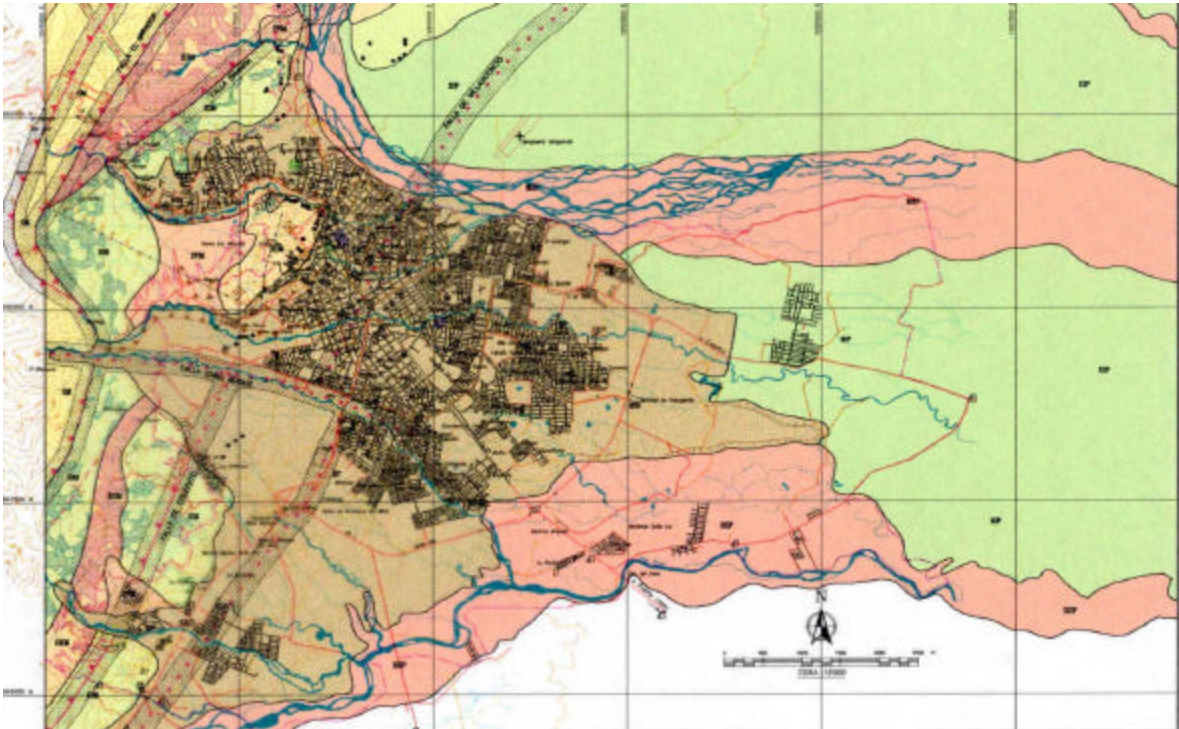


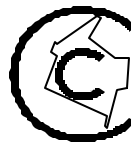
**ESTUDIOS DE AMENAZA Y MICROZONIFICACION SISMICA,
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL
Y
EVALUACION DE ESCENARIOS DE DAÑO**

**MICROZONIFICACION SISMICA PRELIMINAR DE
VILLAVICENCIO**



**RESUMEN EJECUTIVO
JULIO 2000**

**INSTITUTO GEOFISICO UNIVERSIDAD JAVERIANA
CONSULTORIA COLOMBIANA**



consultoría colombiana s.a.
ingenieros consultores

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

**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 Jiménez
John Jairo Guacaneme Bermeo
Ronald Eduardo Pinto Navarrete

Consultoría Colombiana S. A.

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

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE VILLAVICENCIO

RESUMEN

Villavicencio es la ciudad más importante de los llanos Orientales Colombianos, tiene una población que supera los 190 000 habitantes, distando de Bogotá 126 km, se encuentra en una zona con una amenaza sísmica importante, a lo que hay que sumarle una alta pluviosidad y una dramático historial de grandes movimientos de remoción en masa.

Este documento resume la memoria técnica de la Microzonificación Sísmica Preliminar realizada por el Instituto Geofísico Universidad Javeriana y por Consultoría Colombiana S. A.

Villavicencio está ubicada sobre una amplia variedad de materiales, que van desde rocas duras metamórficas de las formaciones de Quetame y brechas de Buenavista a depósitos aluviales recientes a lo largo de los ríos Guatiquía, Ocoa y Upín. Estos últimos con posibilidad de licuefacción debido a la granulometría de los materiales, a la posición del nivel freático y a las aceleraciones del suelo esperadas.

Debido a los cambios de gradientes topográficos, a la alta pluviosidad, a los antecedentes de deslizamientos documentados e identificados en la fotointerpretación, se prevén grandes efectos asociados de remoción en masa.

Es importante continuar esta investigación con caracterización geotécnica de campo con el fin de contribuir a la reducción del riesgo sísmico, mediante un mejor conocimiento de la amenaza local esperada para la ciudad de Villavicencio.

Palabras Claves: Villavicencio, Microzonificación, Susceptibilidad, Modelo Geológico y Geotécnico, Deslizamientos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GENERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. METODOLOGÍA	6
4. EVALUACIÓN SISMOGÉNICA	7
4.1 EVENTOS SÍSMICOS PREVIOS	7
5. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	9
5.1 GEOMORFOLOGÍA	9
5.2 LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA	10
5.3 ESTRUCTURAS TECTÓNICAS ACTIVAS	13
5.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	14
6. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR	16
6.1 METODOLOGÍA	16
6.2 RESULTADOS	17
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18

LISTADO DE TABLAS

- Tabla 1.** Relación de Cartografía y Fotografías Aéreas.
- Tabla 2.** Resumen de Deslizamientos en Villavicencio (1990-1999).
- Tabla 3.** Leyenda de Unidades Geomorfológicas.
- Tabla 4.** Zonificación Geotécnica de la Zona Montañosa.
- Tabla 5.** Zonificación Geotécnica de la Zona Plana.

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1.** Base Cartográfica de la ciudad de Villavicencio. (Plano 1/5)
- Figura 2.** Geomorfología de la ciudad de Villavicencio. (Plano 3/5)
- Figura 3.** Zonificación Geotécnica de la ciudad de Villavicencio. (Plano 4/5)
- Figura 4.** Geología de la ciudad de Villavicencio. (Plano 2/5)
- Figura 5** Microzonificación Sísmica Preliminar de Villavicencio. (Plano 5/5)

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE VILLAVICENCIO

1. INTRODUCCIÓN

Villavicencio es la capital del departamento del Meta, polo de desarrollo económico y de gran futuro turístico. Dista de Santafé de Bogotá 126 km. Está ubicada en el límite oriental del piedemonte de la cordillera oriental de los Andes Colombianos, localizada a los 04° 09' 12" de latitud norte y 73° 38' 06" de longitud oeste de Greenwich y a una altura de 467 m sobre el nivel del mar, la temperatura media es de 25.5°C. La precipitación media anual es de 4.260 mm, lo que es un factor importante para tener en cuenta en la influencia como detonante en la generación y/o activación de deslizamientos (IGAC, 1996).

Las lluvias están distribuidas en un régimen monomodal donde los meses más lluviosos son abril, mayo y octubre, y los menos lluviosos son de diciembre a marzo. La humedad relativa promedio anual es del 80%. Según datos preliminares del censo de 1993, la población urbana del municipio superaba los 190.000 habitantes (IGAC, 1996).

La actividad económica es dinámica y se concentra principalmente en el comercio, la agricultura, la ganadería y la explotación de petróleo y gas a pequeña escala en el campo Apiay operado por ECOPETROL (Empresa Colombiana de Petróleos). El comercio es el sector más dinámico, porque a través de Villavicencio, se canalizan hacia Bogotá y otras ciudades del interior, la mayoría de los productos agropecuarios y agroindustriales de los Llanos Orientales de Colombia.

Villavicencio es una ciudad con una población importante y con un gran potencial de desarrollo económico, se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta, por esta razón, es de vital importancia realizar labores que conduzcan a minimizar un desastre de tipo sísmico mediante la realización de estudios de riesgo, que incluyan amenaza regional, microzonificación sísmica y evaluación de la vulnerabilidad de las estructuras convencionales, infraestructura especial y de las líneas vitales como los sistemas de acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, gas, etc.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente estudio es realizar la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Villavicencio a partir de investigaciones realizadas anteriormente, análisis de información recopilada, eventos sísmicos previos y deslizamientos, a fin de obtener una primera aproximación sobre el comportamiento dinámico de los suelos de diferentes zonas de la ciudad en caso de un sismo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El estudio tiene los siguientes objetivos específicos:

Adoptar criterios basados en la geología, geomorfología y geotecnia aplicados a los materiales presentes en la ciudad, estableciendo un modelo que permita prever las características de respuesta dinámica de los suelos del área urbana ante un sismo.

Realizar una revisión de los daños causados por los eventos sísmicos previos del área urbana en Villavicencio, con el fin de determinar posibles zonas susceptibles a la amplificación de la señal sísmica (efectos locales).

Realizar la fotointerpretación de la zona en estudio, con base en fotografías aéreas recientes del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), para obtener un modelo más aproximado a la realidad de las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas presentes en el área urbana de Villavicencio.

Presentar un modelo geológico preliminar de Villavicencio, representado en un mapa en escala 1:25.000 obtenido de la fotointerpretación de las fotografías aéreas, de la recopilación y análisis de la información presente en la bibliografía disponible.

Presentar un modelo geomorfológico preliminar de Villavicencio, representado en un mapa en escala 1:25.000 obtenido de la fotointerpretación de las fotografías aéreas, de la recopilación y análisis de la información presente en la bibliografía disponible.

Presentar un modelo geotécnico aproximado de Villavicencio, representado en un mapa en escala 1:25.000 obtenido de la evaluación del modelo geológico y de la recopilación y análisis de la información presente en la bibliografía disponible.

3. METODOLOGÍA

La investigación tanto en su alcance como en su procedimiento se llevó a cabo por medio de la adaptación de 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.

En primer lugar se realizó una revisión de eventos sísmicos previos ocurridos en el área, a fin de ubicar posibles zonas susceptibles a efectos locales, posteriormente se procedió a un proceso de recopilación de información de interés con base en diversos catálogos y registros de los eventos sísmicos. Adicional a estos catálogos se consultó bibliografía disponible en diferentes entidades, así como reportes en periódicos relacionados con daños ocurridos en eventos pasados en el área de interés para ubicar a partir de la localización e intensidad de los daños en el área urbana de Villavicencio, posibles zonas susceptibles a amplificación de la señal sísmica (evidencia de efectos locales).

A continuación se realizó un análisis de la información recopilada referente a la geología, geomorfología y geotecnia de Villavicencio consultada en entidades que han realizado estudios relacionados en estos tópicos.

Adicionalmente se dispuso de cartografía IGAC (1983a 1983b, 1992a) y DANE (1999) (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), además se realizó fotointerpretación geológica y geomorfológica de fotografías áreas del IGAC (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de cartografía y fotografías aéreas.

Fuente	Escala	Descripción
IGAC	1:25.000	266-II-B, 266-II-D, 1983
	1:10.000	Plano Urbano de la ciudad de Villavicencio, 1992
DANE		Base Digital, 1999, Formato E00

Vuelo	Sobre	Escala aproximada	Fecha de Toma	Fotos No
C-2627	37876	1:43.400	2-4/12/97	084 – 088
C-2627	37875	1:44.000	2-4/12/97	077 – 081
C-2627	37874	1:46.300	2-4/12/97	064 – 068

4. EVALUACIÓN SISMOGÉNICA

4.1 EVENTOS SÍSMICOS PREVIOS

4.1.1 Catálogo de Eventos Sísmicos Previos

El uso del catálogo de eventos sísmicos es de suma importancia tanto a nivel histórico como a nivel de datos actualizados, porque además de ser una herramienta para la ubicación de fuentes sismogénicas en el área de estudio, permite tener una visión global de los aspectos que posiblemente tengan inferencia en la determinación de la amenaza sísmica de una zona en particular.

El catálogo de eventos sísmicos fue consultado de la página web del USGS (2000) del proyecto SISRA, para el periodo comprendido entre 1471 y 1981, y para 1981 - 1999 incluye los datos del PDE (Preliminary Determinations of Epicenters).

4.1.2 Indicios de Posibles Efectos Locales

A partir de la compilación bibliográfica realizada en medios de comunicación escritos y libros destinados a hacer recuento de la historicidad de los sismos como el escrito por el Padre Jesús Emilio Ramírez S. J., Historia de los Terremotos en Colombia (Ramírez, 1975) se pueden situar en un mapa, los lugares donde están ubicadas las edificaciones que más se han visto afectadas debido a la ocurrencia de un sismo (Figura 1).

El siguiente es el recuento que se tiene de las edificaciones que se afectaron notoriamente con los terremotos.

- Agosto 18/ 1917. Llano 7 días (05/04/1999) Catedral de Villavicencio.
- Enero 29/1963 El Siglo 1963. Oficinas de la Gobernación, Cuarteles de policía.
- Febrero 10/1967 La República. Edificio de la Gobernación.
- Febrero 10/1967 El Siglo. Banco de Bogotá, Banco Cafetero, Concentración Abraham Lincoln (Barrio El Retiro).

4.1.3 Catálogo de Deslizamientos, Licuefacción y otros fenómenos Inducidos

La ciudad de Villavicencio debido a su ubicación geográfica y al régimen pluviométrico que rige la zona, es sumamente propensa a diferentes tipos de fenómenos de remoción de masa.

A continuación se presenta la tabla 2 en donde se resumen los deslizamientos ocurridos en la zona urbana de Villavicencio durante la década 1990-1999.

Tabla 2. Resumen de Deslizamientos Zona Urbana de Villavicencio (1990-1999).

Fecha	Lugar	Generalidades	Referencia
06/12/1990	Cerro Cristo Rey (El rincón de María)	6 muertos ,10 heridos 3 viviendas arrasadas	El Tiempo(06/12/1990)
09/16/1992	Playa Rica	6 viviendas destruidas	El Tiempo(09/16/1992)
11/21/1996	Cerro Cristo Rey (San José)	1 muerto, 5 heridos 3 viviendas arrasadas	El Tiempo(11/21/1996)
05/28/1997	Cerro Cristo Rey (El Espejo)	3 muertos, 5 heridos, 4 viviendas arrasadas 3 desaparecidos 200 m ³ de lodo	El Tiempo(05/28/1997)
06/10/1997	Cerro Cristo Rey (El Espejo)	15 viviendas arrasadas 4 muertos	Llano 7 días(06/10/1997)
06/10/1997	Playa Rica (Barrio Villa Lorena)	6 familias en peligro de perder su vivienda	Llano 7 días(06/10/1997)
1996	Desembocadura Quebrada Honda	Tramo tubería conducción destruida	Llano 7 días(07/22/1997)
07/22/1997	Quebrada Honda Planta de tratamiento La Esmeralda	Deslizamiento 35 mil m ³ de material. 140 metros de tubería de conducción destruida.	Llano 7 días(07/22/1997)

Es importante anotar que no se tiene conocimiento del fenómeno de licuefacción en el área urbana de Villavicencio, ya que la bibliografía disponible no reporta información del aspecto mencionado. Lo anterior no quiere decir que algunas zonas de la ciudad no sean susceptibles a este tipo de fenómenos.

5. 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 usó la definida por Ingeominas (1996), en la plancha No. 266, Villavicencio, a escala 1:100.000.

Durante el proceso de fotointerpretación se encontraron características y rasgos cuya precisión y definición requiere de control y verificación de campo, relacionados especialmente con la composición litológica de los materiales, ubicación y definición de zonas de discontinuidad estructural, como son las fallas y fracturas principales, labor a realizarse en la Fase II de los estudios de microzonificación.

5.1 GEOMORFOLOGÍA

- **Metodología**

La delimitación de unidades geomorfológicas para la ciudad de Villavicencio se basa fundamentalmente en el sistema de clasificación fisiográfica del terreno (IGAC,1992b).

El sistema tiene una estructura piramidal, cuyo vértice lo constituyen las estructuras geológicas a nivel continental, a saber:
Cordilleras de plegamiento, escudos o cratones y geosinclinales o grandes cuencas de sedimentación.

A partir de las anteriores unidades, surgen cinco categorías o niveles de generalización fisiográfica, que de lo general a lo particular son:
Provincia fisiográfica, unidad climática, gran paisaje o unidad genética del relieve, paisaje y subpaisaje.

En la figura 2 se observan las diferentes zonas geomorfológicas desarrolladas por medio de la fotointerpretación. La leyenda que acompaña la figura 2 está contenida en la tabla 3.

Tabla 3 Leyenda de las zonas geomorfológicas de Villavicencio.

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Simbolo
Vertiente Oriental Cordillera Oriental	Cálido Húmedo	Relieve Montañoso Denudativo	Montañas erosionales en rocas sedimentarias	Laderas erosionales en pendientes de fuertemente quebradas a escarpadas	Ch111
			Vallecitos intramontanos	Plano de inundación	Ch121
Megacuena de Sedimentación de la Orinoquía	Cálido Húmedo	Planicie Aluvial de Desborde	Plano de inundación	Complejo de orillares	Ch211
				Vega baja	Ch212
				Sobrevega	Ch221
			Terraza	Ch231	
		Piedemonte Aluvial	Abanico	Superficie no disectada	Ch311

5.2 LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

Las formaciones que afloran en Villavicencio varían desde el Paleozoico hasta el Cuaternario

5.2.1 Rocas Precámbricas a Jurásicas

- Metamorfitas del Quetame (Peq)

Constan de varios conjuntos de metamorfitas, cuarcitas, filitas verdes, grises y moradas, metalimolitas y en menor proporción por esquistos sericíticos y cloríticos y brechas cataclásticas. Afloran entre los caños Buque y Parrado al oeste de la falla El Mirador (Ingeominas, 1996).

- Formación Brechas de Buenavista (Jsb)

Según Dorado (1990) esta formación consta de un segmento inferior donde se encuentran ruditas o conglomerados cementados en cuya armazón predominan fragmentos angulosos de pizarras, filitas y esquistos y en menor porcentaje, fragmentos de conglomerados ortocuarcíticos con cantos redondeados de cuarzo lechoso.

5.2.2. Rocas Cretáceas

- Formación Lutitas de Macanal (Kilm)

Consta de lodolita gris oscura, laminar con delgadas intercalaciones de arenisca lítica de grano medio, con algunos niveles calcáreos (Ingeominas, 1996). Esta formación conforma principalmente el relieve ubicado al norte y noreste de Villavicencio.

- Formación Arenisca de Cáqueza (Kic)

Consta de areniscas cuarzosas, blancas de grano medio a conglomerático con gránulos de cuarzo de hasta 1 cm de diámetro. Presenta intercalaciones de lodolita gris verdosa (Ingeominas, 1996). Conformar una franja que se extiende desde el suroeste hacia el noroeste en dirección NNE.

- Formación Fómeque (Kif)

Consta de arcillolitas pardo amarillentas, alternando con areniscas líticas de color gris, localmente calcáreas, en capas medias a gruesas (Ingeominas, 1996). Conformar una franja delgada que se extiende en dirección paralela a la estructura principal (NNE).

- Formación Une (Kiu)

Consta de arenisca de color gris claro a blanco amarillento, cuarzosa, de grano grueso a ligeramente conglomerático, con gránulos de hasta 5 cm de diámetro, constituidos por cuarzo blanco lechoso (Ingeominas, 1996).

- Formación Chipaque (Ksc)

Consta de lodolita negra a gris oscura en bancos gruesos, con intercalaciones de arenisca cuarzosa, de color gris claro a gris oscuro, de grano medio en capas de 40 cm de espesor (Ingeominas, 1996). Aflora al nororiente de Villavicencio en las colinas inferiores ubicadas al occidente de la vía Villavicencio – Cumaral.

- Grupo Palmichal (Ktp)

Según Caro y Garcia (1987) esta formación consta de un nivel inferior con predominio arenoso, un nivel intermedio de lutitas arcillosas con esporádicas intercalaciones arenosas y un nivel superior arenoso.

5.2.3. Rocas Terciarias

- Formación La Corneta (Tqc)

Consta de conglomerado que incluye desde bloques hasta guijos de cuarcita, arenisca y lodolita en matriz arenosa gruesa (Ingeominas, 1996). Aflora en las colinas bajas que se ubican al suroccidente de Villavicencio, ubicadas al occidente de la vía Villavicencio – Acacías.

5.2.4. Depósitos Cuaternarios

En el estudio realizado por Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá, (1983) se encuentran descritos los siguientes depósitos cuaternarios.

- Abanicos coluvio aluviales (Qcd)

En la parte más alta del abanico de Villavicencio se sitúa la ciudad, donde predominan los suelos de textura franco limosa. Conforman un cono terraza aluvio torrencial.

- Coluviones (Qdp)

Son depósitos recientes de talus, producto del desgarre de materiales en la parte alta de las laderas.

- Terrazas aluviales (Qt)

El área de las terrazas aluviales, en sus niveles altos y bajos, se localiza en ambos márgenes del río Guatiquía. Son depósitos que conforman diferentes niveles de altura y desarrollo de escarpes aterrazados.

- Depósitos aluviales recientes (Qal)

Esta unidad está formada por aluviones recientes denominados generalmente vegas; se hallan a lo largo de los ríos Guatiquía, Ocoa y Upín, que al salir de la cordillera forman un sistema entrelazado con muchos brazos en su lecho y frecuentes desplazamientos.

5.3 ESTRUCTURAS TECTÓNICAS ACTIVAS

Las estructuras tectónicas activas se refieren a aquellas que tienen indicios de movimiento en época reciente (cuaternario), mientras que las estructuras tectónicas potenciales son aquellas que evidencian algún tipo de movimiento antes del cuaternario. Es importante discriminar las estructuras tectónicas en los dos tipos mencionados ya que su incidencia en la amenaza específica de la ciudad será distinta.

5.3.1 Estructuras Tectónicas Activas

Según Cuellar *et al.* (1988) en el sector cercano a Villavicencio las principales fallas de oriente a occidente son: Villavicencio, Colepato, Mirador- Bavaria, Servitá, La Reforma, Blanca, Pipiral y Susumuco.

5.3.2 Estructuras Tectónicas Potenciales

Según Cortés y De La Espriella (1990) se reconocen 3 sistemas de fallamiento en la región estudiada; el sistema SE-NW, el sistema SW-NE y el sistema E-W.

- Falla Río Negro

El grupo de fallas del sistema SE-NW es muy evidente en la zona del macizo de Quetame y su principal elemento lo constituye la Falla de Río Negro.

- Sistema SW-NE

Las principales fallas en esta zona son la falla de Servitá (N40E/70E), de tipo normal, que podría ser la continuación de la falla de Santa María (Ulloa y Rodríguez, 1979 e Ingetec, 1980), la falla argentina (N45E/70E), y la falla El Mirador (N45E/60-70W).

- Sistema E-W

Fallas que podrían incluirse en este sistema se observan en diferentes localidades, ejemplo la falla quebrada Honda, Susumuco, pero la más relevante por su longitud es la falla Pescado.

5.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

5.4.1 Metodología

La caracterización geotécnica presentada en este documento es de carácter general, ya que para su elaboración no se contó directamente con información geotécnica del subsuelo. La caracterización geotécnica está basada exclusivamente en el conocimiento que se tiene de las propiedades geotécnicas de las unidades geológicas determinadas con base en la cartografía disponible y en la fotointerpretación realizada. Para la realización de la zonificación geotécnica, las unidades geológicas se agruparon de tal manera que en cada grupo las características geomecánicas son similares (Instituto Geofísico Universidad Javeriana y Consultoría Colombiana, 2000).

Adicionalmente, 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 cimentaciones 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, IVM ó IP, IIP, IIIP de más competentes a menos competentes.

5.4.2 Definición de Unidades Existentes

Se determinaron cuatro (4) sub-zonas (IM, IIM, IIIM y IVM) en la zona montañosa y tres (3) sub-zonas (IP, IIP y IIIP) en la zona plana.

La descripción de las sub-zonas correspondientes a la zona montañosa es mostrada en la Tabla 4.

Tabla 4 Zonificación geotécnica en la zona montañosa de Villavicencio.

SUB-ZONAS	DESCRIPCIÓN
IM – Rocas Duras – Metamorfitas de Quetame y Brechas de Buenavista	Cuarcitas; filitas verdes, grises y moradas; metalimolitas; y en menor proporción esquistos sericíticos y cloríticos. Se incluyen Brechas y Conglomerados cementados (cemento silíceo o calcáreo), clastosoportados, en cuyo esqueleto predominan fragmentos angulosos a semiredondeados de pizarras, filitas, y esquistos, y en menor porcentaje fragmentos de conglomerados. El tamaño de los fragmentos varía entre gravas y bloques.

SUB-ZONAS	DESCRIPCIÓN
IIM – Rocas de las Formaciones Cáqueza, Une, Chipaque y La Corneta	Se trata de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso con intercalaciones de lodolitas de color gris verdoso a gris oscuro. Se incluyen también conglomerados compuestos por fragmentos con tamaños que varían entre cantos y bloques, de cuarcita, arenisca y lodolita en matriz arenosa gruesa.
IIIM – Rocas Blandas Fracturadas y Replegadas de las formaciones Lutitas de Macanal, Fómeque y el Grupo Palmichal	Consta de lodolitas gris oscuras o lutitas de color negro, laminadas y con delgadas intercalaciones de arenisca de grano medio. En algunos sitios se encuentran capas delgadas de conglomerados. Los niveles arenosos son friables a muy friables.
IVM – Depósitos de Talus	Material transportado de la parte alta de las laderas, con predominio de la gravedad. En algunos sitios pueden estar conformados por cerros constituidos por terrazas aluviales.

La descripción de las sub-zonas correspondientes a la zona plana es presentada en la Tabla 5.

Tabla 5 Zonificación geotécnica en la zona plana de Villavicencio.

SUB-ZONA	DESCRIPCIÓN
IP – Abanico de Villavicencio	Cono o terraza aluvio-torrencial de características heterogéneas. Así, en las partes cercanas a las estribaciones de la cordillera, consiste de materiales gruesos que han sido arrastrados de las partes altas por acción de la gravedad y las corrientes de agua; alejándose un poco más de la cordillera, el material consiste de cascajo y gravilla; y finalmente, en las partes más alejadas de las estribaciones se encuentran materiales más finos, como arenas, limos y arcillas.
IIP – Terrazas Aluviales	Compuestas por gravas con muy poco contenido de arena. Estos depósitos son producto de eventos torrenciales recientes como flujos de lodo, escombros o avalanchas de origen fluvial. Se localizan en ambas márgenes del río Guatiquía.
IIIP – Depósitos Aluviales Recientes	Constituidos por fragmentos de rocas sedimentarias, con un alto porcentaje de matriz areno-arcillosa. Se hallan a lo largo de los ríos Guatiquía, Ocoa y Upín.

6. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR

6.1 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para realizar el mapa de microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Villavicencio es el resultado de la integración de los elementos enunciados en la metodología de trabajo, resumidos en la integración de los siguientes elementos:

Zonas extractadas del mapa de zonificación geotécnica que sirven de base para el mapa de microzonificación, calificadas en grados de susceptibilidad (figura 3).

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 4).

Rasgos del mapa geológico asociados a procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, morfologías asociadas a abanicos coluvio aluviales y depósitos aluviales recientes, morfologías asociadas a remanentes de geoformas volcánicas, escarpes aterrizados profundos e incipientes, áreas erosionadas con carcavamiento y surcos activos, zonas con reptación.

Zonas del mapa geomorfológico identificadas como valles intercolinares, valles y vallecitos aluviales y planos de inundación.

Puntos de posible amplificación topográfica señalados a partir del cálculo del gradiente topográfico existente en las zonas montañosas ubicadas en las inmediaciones noroccidentales de la ciudad.

Ubicación de los puntos de eventos previos debido a construcciones afectadas durante sismos pasados (figura 1).

Zonas susceptibles a deslizamiento obtenidas por analogía y relación entre la zona de deslizamiento identificada en la fotointerpretación geológica, la pendiente topográfica del terreno y el tipo de material geotécnico.

6.2 RESULTADOS

Los resultados obtenidos se observan en la figura 5 y han sido extractados de Instituto Geofísico Universidad Javeriana y Consultoría Colombiana S.A. (2000).

6.2.1 Licuefacción

Predominio de amplios depósitos aluviales localizados en los ríos Guatiquía y Ocoa, con susceptibilidad alta a la licuefacción por su caracterización geomorfológica y geotécnica debido entre otros factores a la naturaleza granular de los materiales.

6.2.2 Deslizamientos

Presencia de escarpes aterrazados profundos que delimitan los cauces de los caños Maizaro y Parrado situados en la zona central urbana de Villavicencio, con densa concentración de viviendas y población en sus bordes.

Alta concentración de deslizamientos con generación de volúmenes importantes de material, localizados en las laderas de la zona montañosa al oriente de Villavicencio.

Alta concentración de zonas susceptibles a deslizamiento con pendientes entre 25% - 50% en zonas de rocas blandas fracturadas y pendientes mayores de 50% en rocas de las formaciones Cáqueza, Une, Chipaque y La Corneta al occidente de Villavicencio.

6.2.3 Amplificación de la señal sísmica

Se detectó alta concentración de puntos de posible amplificación topográfica en la ladera occidental entre la quebrada Honda y Bavaria, en el sector del barrio Las Américas, y en el cerro de Cristo Rey, en el primer sitio también se tiene conocimiento de deslizamientos de una gran cantidad de material debido a la detonación por concentración de agua en estos taludes (Llano 7 días, 07/22/1997).

Concentración de puntos de eventos previos en el sector central de la ciudad, localizados sobre una cuña delimitada por las fallas Colepato y Villavicencio, y en medio de dos corrientes naturales (caño Gramalote y caño Parrado) donde existe la posibilidad de amplificación de la señal sísmica debido a la refracción y reflexión de las ondas generadas por el evento por el contraste de rigidez de los materiales.

6.2.4 Otros

La zona montañosa ubicada al occidente y norte de la ciudad de Villavicencio se caracteriza por el cruce de importantes sistemas de discontinuidades estructurales como son las fallas Colepato, Bavaria y El Mirador pertenecientes al sistema de fallas de Guaicaramo, que en un momento dado pueden ser generadoras de movimientos

telúricos. La parte central plana de Villavicencio se encuentra afectada por el cruce del trazo de la falla de Villavicencio, cubierta en este sector por el abanico coluvio aluvial de Villavicencio, recorriéndola de Norte - Este a Sur - Oeste cruzando por importantes sitios del centro urbano.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Villavicencio se encuentra ubicado en la estribación oriental de la cordillera oriental en el denominado piedemonte llanero, en el que predomina un número significativo de fallas activas, que en los últimos años ha sido fuente de eventos sísmicos de una magnitud apreciable.

A través de la fotointerpretación y del análisis de la bibliografía consultada se caracterizó los materiales del subsuelo con base en el conocimiento que se tiene de las propiedades geotécnicas de las unidades geológicas. Estas se dividieron en zona de montaña y zona plana. Las zonas de montaña son:

- IM – Rocas Duras – Metamorfitas de Quetame y Brechas de Buenavista. Aquí se incluyen tanto cuarcitas, filitas y esquistos como brechas y conglomerados cementados clastosoportados.
- IIM – Rocas de las Formaciones Cáqueza, Une, Chipaque y La Corneta. Son areniscas cuarzosas y conglomerados con fragmentos de cuarcita arenisca y lodolita.
- IIIM – Rocas Blandas Fracturadas y Replegadas de las formaciones Lutitas de Macanal, Fómeque y el Grupo Palmichal. Compuestas por lodolitas y lutitas, con niveles arenosos friables a muy friables.
- IVM – Depósitos de Talus. Correspondiente a material transportado.

Y en la zona de plana son:

- IP – Abanico de Villavicencio. Corresponde principalmente a conos o terrazas aluvio-torrenciales de características heterogéneas.
- IIP – Terrazas Aluviales. Estos depósitos son producto de eventos torrenciales recientes.
- IIIP – Depósitos Aluviales Recientes. Se constituyen por fragmentos de rocas sedimentarias, hallados a lo largo de los ríos Guatiquía, Ocoa y Upín.

En las márgenes del río Guatiquía y Ocoa, existe la posibilidad de licuefacción si se tiene en cuenta la naturaleza granular de los materiales en las riberas de los mismos, por lo que las estructuras ubicadas en las inmediaciones de estos ríos podrían verse seriamente afectadas en el momento en que se genere un sismo con una intensidad apreciable.

La presencia de escarpes aterrazados profundos delimitando los cauces de los caños Maizaro y Parrado hacen que esta zona de la ciudad pueda verse afectada por deslizamientos ocasionados por diferentes factores (antrópicos o naturales), como por ejemplo el mal manejo de las aguas servidas como ha ocurrido en el Cerro de Cristo Rey, por alzas en el nivel de agua de dichos caños, o por un sismo que genere el número de ciclos necesarios para que el suelo pierda su capacidad de soporte zonas.

Debido a la concentración de puntos o sitios donde puede ocurrir amplificación de la señal por las características topográficas del terreno se esperaría que en el momento de un sismo se vea muy afectada la parte noroccidental de la ciudad en el sector del Cerro de Cristo Rey. Lo anterior sumado a los reportes de deslizamientos ocurridos en esta zona con pérdidas de vidas humanas, hace pensar que esta zona es altamente susceptible a verse afectada con la ocurrencia de un sismo. La concentración de puntos de posible amplificación topográfica en la ladera occidental entre la quebrada Honda y Bavaria y en el sector del barrio Las Américas; deslizamientos debido a la detonación por concentración de agua en estos taludes, estos dos factores permiten pensar en el alto grado de concordancia entre la amplificación topográfica (gradiente y alta pendiente) y los deslizamientos históricos (alta pendiente), lo que conlleva a que una cantidad importante de los habitantes cercanos a los sitios mencionados estén en zonas con gran posibilidad de verse afectados durante un evento sísmico.

La alta concentración de zonas susceptibles a deslizamiento con pendientes entre 25% - 50% en zonas de rocas blandas y fracturadas al noroccidente de la ciudad hace que sea un factor preocupante ya que se encuentra en la zona de acceso de Villavicencio desde el centro de Colombia, además se sabe que por allí es donde ocurre la mayor parte de intercambio de productos y el sitio de convergencia del oriente de Colombia con el centro del país, por lo tanto si se genera un deslizamiento de gran proporción el intercambio económico sufriría un colapso, además del número de personas que pueden ser damnificadas con un fenómeno de remoción en masa de gran magnitud.

Durante el proceso de fotointerpretación se encontraron características y rasgos cuya precisión y definición requiere de control y verificación de campo, relacionados especialmente con la composición litológica de los materiales, ubicación y definición de zonas de discontinuidad estructural, como son las fallas y fracturas principales, labor a realizarse en la Fase II de los estudios de microzonificación.

Finalmente es imprescindible reconocer el hecho de que una ciudad importante para el desarrollo económico del país tenga un estudio de microzonificación sísmica que sirva como herramienta de planeación para el desarrollo urbanístico del mismo y que sirva de base para las medidas de prevención y atención de desastres de tipo natural. Para llevar a cabo la segunda instancia de este estudio es necesario la ayuda de instituciones de carácter gubernamental y no gubernamental que faciliten y contribuyan al desarrollo del mismo.

REFERENCIAS

- Association Francaise du Genie Parasismique-AFPS. (1995). Guidelines for Seismic Microzonation Studies. Paris.
- Caro P. y J. García. (1987). Estudio Geológico Geotécnico del Cerro de Cristo Rey. Ingeominas. Bogotá.
- Cortés R. y R. De La Espriella. (1990). Apuntes sobre la tectónica del valle del río Negro al oriente de Cundinamarca. *Geología Colombiana*. No 17.
- Cuellar J., C. Dimaté y J. Duarte. (1988). Estudio de la Actividad Sísmica del Sistema de Fallas de Guaicaramo entre Villavicencio (Meta) y Aguaclara (Casanare). Ingeominas. Bogotá.
- DANE. (1999). Base Digital de Villavicencio. Bogotá.
- Dorado J., (1990). Contribución al conocimiento de la estratigrafía de la formación Brechas de Buenavista (Límite Jurásico - Cretáceo), región noroeste de Villavicencio (Meta). *Geología Colombiana* No 17.
- El Siglo, (01/29/1963).
- El Siglo, (02/10/1967).
- El Tiempo, No 79. (06/12/1990). Seis muertos por alud en Villavicencio.
- El Tiempo, No 81. (09/16/1992). Damnificadas 16 familias.
- El Tiempo, No 85. (11/ 21/1996). El invierno deja un muerto en Villavicencio.
- El Tiempo, No 86. (05/28/1997). Tres muertos por avalancha en Villavo.
- El Tiempo, No 86. (06/22/1997). Río Guatiquía creció como nunca antes.

Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá. (1983). Proyecto Hidroeléctrico Rio Negro-Guayuriba. Proyecto La Rosa.

IGAC. (1983a). Plancha 266-II-B Escala 1:25000. Bogotá.

IGAC. (1983b). Plancha 266-II-D Escala 1:25000. Bogotá.

IGAC. (1992a). Plano Urbano de la Ciudad de Villavicencio. Escala 1:100000. Bogotá.

IGAC. (1992b). *Revista CIAF*. Centro de Investigaciones en Percepción remota. Vol 15 No 1. P. 83 – 115.

IGAC. (1996). Diccionario Geográfico de Colombia- Ed. Subdirección de Investigaciones y Divulgación Geográfica Santafe de Bogotá. CD ROM.

IGAC. (1997). Fotografías aéreas 64 – 68, 77 – 81 y 84 – 88 del Vuelo C-2627.

Ingeominas. (1996). Plancha 266 Villavicencio. Escala 1:100 000. Santafé de Bogotá.

Ingetec. (1980). Proyecto Hidroeléctrico del Guavio. Licitación G110 conducción y central subterránea. Apéndice B. Geología e Investigación del subsuelo. Vol 3 y 4. Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá EEEB, Bogotá, Inédito.

Instituto Geofísico Universidad Javeriana y Consultoría Colombiana S. A., (2000). Microzonificación Sísmica Preliminar de Villavicencio. Memoria Técnica. Bogotá.

La República. (02/10/1967).

Llano 7 días. (07/ 22/1997). En riesgo el acueducto.

Llano 7 días. (06/10/1997). Filtración de aguas causó la tragedia en el espejo.

Llano 7 días. (05/04/1999).Terremoto Sacudió la Catedral, Especial 100 años de historia de Villavicencio.

Ramírez J., (1975). Historia de los Terremotos en Colombia. Ed. IGAC, Subdirección de Investigaciones y Divulgación Geográfica. Bogotá.

Ulloa, C y E. Rodríguez. (1979). Geología del cuadrángulo K12, Guateque. *Bol. Geol.* 12 (No. 1), 3-55.

USGS. (2000). www.earthquake.usgs.gov. Catálogo de Terremotos para América del Sur. Proyecto del CERESIS.

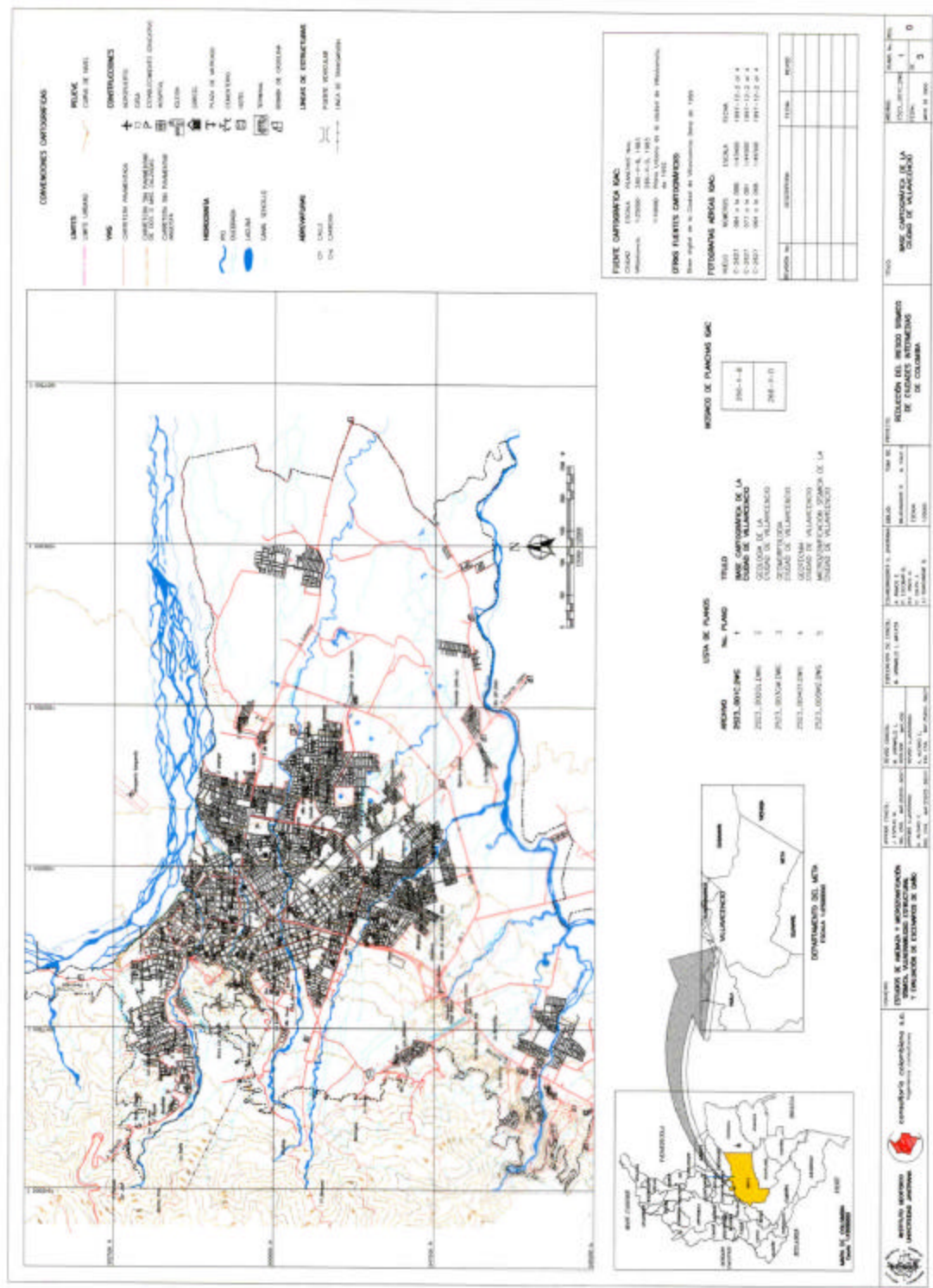


Figura 1. Base Carotgráfica de la ciudad de Villavicencio.

