.1.1	Formas de origen fluvial:.....	15
4.1.2	Formas de origen denudacional	15
4.1.3	Formas de origen volcánico	15
4.1.4	Formas de origen antrópico	15
5	ESTUDIO GEOELÉCTRICO.....	18
5.1	OBJETIVO.....	18
5.2	METODOLOGÍA.....	18
5.2.1	Diseño del estudio	18
5.2.2	Posicionamiento geográfico.....	18
5.2.3	Adquisición de datos de resistividad	18
5.2.4	Procesamiento e interpretación de datos geofísicos.....	18
5.3	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	19
5.3.1	Procesamiento de los datos	19
5.3.2	Interpretación y resultados.....	20
6.	COBERTURA DE SUELOS	21
6.1	MARCO TEÓRICO.....	21
6.1.1	Generalidades	21
6.1.2	Sistemas de clasificación de cobertura y uso de la tierra	22
6.1.3	La cobertura del suelo en las fotografías aéreas.....	23
6.1.4	La cobertura del suelo y los fenómenos de remoción en masa	24
6.2	METODOLOGÍA	25

6.2.1	Delimitación del área en estudio.....	25
6.2.2	Fotointerpretación	25
6.2.3	Transferencia de unidades.....	25
6.2.4	Descripción de las coberturas.....	25
6.3	RESULTADOS OBTENIDOS.....	26
6.4	SÍNTESIS.....	27
7	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	29
7.1	METODOLOGÍA DE ZONIFICACIÓN.....	32
7.2	CALIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	34
7.3	RESULTADOS DE LA CALIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA TEBaida	37
8	HIDROLOGÍA.....	39
8.1	PRECIPITACIÓN.....	39
8.2	INUNDACIONES.....	40
8.2.1	Quebrada La Jaramilla.....	40
8.2.2	Quebrada La Tulia.....	41
	Barrio Los Guayacanes.....	41
9	ZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA RELATIVA.....	43
9.1	EFFECTOS LOCALES DEBIDOS A EVENTOS SÍSMICOS.....	43
9.2	METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA INDICATIVA	45
9.3	RESULTADOS ENCONTRADOS.....	46
10	CONSIDERACIONES Y DATOS SOBRE LA AMENAZA VOLCÁNICA.....	48
11	EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	49
11.1	METODOLOGÍA.....	49
11.2	MODELAMIENTO DE VARIABLES	49
11.2.1	Materiales Superficiales.....	49
11.2.2	Cobertura del Suelo	50
11.2.3	Inclinación de Pendientes	50
11.2.4	Geomorfología	50
11.2.5	Forma de las pendientes.....	51
11.2.6	Amplitud del Relieve	51
11.2.7	Factor de Humedad (Sh)	52
11.2.8	Detonante por Intensidad Precipitación (Tp).....	52
11.2.9	Detonante por sismicidad (Ts).....	52
11.2.10	Geotecnia.....	53
11.3	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	59
11.4	CATEGORÍAS DE LA AMENAZA POR FRM.....	59
11.4.1	Muy Alta.....	59
11.4.2	Alta.....	60
11.4.3	Media.....	60
11.4.4	Baja	60
11.5	APTITUD INDICATIVA DEL TERRENO PARA LA CONSTRUCCIÓN	60
11.5.1	Zonas de Baja Aptitud	60
11.5.2	Zonas De Aptitud Media	61
11.5.3	Zonas Aceptables con Restricciones	61
11.5.4	Zonas Aceptables.....	61
12	BIBLIOGRAFÍA	63
	ANEXOS.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Orígenes Geomorfológicos	16
Tabla 2. Zonas de resistividad y correlación litológica	20
Tabla 3 Rangos establecidos para calificar los parámetros geotécnicos de resistencia, humedad y peso específico de sólidos, en las cabeceras municipales afectadas por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.....	35
Tabla 4. Calificación Geotécnica Relativa de las principales Unidades Geológicas Superficiales del casco urbano de La Tebaida, afectada por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.....	37
Tabla 5. Zonas de Amenaza Sísmica Relativa	47
Tabla 6. Valoración de Materiales Superficiales	50
Tabla 7. Valoración de cobertura del suelo.....	50
Tabla 8. Valoración de la inclinación del terreno	50
Tabla 9. Valoración de la geomorfología.....	51
Tabla 10. Valoración de la forma de las pendientes.....	51
Tabla 11. Valoración de amplitud del relieve	52
Tabla 12. Dominio de grupo “Amecla”, utilizado para clasificar el mapa final en donde se combinaron las nueve variables.....	59
Tabla 13. Bidimensional Aptitud Uso del Suelo	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de procesos para la zonificación de las cabeceras municipales.....	5
Figura 2. Mapa Geomorfológico.....	17
Figura 3. Mapa de Cobertura de Suelo	28
Figura 4. Exploración del Subsuelo y Caracterización Geotécnica a partir de Ensayos “in situ” en los municipios afectados por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.....	29
Figura 5. Caracterización Geotécnica a partir de Ensayos de Laboratorio efectuada por el INGEOMINAS y la Universidad del Quindío, en los municipios afectados por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.	30
Figura 6. Metodología seguida para la Calificación Geotécnica de los principales materiales del subsuelo, en las cabeceras municipales afectadas por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.....	33
Figura 7. Procedimiento de Calificación Geotécnica para cada Unidad Geológica Superficial, en las cabeceras municipales afectadas por el Sismo del Quindío, dentro del Proyecto FOREC- INGEOMINAS, 1999.	36
Figura 8. Ubicación de los sondeos geotécnicos y la exploración geoeléctrica.....	38
Figura 9. Casos típicos de amplificación por efectos topográficos	44
Figura 10. Modelo Digital del Terreno	54
Figura 11. Mapa derivado de Sombras.....	55
Figura 12. Vistas Tridimensionales	56
Figura 13. Forma de las Pendientes	57
Figura 14. Amplitud del Relieve.....	58