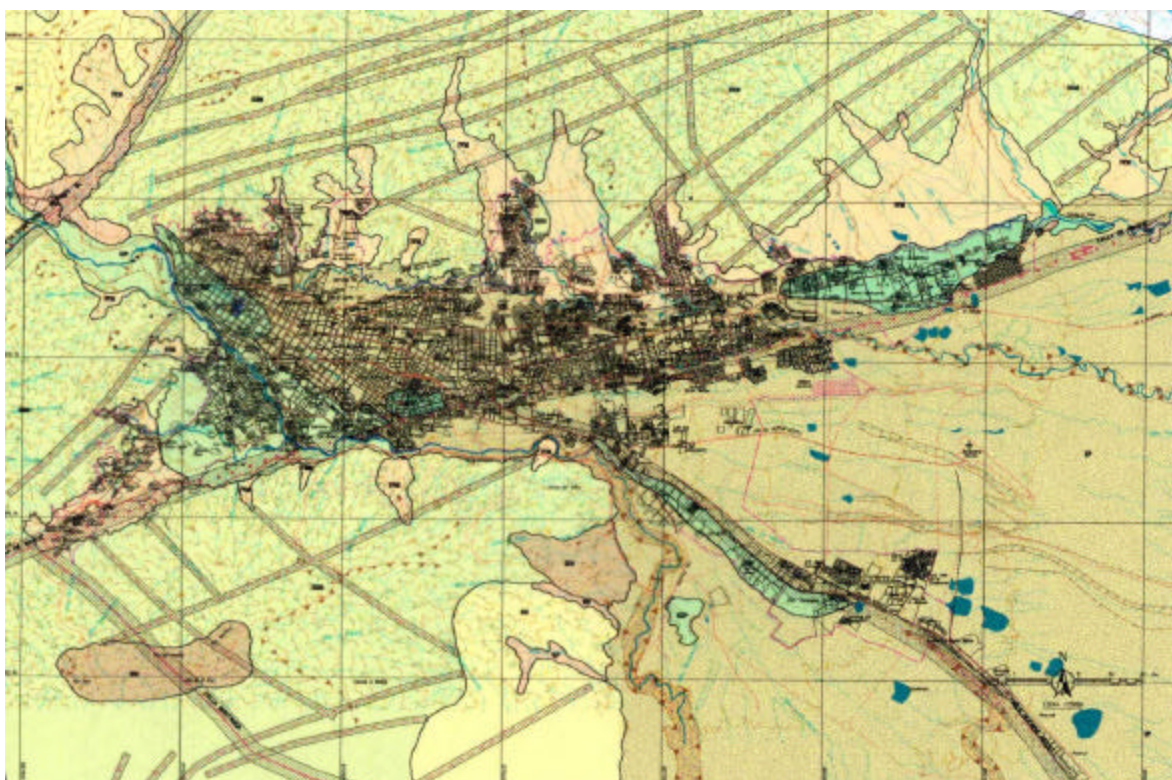


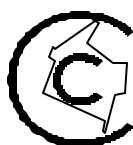
**ESTUDIOS DE AMENAZA Y MICROZONIFICACION SISMICA,
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL
Y
EVALUACION DE ESCENARIOS DE DAÑO**

**MICROZONIFICACION SISMICA PRELIMINAR DE
IBAGUE**



**RESUMEN EJECUTIVO
JULIO 2000**

**INSTITUTO GEOFISICO UNIVERSIDAD JAVERIANA
CONSULTORIA COLOMBIANA**



consultoría colombiana s.a.
ingenieros consultores

**PARTICIPANTES DEL PROYECTO MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
PRELIMINAR DE IBAGUÉ**

**CONVENIO : ESTUDIOS DE AMENAZA Y MICROZONIFICACIÓN
SÍSMICA, VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y EVALUACIÓN DE
ESCENARIOS DE DAÑO**

Coordinadores

Andrés José Alfaro Castillo
Instituto Geofísico Universidad
Javeriana.

Alvaro Torres Macías
Consultoría Colombiana S. A.

**Instituto Geofísico Universidad
Javeriana**

Patricia Andrea Escobar Bernales
Alfonso Mariano Ramos Cañón
Carlos Enrique Calpa Jimenez
John Jairo Guacaneme Bermeo
Ronald Eduardo Pinto Navarrete

Consultoría Colombiana S. A.

Jairo Alberto Espejo Molano
Marcela Jaramillo López
Jairo Roberto Junco López.
Guillermo Pabón Gutiérrez
Blanca Cecilia Jiménez V.
Alvaro Franco González
Marta Lucía Paéz.
María Antonia Afanador.

RESUMEN

El territorio de la ciudad de Ibagué está ubicado en la zona andina donde los mayores rasgos morfotectónicos son las cordilleras Central y Oriental y el valle del río Magdalena, accidentes relacionados con posibles fenómenos distensivos en el Jurásico y compresivos en el Cenozoico, a los que se asocia el levantamiento de las cordilleras y la depresión del Magdalena.

Ibagué se encuentra emplazada en una zona altamente amenazada por eventos sísmicos y volcánicos, el abanico aluvial de Ibagué cubre un área de aproximadamente 650 km², con una longitud de unos 40 km. sobre su eje longitudinal, siendo esta la más grande manifestación de la intensa actividad glacio - volcánica de la cordillera Central, durante el Holoceno y el Pleistoceno.

Por medio de la fotointerpretación de pares estereográficos y del análisis de la bibliografía existente se observa el trazo de la falla de Ibagué cruzando la zona urbana, con dirección W-E y clara presencia de escarpes en los cuales se evidencia el movimiento dextrolateral de la falla. Intersectando el anterior trazo de falla, y en el casco urbano, se encuentra el trazo de la falla de Buenos Aires, de dirección sureste, inferido por su expresión geomorfológica, con indicios de actividad después de la depositación del abanico fluvio volcánico, como posible corroboración del movimiento ya mencionado para la falla de Ibagué. El hecho de que las trazas de estas fallas crucen por zonas densamente pobladas, las hacen potencialmente peligrosas para los habitantes y la infraestructura en general de Ibagué.

Finalmente se realizó un examen conjunto de los aspectos tratados anteriormente unido con la morfología presente, y el análisis de la sismicidad histórica en el área de Ibagué, obteniéndose algunas zonas que manifiestan alta susceptibilidad a ser afectados en el momento que se presente un sismo de magnitud significativa.

Instituto Geofísico Universidad Javeriana

Consultoría Colombiana S.A.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo hace parte del Convenio Interinstitucional "Estudios de Amenaza y Microzonificación Sísmica, Vulnerabilidad Estructural y Evaluación de Escenarios de Daño" financiado por Consultoría Colombiana S.A. y por el Instituto Geofísico Universidad Javeriana.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	5
2. OBJETIVOS Y ALCANCE.	5
2.1 OBJETIVO GENERAL.	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	¡Error! Marcador no definido.
3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	6
4. ESTUDIOS PREVIOS.....	6
5. METODOLOGIA.....	8
6. EVALUACION SISMOGENICA.....	9
6.1. EVENTOS SÍSMICOS PREVIOS.....	9
6.1.2. Deslizamientos y otros fenómenos inducidos.....	11
7. MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO.....	12
7.1 GEOMORFOLOGIA.....	12
7.1.1 Metodología.....	12
7.1.2. Descripción de unidades geomorfológicas.....	12
7.1.3. Rasgos geomórficos.....	13
7.2. LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA.....	13
7.2.1 Rocas Metamórficas.....	14
7.2.2 Rocas ígneas.....	14
7.2.3 Depósitos cuaternarios.....	14
7.3. ESTRUCTURAS TECTONICAS.....	15
7.3.1. Estructuras tectónicas activas y potenciales.....	15
7.4. CARACTERIZACION GEOTÉCNICA.	16
7.4.1. Metodología.....	16
7.4.2. Definición de unidades existentes.....	16
8. MICROZONIFICACIÓN SISMICA PRELIMINAR.....	19
8.1. METODOLOGÍA.....	19
8.2. SUSCEPTIBILIDAD POR CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	20
8.3. RESULTADOS.....	20
8.4. FENÓMENOS INDUCIDOS.....	21
8.4.1. Deslizamientos.....	21
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
REFERENCIAS.....	23

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Relación de Cartografía y Fotografías Aéreas
- Tabla 2. Leyenda de las Zonas Geomorfológicas de Ibagué
- Tabla 3. Zonificación Geotécnica en la Zona Montañosa de Ibagué
- Tabla 4. Zonificación Geotécnica en la Zona Plana de Ibagué

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Base Cartográfica de la ciudad de Ibagué (Plano 1/5)
- Figura 2. Distribución Espacial de Sismos con la Magnitud
- Figura 3. Geología de la Ciudad de Ibagué (Plano 2/5)
- Figura 4. Geomorfología de la Ciudad de Ibagué (Plano 3/5)
- Figura 5. Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Ibagué (Plano 4/5)
- Figura 6. Microzonificación Sísmica Preliminar de la Ciudad de Ibagué (Plano 5/5)

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE IBAGUÉ

1. INTRODUCCION.

Ibagué esta sobre el denominado cono de Ibagué a orillas del río Combeima, a los 04° 26' 20" latitud norte y 75° 13' 56" longitud oeste. A una altura de 1.248 m.s.n.m., con una precipitación media anual de 2.180 mm. Dista 212 km. de Bogotá. El área municipal es de 1.439 km² como se puede ver en la figura 1. Ibagué es una ciudad que supera los 356.000 habitantes según datos preliminares del censo de 1993 (IGAC, 1996), se encuentra situada en la zona centro-oeste de Colombia entre los valles de los ríos Magdalena y Cauca de la cordillera Central.

Ibagué se encuentra localizada en un área afectada por fallas que originaron el levantamiento de las cordilleras Central y Oriental, algunas de ellas presentan evidencia en el cuaternario, por lo tanto son potencialmente peligrosas para la generación de sismos; entre estas se encuentran las fallas de Palestina, Martinica, Buenos Aires, Chapeton-Pericos e Ibagué. Las fallas de Buenos Aires e Ibagué atraviesan el casco urbano de la ciudad.

Eventos previos muestran que es una zona propensa a la actividad sísmica (Ramírez, 1975), los estudios de amenaza sísmica catalogan a Ibagué con nivel de amenaza alta, con aceleraciones pico esperadas de 20 % de la gravedad (AIS *et al.*, 1996).

Hacia el noroeste el relieve es muy quebrado y en su jurisdicción se encuentran parte del nevado del Tolima y del volcán del Quindío; hacia el sur la pendiente disminuye en el piedemonte cuya forma más importante es el abanico fluvio-volcánico de Ibagué. El nevado del Tolima (Latitud 4° 39' N. y Longitud 75° 22' W) es un cono truncado que mide unos 5.525 metros de altura, con nieve perpetua desde los 4.700 metros, y con algunas fumarolas en los flancos meridionales. El cono del volcán esta compuesto de capas de lava y de rocas andesíticas y dacíticas (Ramírez, 1968). A unos 13 Kilómetros del nevado del Tolima, hacia el Suroeste, se destaca el volcán El Machín con algunas sulfataras y sublimación de azufre (Ramírez 1968).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Realizar la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Ibagué a partir de investigaciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y sismológicas realizadas anteriormente, análisis de información recopilada, eventos sísmicos previos y deslizamientos, a fin de obtener una aproximación sobre el comportamiento dinámico de diferentes zonas en la ciudad en caso de un sismo.

3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

Debido a la interacción de las diferentes placas tectónicas que convergen en el costado noroccidental de América del Sur, Colombia se ha visto sometida a la acción de movimientos relativos entre ellas, como consecuencia directa de la dinámica de este ambiente geotectónico, se han originado diversos terremotos, los cuales han afectado en diferentes niveles la infraestructura de las ciudades. Esta situación sumada a otras fuentes sismogénicas menores, como son el vulcanismo y los fallamientos geológicos activos en el interior de las placas tectónicas, genera una amenaza inminente para algunas poblaciones.

Dada la importancia que tiene la prevención de desastres y a fin de dar respuesta a la necesidad de realización de un estudio que permita llegar a este tipo de objetivos en Ibagué, se plantea la presente microzonificación sísmica preliminar de la ciudad, realizada en conjunto por Consultoría Colombiana S.A. y el Instituto Geofísico Universidad Javeriana, la cual busca a partir de investigaciones previas, realizar un estudio que por medio del análisis de dicha información y adaptando un procedimiento desarrollado por la Association Francaise du Genie Parasismique-AFPS (1995), presente una primera aproximación de la microzonificación sísmica de la ciudad, la cual permita tener conocimientos básicos acerca de las características de las diferentes zonas de amenaza de la ciudad y su comportamiento en caso de un sismo.

4. ESTUDIOS PREVIOS.

Ibagué ha sido objeto de estudio por diversas entidades, tanto en términos geológicos como tectónicos, en forma puntual, local o regional. A continuación se señalan los estudios previos más relevantes, siendo la mayor parte referente a la geología regional del departamento de Tolima.

Houten y Travis (1968) realizaron un estudio de la geología de los depósitos Cenozoicos del valle superior del Magdalena. En ese mismo año, Ramírez realiza un estudio donde intervienen la totalidad de volcanes presentes en el territorio colombiano, en el que se encuentra un importante aporte a los eventos que dieron origen a los episodios de actividad volcánica en la cordillera central, donde se encuentra ubicado Ibagué. Barrero (1969) trata de la Petrografía del Stock de Payandé y metamórfitas. Feininger (1970) realiza un estudio sobre la falla de Palestina, ese mismo año Wellman realizó un estudio sobre la petrología y estratigrafía del grupo Honda perteneciente al Mioceno en el Valle Superior del Magdalena Medio. El CIAF publica algunos estudios acerca del Desarrollo Geomorfológico de la Región de Ibagué – Girardot (Soeters, 1976).

En 1978, Nuñez elabora un estudio acerca de la petrogénesis del batolito de Ibagué; en tanto que Cediell et al., (1980) realizaron la definición Estratigráfica del Triásico en Colombia. Formación Luisa, Payandé y Saldaña.

En 1983 con la Unidad de Geología y Geomorfología y el Centro Interamericano de Fotointerpretación, González et al., desarrollaron el Proyecto de Memorias de las áreas al Sur Oriente de Ibagué. Guevara en 1985 realiza un estudio fotogramétrico y estratigráfico de una zona localizada el sur de Payandé

En los estudios realizados por AIS (1984) y AIS et al. (1996) se le asignó un porcentaje de incidencia en las fallas para cada una de las ciudades capitales en Colombia a la amenaza sísmica específica.

Otras instituciones han realizado estudios del área; el departamento de geología de la Universidad Nacional de Colombia en 1985 publicó un estudio acerca del origen del abanico de Ibagué, realizado por Acosta y Ramírez, donde estudian la geomorfología general del abanico, el marco geológico, la descripción de la sedimentología, geología estructural y modelos de desarrollo del abanico de Ibagué. Macias et al. (1985) publican el documento Consideraciones sobre la Prospección de Hidrocarburos en el Valle Superior del Magdalena, sumado a lo anterior, Thouret et al. (1985) publican los aspectos volcanicos estructurales y dinamismo eruptivo reciente de los volcanes Cerro Bravo y Nevado del Tolima ubicados en la Cordillera Central de Colombia.

En 1986 Murcia y Vergara realizan una investigación acerca de los riesgos potenciales para Ibagué, posteriormente Diederix et al. (1987) realizan un estudio de neotectónica sobre la falla de Ibagué para determinar la rata de desplazamiento y el grado de actividad de la misma en el sector Ibagué Piedras.

Vergara (1989a, 1989b) realizó una importante investigación acerca de las fallas de Ibagué, Chapetón, Cucuana y de la geología del área; como se puede ver en el estudio de la Actividad Neotectónica de la Falla de Ibagué.

Ingeominas ha realizado diferentes estudios para esta zona del país; Mora y Talabera en 1991 realizan un estudio fotogeológico de un área al sur de Ibagué en el que se muestra la geología y geomorfología de la región. Posteriormente en 1992 aparece publicado por Moreno y Vergara el Estudio Geológico-Geotécnico de la Cuenca del río Combeima. Igualmente, esta misma entidad en 1992 desarrolla un estudio de la zona urbana de Ibagué desde el punto de vista geológico y geotécnico en donde se especifican sitios donde las características del terreno no son recomendadas para la continuación o el desarrollo e la construcción. En zonas aledañas a Ibagué se han realizado estudios interesantes sobre la estructura y evolución tectónica del valle medio y superior del Magdalena como el desarrollado por Mojica y Franco en 1992. Un plano Geológico del departamento del Tolima elaborado en 1996 se publicó por

parte de Ingeominas en donde se muestra las modificaciones y actualizaciones realizadas del marco geológico de la zona de interés del presente estudio.

Cárdenas y Vergara en 1999 publicaron un artículo acerca de la Neotectónica del Departamento del Tolima haciendo especial énfasis en la falla de Cucuana.

Finalmente Jaramillo *et al.* (2000) recopilaron y analizaron la información existente y generaron un modelo geológico para la ciudad de Ibagué.

A pesar de la gran cantidad de bibliografía y estudios consultados, no se encontró para la ciudad de Ibagué un estudio que permita diferenciar zonas con respuesta dinámica similar ante la ocurrencia de un sismo.

5. METODOLOGIA.

La investigación tanto en su alcance como en su procedimiento se llevó a cabo teniendo como guía la norma para estudios de microzonificación sísmica de la Association Francaise du Genie Parasismique. AFPS (1995). El procedimiento a seguir estuvo basado principalmente por el expuesto en dicho documento en lo que este denomina un estudio de nivel A, el cual se fundamenta en la recopilación e interpretación de la información disponible.

El primer paso consistió en hacer una revisión de eventos sísmicos previos ocurridos en el área, a fin de ubicar posibles zonas susceptibles a efectos locales, realizando para esto un proceso de recopilación y análisis de la información de interés, contenida en los diversos catálogos y registros de los eventos sísmicos sentidos en Colombia como lo son los catálogos del proyecto SISRA (Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina) generado por el CERESIS (Centro Regional de Sismología para América de Sur), así como catálogos sísmicos del PDE (Preliminary Determination of Epicenters) consultados de la página web del USGS (2000).

Adicionalmente a estos catálogos se consultó bibliografía disponible en diferentes entidades, así como reportes en periódicos relacionados con registros históricos, a fin de determinar los daños causados por los sismos sentidos en el área de interés y así ubicar a partir de la localización, magnitud e intensidad de los daños en el área urbana de Ibagué, posibles zonas susceptibles a efectos locales.

A continuación se realizó un análisis de la información recopilada referente a la geología, geomorfología y geotécnica de la ciudad de Ibagué a fin de establecer la posibilidad de generación de fenómenos locales inducidos por sismos tales como deslizamientos y licuefacción. Para este fin y en general para todo el proceso de obtención de información, se consultaron principalmente entidades en las cuales se

han realizados estudios relacionados como Ingeominas, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, entre otras.

Adicionalmente se dispuso de cartografía IGAC (1967a, 1967b, 1989, 1993), de la base digital Moreno (2000) y se realizó fotointerpretación geológica y geomorfológica de fotografías áreas del IGAC (1991) (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de cartografía y fotografías aéreas

Fuente	Escala	Descripción
IGAC	1:25.000	244-II-D, 1967 244-IV-B, 1967
	1:10.000	Plano Urbano de la ciudad de Ibagué, 1989
	1:10.000	Plano Urbano de la ciudad de Ibagué, 1993
DANE		Base Digital, 2000

Vuelo	Sobre	Escala aproximada	Fecha de Toma	Fotos Nos
C-2465	36193	1:42.800	21/11/91	112 – 115
C-2465	36196	1:43.700	21/10/91	165 – 169

Con esta información se determinaron los siguientes aspectos:

- Estructuras Tectónicas Activas
 - Estructuras tectónicas activas identificadas.
 - Estructuras tectónicas activas no identificadas.

Con la información obtenida se generaron modelos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, en dichos modelos se buscó recopilar la información de espesores de las diferentes formaciones geológicas y sus principales características mecánicas, por analogía con otras zonas conocidas.

6. EVALUACION SIMOGENICA.

6.1. EVENTOS SÍSMICOS PREVIOS.

En los estudios de amenaza sísmica es importante la investigación de los efectos de los eventos sísmicos previos en la zona de interés y las fuentes sismogénicas que los produjeron. Para ello, en un área de 10.000 km², con centro en Ibagué se ha evaluado los eventos sísmicos de los cuales se tiene información de varias fuentes (Ramírez, 1975; USGS, 2000).

En los catálogos de eventos sísmicos del SISRA se encuentran 127 eventos entre los años de 1595 y 1981; en el catálogo del PDE se encuentran 57 eventos entre los años 1973 a 1999. Los anteriores catálogos fueron extractados de USGS (2000). De este catálogo, en la figura 2 se observa las magnitudes de dichos eventos y su ubicación espacial. Existen eventos de una intensidad estimada de 6 o superior en la escala de Mercalli Modificada como los ocurridos el 12 de marzo de 1595, primero de enero de 1825, 9 de diciembre de 1829, 10 de abril de 1950, 20 de diciembre de 1961 con reporte de muertos y daños materiales. Los eventos de 1595 y de 1845 fueron asociados a actividad volcánica en la zona, este último atribuido al volcán del Ruiz, en el que se produjo un flujo de lahares que llegó hasta el río Magdalena causando gran destrucción a su paso (Ramírez, 1975).

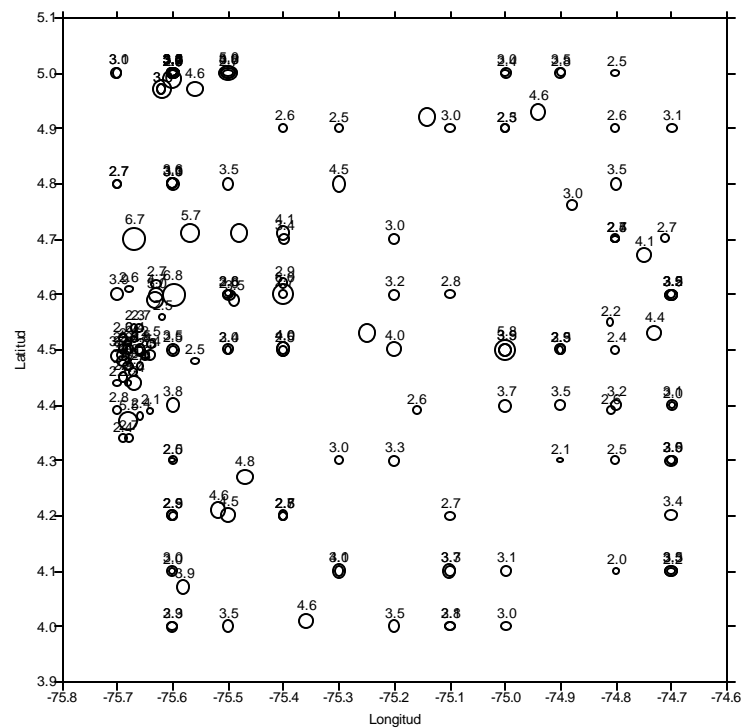


Figura 2. Distribución Espacial de Sismos con la Magnitud

El 20 de diciembre de 1961 ocurrió uno de los más grandes terremotos en el área abarcada para este estudio con una magnitud de 6.8 Ms, con una profundidad de 176 km; este sismo tuvo una intensidad epicentral de 8 en la escala de Mercalli Modificada y fueron afectados diversos municipios, principalmente los ubicados sobre la cordillera Central de Colombia.

El día 25 de enero de 1999, a las 13:19 hora local (18:19 GMT.), ocurrió un sismo con magnitud m_L de 6.2, cuyo epicentro se localizó en inmediaciones del municipio de

Córdoba (Departamento del Quindío) y su hipocentro a 20 km. de profundidad; generando importantes daños y víctimas (Méndez y Jaramillo, 1999). En la ciudad de Ibagué se presentaron daños en las edificaciones, afectando a 23 instituciones y 20 viviendas, incluyendo daños parciales, totales, en mampostería, acabados y estructuras. Se presentaron además problemas en las líneas vitales como colapso de algunos puntos de la red de distribución de agua potable, infiltraciones en tramos de alcantarillado, pérdida parcial del fluido eléctrico e inestabilidad de varios taludes ubicados en los bordes de escarpes y en las vías de comunicación (Franco y Pineda, 1999).

Según una serie de hechos citados en los diferentes periódicos nacionales se puede ordenar los siguientes sucesos ocurridos en Ibagué: Los techos del panóptico se vinieron a tierra (El Tiempo, 22/06/1942); En una de las partes donde más se sintió fue en el palacio de la Gobernación (El Espectador, 21/12/1961); En el edificio de la beneficencia se formó una gran grieta. El quinto piso de la gobernación se agrietó, el octavo fue el más dañado. Ventanas del palacio de la Gobernación se dañaron (El Tiempo, 21/07/1962); Caída del edificio de la empresa de Transporte Cointrasur. Leves grietas en el edificio del Banco de la República, BCH y el Hotel Ambalá. (El Tiempo, 24/11/1979); Se desplomó la virgen del cerro de Pan de Azúcar, causado por el temblor de 6 grados en la escala Richter, que se produjo a las 3:47 pm. (El Tiempo, 07/06/1994); El temblor del miércoles que tuvo epicentro en el suroccidente colombiano, dejó otra víctima en Ibagué, al desprenderse del décimo piso del edificio de la Caja Agraria una plaqueta de concreto. Otros pedazos de concreto cayeron sobre un furgón, nadie advirtió que este edificio, el más alto de la ciudad existiera peligro. (El Tiempo, 12/02/1995); por fortuna el Tolima no resultó tan afectado como otros departamentos con los movimientos sísmicos del pasado lunes 25 de enero. En Ibagué el movimiento telúrico produjo la pérdida del conocimiento a varias personas que se encontraban en edificios como el de la Gobernación. Otras construcciones como la catedral, la clínica del Seguro, el Hospital Federico Lleras, los edificios la soledad, Alejandría y tanques del Ibal también sufrieron agrietamientos(El Tiempo, 27/01/1999).

6.1.2. Deslizamientos y otros fenómenos inducidos.

El principal factor de inestabilidad es la acción antrópica. Se presentan principalmente deslizamientos y desprendimientos con volúmenes menores a 100 m³ involucrando sedimentos de granulometría arcillosa en las áreas expuestas como los bordes de los escarpes del río Combeima, quebradas Chipalo, La Pioja, San Antonio, La Volcana, El Tejar, Canal del Centenario y parte de la quebrada el Jordán.

Se encontró eventos en los cuales se presentan deslizamientos en el área de la ciudad de Ibagué, como el ocurrido en el río Combeima que sufrió un represamiento debido a un deslizamiento de rocas en el cauce del río (El Tiempo, 6/03/1993).

La cuenca del río Combeima, principal abastecedor de agua para consumo humano, industrial y agropecuario, en la meseta de Ibagué, ha sufrido durante los últimos tiempos deterioro acelerado, con generación de movimientos en masa de volúmenes importantes, que frecuentemente originan desastres, con pérdida de vidas, daños materiales importantes y movilización de las personas asentadas en sus riberas, especialmente en la ciudad de Ibagué. Adicionalmente se interrumpe el suministro de agua. Consecuencia de estos fenómenos de remoción en masa ha sido la destrucción de poblaciones y numerosos barrios ribereños de Ibagué (Ingeominas, 1992).

7. MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO.

El modelo geológico se obtuvo mediante la fotointerpretación geológica y geomorfológica de las fotografías aéreas relacionadas en la Tabla 1.

Para la denominación estratigráfica se integró la definida en el Estudio Geológico - Geotécnico y Aptitud Urbanística de la Ciudad de Ibagué (Ingeominas, 1992), en la plancha 244, Ibagué, escala 1:100.000 (Ingeominas, 1982) y en el mapa geológico del Departamento del Tolima a escala 1:250.000 (Ingeominas, 1974).

7.1 GEOMORFOLOGIA.

7.1.1 Metodología

La delimitación de unidades geomorfológicas para la ciudad de Ibagué se basa fundamentalmente en el sistema de clasificación fisiográfica del terreno (IGAC, 1992) que permite jerarquizar una zona, de lo general a lo particular, en diferentes categorías.

Los resultados de las unidades geomorfológicas se presentan en la figura 4 definidos por medio de la fotointerpretación. En la Tabla No 2 se muestra la leyenda que acompaña dicha figura.

7.1.2. Descripción de unidades geomorfológicas.

Batolito de Ibagué: Aflora sobre el flanco E de la cordillera Central y conforma casi un 30% del área del departamento del Tolima. El batolito está cubierto discordantemente, por rocas sedimentarias Cretáceas, Terciarias y Cuaternarias que afloran hacia el valle del Magdalena (Vergara, 1989a).

Abanico de Ibagué (NgQaci) : Es uno de los depósitos cuaternarios más extensos del departamento del Tolima; su origen se relaciona con múltiples episodios de actividad volcánica y aluvio torrenciales en la cordillera Central, especialmente en la zona del nevado del Tolima.

De acuerdo con Acosta y Ramírez (1985), los fragmentos líticos del abanico corresponden a un 85% a rocas volcánicas andesíticas, un 10% a rocas metamórficas (neis, cuarcitas y esquistos) y el 5 % son rocas intrusivas del Batolito de Ibagué.

Tabla 2. Leyenda de las Zonas Geomorfológicas de Ibagué					
Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Símbolo
Depresión del Magdalena	Cálido Seco	Planicie de Piedemonte Hidrovolcánica	Abanico antiguo	Superficie plano ondulada	Cs111
				Escarpe de abanico	Cs112
		Relieve Montañoso Fluviogravitacional	Montañas en rocas ígneas	Laderas en pendientes empinadas a fuertemente empinadas	Cs211
			Abanicos coalescentes	Superficie plana	Cs311

7.1.3. Rasgos geomórficos.

La morfología actual se le atribuye a la sedimentación fluvial, fluvio volcánica y a procesos erosivos y tectónicos que aún continúan activos pero a menor tasa que en épocas anteriores por lo tanto se generan continuamente pequeños escarpes, conos de deyección, cárcavas y deslizamientos.

Según Ingeominas (1992) se identificaron 4 unidades morfológicas

- Zona montañosa, Abanico fluvio-volcánico, Conos aluviales, Terrazas del río Combeima.

7.2. LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA.

Las formaciones geológicas que afloran en Ibagué y sus alrededores varían en edad desde el Precámbrico hasta el Cuaternario, su descripción de la más antigua a reciente es la siguiente:

7.2.1 ROCAS METAMÓRFICAS

- Metamorfitas Precámbricas (P_{em}): Constan de anfibolitas, neises anfibólicos y mármoles. Se localizan por fuera del área urbanizada, en los cerros al sur-este de Ibagué.
- Metamorfitas Paleozóicas (P_m): Complejo polimetamórfico que incluye esquistos verdes, esquistos y filitas cuarzo-serícíticas, grafitosas y cuarcitas biotíticas

7.2.2 Rocas ígneas:

- Batolito de Ibagué (J_{gd}): Aflora sobre el flanco oriental de la cordillera Central, conforma casi un 30% del área del departamento del Tolima y se localiza en la cadena de cerros en los alrededores de Ibagué al norte y sur.
- Rocas Hipoabisales (T_{ad}): Constituyen remanentes de lavas predominantemente de composición andesítica, algunas veces basáltica, se conservan geoformas que indican la existencia de antiguos cuellos volcánicos, evidenciadas por una red de drenaje característica.

7.2.3 Depósitos cuaternarios

- Abanico Fluvio – Volcánico de Ibagué (Q_{ld}, Q_{fv2}, Q_{fv1}): Es uno de los depósitos Cuaternarios más extensos del departamento del Tolima. Su origen se relaciona con múltiples episodios de actividad volcánica y aluvio torrenciales en la cordillera Central, especialmente en la zona del nevado del Tolima. Los materiales que lo conforman descendieron por el río Combeima. Quebradas como Calambeo, Ambalá, Las Pamelas y otras menores han desarrollado abanicos coalescentes que se superponen por el costado norte al abanico de Ibagué. El depósito está expuesto sobre las carreteras Ibagué-Rovira, en el cruce del río Combeima, Ibagué-Payandé, cerca al río Coello, Ibagué-Alvarado en el paso del río Alvarado y en la carretera entre el alto de Guandalay y el caserío de Gualanday (Ver Figura 5).
- Abanicos Coluvio Aluviales (Q_{cd}): Aparecen sobre el piedemonte de la ladera al norte de Ibagué y al sureste sobre la carretera a Armenia, antes del Boquerón. Se localizan los barrios Ambalá, la Gaviota, Aurora, Ancón, Pablo VI, San Diego, La Florida, Miramar, Batallón Rooke al suroeste. Se distinguen dos sectores:
- Coluviones (Q_{dp}): Depósitos recientes de talus, producto del desgarre de materiales en la parte alta de las laderas.

- Terrazas Aluviales (Qt) :Son depósitos de poca extensión situados a lo largo del río Combeima, con diferentes niveles de altura y desarrollo de escarpes aterrazados, productos de eventos torrenciales recientes como flujos de lodo, escombros o avalanchas de origen fluvial.
- Depósitos Aluviales Recientes (Qal) :Productos de avalanchas fluviales, constan de gravas y arenas con contenido limoso, están confinados a lo largo de los principales cauces, generalmente angostos y de poca extensión, como en las quebradas Clay, Potrero Grande, ríos Alvarado y Chipalo.

7.3. ESTRUCTURAS TECTONICAS.

El territorio del departamento del Tolima está ubicado en la zona andina, región colombiana sometida a la interacción de las placas tectónicas del Pacífico (placa de Nazca) y Suramericana. Los mayores rasgos morfotectónicos son las cordilleras Central y Oriental y el valle del río Magdalena, accidentes relacionados con posibles fenómenos distensivos en el Jurásico y compresivos en el Cenozoico, a los que se asocia el levantamiento de las cordilleras y la depresión del Magdalena.

7.3.1. Estructuras tectónicas activas y potenciales.

Tres grupos o sistemas principales: Norte-Sur (N-S a N 30 E), Este-Oeste (N60E, E-W) y Noroeste (N30W a N60W). El primer sistema es importante en los bordes de las cordilleras y fueron muy posiblemente los responsables del levantamiento de ellas durante la orogenia andina en el Paleogeno y Neogeno (fallas evidencian actividad de los últimos 10.000 años). En años recientes el empleo de imágenes de satélites han permitido inferir el trazo de algunas de ellas en la cordillera Central y el valle del río Magdalena (Nuñez, 1996).

Falla de Ibagué: presenta claras evidencias de actividad tectónica en el Cuaternario (Diederix *et al.*, 1987; Murcia y Vergara, 1986) detectaron actividad en el Holoceno y calculó una magnitud sísmica probable de $M_L=7$ por lo que se considera como activa. Su importancia radica en que su trazo atraviesa la ciudad de Ibagué con dirección N70E (Figura 3, Jaramillo *et al.*, 2000).

Sistema de falla de Cucuana: se denominan así dos segmentos de fallas que cruzan al Tolima en dirección N65E, el cual sigue el curso de la parte alta del río Cucuana y se proyecta hacia el noroeste sobre el abanico del Espinal, de edad reciente, hasta la deflexión del río Magdalena entre Flandes y Girardot. Estas fallas desplazan rocas del Jura - Triásico, Jurásico, Cretáceo y Terciario (Vergara y Cárdenas, 1999).

Fallas de orientación NW:

Fallas de corta longitud, trazos intermitentes. Estas fallas cortan las estructuras norte - sur y se caracterizan por movimiento de rumbo probablemente conjugados del sistema E-W. Las fallas más conocidas son El Palmar y Buenos Aires esta última inferida por su expresión geomorfológica, con indicios de actividad después de la depositación del abanico fluvio-volcánico, como posible corroboración del movimiento de la falla de Ibagué. La intersección de la falla de Buenos Aires con la falla de Ibagué se encuentra en plena zona urbana de la ciudad, en el barrio Piedra Pintada Alto.

7.4. CARACTERIZACION GEOTÉCNICA.

7.4.1. Metodología

Para dar consideración a los diferentes fenómenos de inestabilidad que se pueden presentar, se tuvieron en cuenta dos grandes zonas: La zona montañosa (M) y la zona plana (P). En la zona montañosa, se evalúa la susceptibilidad de los materiales al deslizamiento; en la zona plana se califica la aptitud de los materiales para soportar las fundaciones de las estructuras. Cada zona se dividió en tantas sub-zonas como fue necesario, de acuerdo con las características geotécnicas previstas para los materiales presentes. Los materiales se clasifican como IM, IIM, IIIM y IVM ó IP, IIP, IIIP, IVP, VP de más competentes a menos competentes.

7.4.2. Definición de unidades existentes

Tabla 3. Zonificación Geotécnica en la zona montañosa de Ibagué.

SUB-ZONA	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO
IM – Rocas Duras	Anfibolitas, neises anfibólicos y mármoles.	Baja
IIM – Remanentes de Lavas de Composición Andesítica y Basáltica	Se conservan geoformas que indican la existencia de antiguos cuellos volcánicos. Evidencias de una red de drenaje característica.	Media baja
IIIM – Suelos Residuales del Batolito de Ibagué	Arenas limosas mal gradadas (SM) y limos orgánicos (ML) de baja resistencia al corte. Materiales susceptibles a la erosión; es común la	Media alta

SUB-ZONA	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTO
	profundización de caminos y formación de surcos. El espesor de suelo sobre la roca meteorizada puede ser mayor de 10 m en algunos sitios.	
IVM – Depósitos de Piedemonte (Coluviales y Coluvio-Aluviales)	Arenas y limos con gravas muy descompuestos. Sobre las llanuras de inundación se observan materiales con gravas de tamaño bloque.	Alta

Tabla 4. Zonificación geotécnica en la zona plana de Ibagué

SUB-ZONA	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
IP – Depósitos Fluvio-Volcánicos	Son depósitos heterogéneos y heterométricos; se observan fragmentos angulares y subangulares de hasta 2 m de tamaño. La matriz, presente en proporción de 20 a 50 %, se compone de limos inorgánicos (ML), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC) y algo de arenas con gravas (SP). Ocasionalmente, se presentan lentes de arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH). Poseen ligera cementación y buena capacidad portante. La superficie es suavemente ondulada, con inclinación al Este del 2 % al 3 %; y tiene una cubierta meteorizada de 1 a 2 m. La profundidad de estos materiales es mayor a 150 m.	Baja
IIP – Depósitos Fluvio-Volcánicos del último ciclo de vulcanismo del volcán del Tolima	Estos depósitos se sitúan a lado y lado del curso del río Combeima, entre 6 y 40 m de altura. Son gravas en matriz areno-limosa, moderadamente consolidadas. Esta zona es importante pues corresponde a la zona de amenaza potencial por flujo de escombros y lodo de origen volcánico.	Media – baja
IIIP - Depósitos	Suelos volcánicos derivados de caídas de	Media - Baja

SUB-ZONA	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
Piroclásticos	cenizas y lapilli, moderadamente compactos. Consta de limos y arcillas de baja plasticidad (ML, CL), arenas limosas y arcillosas (SM, SC) y ocasionalmente, limos y arcillas de alta plasticidad. La capacidad portante es media a alta. La superficie es suavemente ondulada, con inclinación de 1° a 3° al Este. El espesor máximo de materiales en esta zona es de 6 m a 8 m.	
IVP – Sedimentos de Origen Lagunar	Son suelos de naturaleza cohesiva, limos orgánicos de baja plasticidad (OL) o arcillas de alta plasticidad (OH) y arenas arcillosas de baja plasticidad (SC). En su conjunto se trata de materiales de baja permeabilidad. Son depósitos de poca extensión y un espesor de aproximadamente 5 m. Existen dos depósitos: uno en el estadio Murillo Toro y otro sobre la vía a El Salado.	Media - Alta
VP – Llanuras de Inundación y Depósitos de Canal Heterogéneos	Depósitos heterogéneos y heterométricos. Se localizan en las márgenes inmediatas del río Combeima, la quebrada Chipalo y afluentes mayores ubicados entre 0.8 m y 3.5 m de altura con respecto al nivel de aguas corrientes. Compuestos por gravas arenosas, gravas limosas e intercalaciones lenticulares de arenas y limos, formando niveles planos y aterrizados. El nivel freático es poco profundo y oscila con el nivel del agua en la corriente. Material fácilmente excavable, parte de esta zona es utilizada para extraer arena y grava.	Alta

8. MICROZONIFICACIÓN SISMICA PRELIMINAR

8.1. METODOLOGÍA

La microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Ibagué es el resultado de la integración de los siguientes elementos:

1. Zonas del mapa de zonificación geotécnica que sirven de base para el mapa de microzonificación, calificadas en grados de susceptibilidad de acuerdo con su caracterización geotécnica para zonas montañosas y geomorfológica - geotécnica para zonas planas (Figura 5)
2. Rasgos tectónicos del mapa geológico (fallas, fracturas y lineamientos fotogeológicos) del mapa geológico, definiendo para cada caso un ancho de influencia asignado según el tipo y actividad de la falla analizada (Figura 3).
3. Rasgos del mapa geológico asociados a procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa como: escarpes estructurales, cicatrices de deslizamiento, desprendimiento de material, morfologías asociadas a abanicos coluvio aluviales y depósitos aluviales recientes, morfologías asociadas a remanetes de geoformas volcánicas, escarpes aterrazados profundos e incipientes, áreas erosionadas con carcavamiento y surcos activos, zonas con reptación.
4. Zonas del mapa geomorfológico identificadas como valles intercolinares, valles y vallecitos aluviales, planos de inundación (Figura 4).
5. Puntos de posible amplificación topográfica señalados a partir del cálculo del gradiente topográfico existente en las zonas montañosas en el occidente de la ciudad debido a construcciones afectadas durante sismos históricos (Figura 6).
6. Ubicación de los puntos de eventos previos.
7. Zonas de rellenos, cuando están identificados.
8. Zonas susceptibles a deslizamiento obtenidas por analogía entre la zona de deslizamiento identificada en la fotointerpretación geológica, la pendiente topográfica del terreno y el tipo de material geotécnico.

Fundamentada en la metodología, se obtuvo el plano de microzonificación sísmica de la ciudad de Ibagué generando un mapa a escala 1:25 000 (Figura 6) donde se agrupan bajo diferentes factores, permitiendo determinar una zonificación en un nivel cualitativo la posible respuesta dinámica de zonas específicas de la ciudad ante la acción sísmica.

8.2. SUSCEPTIBILIDAD POR CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En la identificación y agrupación de zonas con similar grado de susceptibilidad se determinan nueve zonas, las cuales fueron separadas en dos grupos; el primer grupo en zona montañosa y el segundo en zona plana que se observa en la figura 6.

8.3. RESULTADOS

Predominio de depósitos coluviales y coluvio aluviales localizados en los piedemontes norte, occidental y sur de la ciudad de Ibagué, con susceptibilidad alta por su caracterización geotécnica, donde se presenta densa concentración de viviendas y estructuras.

Amenaza sísmica inminente por el cruce de la falla de Ibagué en el caso urbano.

Amenaza importante en la zona de barrio Piedra Pintada Alta donde se presenta el sitio de intersección de las fallas Ibagué y Buenos Aires.

Alta densidad de lineamientos fotogeológicos orientados en dos direcciones conjugadas NNE y NNW, en muchos casos con zonas de cizallamiento asociadas, localizados en las zonas montañosas ubicadas al norte, occidente y sur de Ibagué.

Amenaza volcánica por la presencia de rocas hipoabisales en geoformas remanentes de cuellos volcánicos y de coladas de lava.

Inestabilidad en las márgenes del río Combeima por escarpes aterrazados profundos y encañonamiento del cauce del río.

Alta concentración de cicatrices de deslizamiento ubicadas en las partes altas de las laderas y en divisorias de aguas localizadas en la zona montañosa al norte y sur de Ibagué.

Concentración de puntos de posible amplificación topográfica en relieve montañoso ubicado en la vertiente sur del río Combeima al occidente de Ibagué.

Concentración de eventos previos en el sector central de la ciudad ubicado en una cuña delimitada por lineamientos fotogeológicos, que a su vez también delimita la zona de concentración de puntos de posible amplificación topográfica.

8.4. FENÓMENOS INDUCIDOS

8.4.1. Deslizamientos

El principal factor de inestabilidad es la acción antrópica. Se presentan principalmente deslizamientos y desprendimientos con volúmenes menores a 100 m³ involucrando sedimentos de granulometría arcillosa en las áreas expuestas como los bordes de los escarpes del río Combeima, quebradas Chipalo, La Pioja, San Antonio, La Volcana, El Tejar, Hato de La Virgen, Canal del Centenario y parte de la quebrada el Jordán.

Por la morfología montañosa del batolito de Ibagué, es característica la erosión en surcos y los deslizamientos. Estos fenómenos se asocian con pendientes altas, trazas geológicas como en la subcuenca de las quebradas Ambalá, Las Panelas y San Rafael.

La cuenca del río Combeima, principal abastecedor de agua para consumo humano, industrial y agropecuario, en la meseta de Ibagué, ha sufrido durante los últimos tiempos deterioro acelerado, con generación de movimientos en masa de volúmenes importantes, que frecuentemente originan desastres.

A partir de la información principalmente geológica y geotécnica disponible de la zona, se realizó un análisis comparativo entre las características de los suelos y los factores determinantes en la posibilidad de licuación, de donde se obtuvo que la susceptibilidad a este fenómeno en Ibagué en términos generales es mínima, a excepción de las áreas localizadas en las orillas del río Combeima debido a su naturaleza granular y la altura del nivel freático.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a la ubicación geográfica de Ibagué, las geoformas del paisaje han sido afectadas por los diferentes tipos de esfuerzos geotectónicos compresionales, como consecuencia de la interacción de las diferentes placas tectónicas, así la capital del departamento del Tolima tiene latente la amenaza sísmica reflejada en los lineamientos de las fallas de Ibagué y Buenos Aires que atraviesa la zona urbana.

Por medio de la fotointerpretación de pares estereográficos y del análisis de la bibliografía existente se observa el trazo de la falla de Ibagué cruzando la zona urbana, con dirección W-E y clara presencia de escarpes en los cuales se evidencia el movimiento dextrolateral de la falla. Intersectando el anterior trazo de falla, y en el casco urbano, se encuentra el trazo de la falla de Buenos Aires, de dirección sureste, inferido por su expresión geomorfológica, con indicios de actividad después de la depositación del abanico fluvio volcánico, como posible corroboración del movimiento ya mencionado para la falla de Ibagué. El hecho de que las trazas de

estas fallas crucen por zonas densamente pobladas, las hacen potencialmente peligrosas para los habitantes y la infraestructura en general de Ibagué

El plan de ordenamiento territorial de una ciudad debe tener como insumo principal la microzonificación sísmica de la ciudad, por lo que la presente investigación es un aporte importante para llevar a cabo dicho objetivo.

Debido a la alta densidad de lineamientos fotogeológicos orientados en dos direcciones conjugadas NNE y NNW, en muchos casos con zonas de cizallamiento asociadas, localizados en las zonas montañosas ubicadas al norte, occidente y sur de Ibagué se puede corroborar la dinámica de bloques presentes en Ibagué, por lo que la manifiesta actividad sísmica observada a través de los catálogos consultados para este estudio pueden tener su origen en estos rasgos.

Existe la posibilidad que se genere fenómenos de remoción en masa con volúmenes importantes de material en las orillas del río Combeima, ya que según los aspectos reconocidos en la fotointerpretación concernientes al tema de la geomorfología de los pares estereoscópicos, este se encuentra en un valle juvenil con escarpes aterrazados profundos y encañonamiento del cauce del río, por lo que la actividad erosiva es un factor preponderante para la evolución del valle. Lo anterior se ha verificado con los deslizamientos de material que han ocurrido en las orillas de dicho río, reportado por los periódicos y otras fuentes bibliográficas, por lo que se considera necesario realizar una investigación geotécnica y geológica de campo para profundizar en estos aspectos con el fin de obtener medidas preventivas que minimicen y mitiguen los daños que pueda ocasionar los fenómenos de remoción en masa en la comunidad que habita en los sitios de la costa fluvial del río Combeima.

En el momento en que se genere un sismo de magnitud significativa, existe la posibilidad que en algunas zonas ubicadas en el occidente de Ibagué, en la vertiente sur del río Combeima, exista una amplificación efectiva de la señal del sismo por la concentración de puntos de amplificación debido a condiciones topográficas, por lo que los daños generados en este sitio tenderán a ser mayores por las características de relieve montañoso y su cercanía con el cauce del río Combeima.

Algunos lineamientos de fallas observados a través de la fotointerpretación de los pares estereográficos siguen el curso de quebradas, como la Quebrada La Victoria y la Quebrada los Volcanes, lo que es consistente con la hipótesis que dice que los cursos de agua van a correr por las zonas donde se encuentran sitios más débiles ya que van a ser fácilmente erodables por la descomposición mecánica de los materiales adyacentes a los lineamientos debido a posibles movimientos ocurridos con anterioridad en el contacto de los bloques fallados.

A pesar que el estudio presentado muestra una aproximación al problema sísmico de la ciudad de Ibagué, es necesario la continuación de la microzonificación sísmica de ciudades tan importantes como esta, para de esta manera obtener un conocimiento más profundo y detallado de la amenaza sísmica. Para esto es indispensable adelantar una verificación en campo de los aspectos desarrollados en esta investigación y realizar una campaña de caracterización geotécnica que permita obtener un conocimiento más cercano del comportamiento mecánico y dinámico de los suelos, para complementar los resultados obtenidos.

La continuación de los estudios de amenaza regional y local es muy importante para el desarrollo de la ciudad, a lo que habría que adicionarle los estudios de vulnerabilidad y de esta manera realizar intervenciones físicas con el fin de reducir los niveles de riesgo a los que estén expuestos los habitantes de esta importante ciudad colombiana.

REFERENCIAS

- Acosta, H. y J. Ramírez (1985). Ideas acerca del origen del abanico de Ibagué. Tesis de grado. Universidad Nacional, Departamento de Geología, Bogotá, 64 p.
- AIS (1984) Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Estudio General del Riesgo Sísmico de Colombia. Bogotá.
- AIS, Ingeominas y Universidad de los Andes (1996) Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Bogotá.
- Association Francaise du Genie Parasismique-AFPS (1995). Guidelines for Seismic Microzonation Studies. Paris.
- Barrero, L. (1969). Petrografía del Stock de Payandé y metamórfitas asociadas. *Boletín Geológico*, No. 17 (1-3), p 113-114.
- Cediel, F., J. Mojica y C. Macia (1980). Definición estratigráfica del Triásico en Colombia. Formación Luisa, Payandé y Saldaña. Newslett. *Stratigraphy*, 9(12), Hannover.
- DANE (2000). Base Digital de Ibagué. Bogotá.
- Diederix, H. Gomez, J. Khobzi y A. Singer (1987). Indicios neotectónicos de la falla de Ibagué en el sector Ibagué Piedras. Departamento del Tolima, Colombia. *Revista CIAF*, Vol. 11, Tomo II (1-3); 242-252 Bogotá.
- El Espectador (21/12/1961). Bogotá, Colombia.

- El Tiempo (22/06/1942). Bogotá, Colombia.
- El Tiempo (21/07/1962). Bogotá, Colombia.
- El Tiempo (24/11/1979). Bogotá, Colombia.
- El Tiempo (6/03/1993), “Se represó el Combeima”. Bogotá, Colombia.
- El Tiempo (07/06/1994), “Avalancha en Huila por Temblor”. Bogotá. Colombia.
- El Tiempo (12/02/1995), “Temblor ayer en San Andres”. Bogotá. Colombia.
- El Tiempo (27/01/1995), “Que susto”. Bogotá. Colombia.
- Feininger T. (1970). The Palestina Fault, Colombia, *Geological Society of America. Bulletin* 81(4) 1201-1216.
- Franco, L. y P. Pineda (1999). Efectos del Sismo del 25 de Enero de 1999 en el departamento del Tolima. *Red Sismológica del Eje Cafetero Viejo Caldas y Tolima*. Ingeominas.
- González, A., A. Peña, C. Santos y O. Navas (1983). Proyecto I.- Memorias áreas al Sur Oriente de Ibagué. Centro Interamericano de Fotointerpretación. CIAF. Unidad de Geología y Geomorfología. Bogotá.
- Guevara, C. (1985). Aspectos fotogeológicos y estratigráficos al sur de Payande, Tolima, Colombia. *Revista CIAF*. Vol 10(1), p 59-72. Bogotá.
- Houten, F. y R. Travis, (1968). Cenozoic deposits of the Upper Magdalena Valley, Colombia. *Am.Asoc. Petr. Geol.* Vol 52: 675-702 p.
- Ingeominas. (1982). Plancha 244, Ibagué, escala 1:100.000. Bogotá
- Ingeominas. (1974). Mapa geológico del Departamento del Tolima. Escala 1:250.000 Bogotá
- Ingeominas. (1992). Estudio Geológico – Geotécnico y aptitud urbanística de la ciudad de Ibagué. 78 p. Ibagué.
- IGAC. (1967a) Plancha 244-II-D, Escala 1:25 000. Bogotá.
- IGAC. (1967b) Plancha 244-IV-B, Escala 1:25 000. Bogotá.

- IGAC. (1989) Plano Urbano de Ibagué, Escala 1:10 000. Bogotá.
- IGAC. (1991). Fotografías aéreas 112 – 115 y 165 - 169 del Vuelo C-2465.
- IGAC. (1992). *Revista CIAF*. Centro de Investigaciones en Percepción remota. Vol 15 No 1. P. 83 – 115.
- IGAC. (1993). Plano Urbano de Ibagué, Escala 1:10 000. Bogotá.
- IGAC. (1996). Diccionario Geográfico de Colombia. Ed. Subdirección de investigaciones y Divulgación Geografica Santafé de Bogotá.
- Jaramillo, M., P. Escobar, y A. Ramos (2000). Marco tectónico y Amenaza Sísmica de Ibagué. Memorias del VIII Congreso Colombiano de Geotécnia. Bogotá. <http://metis.javeriana.edu.co/digit/geo/bddc.html>.
- Macia, C., J. Mojica y F. Colmenares (1985). Consideraciones sobre la prospección de hidrocarburos en el Valle Superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana* No. 14, p 49-70. Bogotá.
- Méndez, R. y C. Jaramillo, (1999). Apreciaciones Iniciales del Sismo del 25 de enero de 1999. *Red Sismológica del Eje Cafetero Viejo Caldas y Tolima*. Ingeominas. Cuarta Edición.
- Mojica, J. y R. Franco, (1992). Estructura y evolución tectónica del valle medio y superior del Magdalena, Colombia, *Geología Colombiana*, 17; 41-64. Santafé de Bogotá.
- Mora, B. y H. Talabera, (1991). Informe Fotogeológico de un área al Sur de Ibagué. Ingeominas.
- Moreno, M. y H. Vergara, (1992). Estudio geológico - geotécnico de la cuenca del río Combeima , INGEOMINAS – Gobernación del Tolima, Ibagué , 200 p.
- Murcia, A. y H. Vergara, (1986). Riesgos Geológicos Potenciales en la Ciudad de Ibagué, Departamento del Tolima, Colombia, *Revista CIAF*, Vol. 11, Tomo II, (1-3).
- Núñez, A., (1978). Petrogénesis del Batolito de Ibagué. Resúmenes *II Congreso Colombiano de Geología*. Bogotá.

- Núñez, A. (1996). Mapa geológico del Departamento del Tolima. Geología, Recursos Geológicos y amenazas Geológicas. Ministerio de Minas y Energía. Ingeominas. Bogotá.
- Ramírez, J. (1968). Los Volcanes de Colombia. Separata de la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. Volumen XIII, No. 50. Bogotá
- Ramírez, J. (1975). Historia de los Terremotos en Colombia. IGAC, Bogotá.
- Soeters, R. (1976). El desarrollo geomorfológico de la región de Ibagué – Girardot. *Revista CIAF*, 3: 471 – 480. Bogotá.
- Thouret, J., A. Murcia, R. Salinas y N. Vatin-Perignon (1985). Aspectos volcano estructurales y dinamismo eruptivo reciente de los volcanes Cerro Bravo y Nevado del Tolima, Cordillera Central de Colombia. *Memorias del VI Congreso Latinoamericano de Geología*, Tomo I, pp. 269-288. Bogotá.
- USGS (2000). www.earthquake.usgs.gov. Catálogo de Terremotos para América del Sur. Proyecto del CERESIS.
- Vergara, H. (1989a) Actividad Neotectónica de la Falla de Ibagué. *Memorias del V Congreso Colombiano de Geología*. Tomo I p. 147-156. Bucaramanga.
- Vergara, H. (1989b). Serpentinitas asociadas a la falla de Chapetón, Departamento del Tolima, Ibagué.
- Vergara H., A. Taboada, G. París y J. Romero (1996). Informe preliminar de neotectónica del proyecto de microzonificación sísmica de Bogotá, Ingeominas.
- Vergara, H. y J. Cárdenas (1999). Neotectónica del Departamento del Tolima con énfasis en la Falla del Cucuana, Ingeominas. *Red Sismológica Regional del eje Cafetero*, Viejo Caldas y Tolima. Vol II. Pag 24-27.
- Vergara, H. y M. Moreno, (1982). Estudio geológico – geotécnico de la cuenca del río Combeima y subcuencas de estabilidad críticas. Ingeominas. Ibagué.
- Wellman, S. (1970). Stratigraphy and petrology of the nonmarine Honda Group (Miocene), Upper Magdalena Valley; Colombia. *Geol. Soc. Am. Bull.* Vol 81 (8): 2353-2374 p.

