

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

**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 Bernal  
Alfonso Mariano Ramos Cañón  
Carlos Enrique Calpa Jimenez  
John Jairo Guacaneme Bermeo  
Ronald Eduardo Pinto Navarrete  
Carolina María González Rodríguez

**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.

## **MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE BARRANCABERMEJA**

### **RESUMEN**

El presente documento es un resumen del estudio realizado por el Instituto Geofísico Universidad Javeriana y consultoría Colombiana S. A. denominado Microzonificación Sísmica Preliminar de Barrancabermeja. La ciudad de Barrancabermeja cuya población supera los 136.000 habitantes, es el principal centro petroquímico del país, se encuentra ubicada a orillas del río Magdalena que es la más importante arteria fluvial de Colombia y se localiza aproximadamente a 535 kilómetros al norte de Bogotá. El marco tectónico de la ciudad es complejo y presenta una marcada actividad, en el cual las fallas Zulia, Bucaramanga-Santa Marta, Pamplona-Chigatá, Boconó y la zona del Nido de Bucaramanga, son las fuentes sismogénicas, hasta ahora reconocidas, de mayor efecto.

Por otra parte la ubicación geográfica de la ciudad de Barrancabermeja en la ribera del río Magdalena y con las ciénagas de Miramar, San Silvestre y Del Castillo, dentro de la ciudad, se constituye en un factor de amenaza importante. Se han registrado problemas cuando el nivel del río supera la cota de aguas máximas afectando algunos barrios del municipio.

Se detectaron siete zonas con distintos grados de susceptibilidad. De esta forma, la zona de susceptibilidad muy alta son los rellenos hidráulicos o convencionales hechos por el hombre constituidos por suelos blandos con niveles freáticos bastante superficiales, además de ser suelos potencialmente licuables. La zona de susceptibilidad alta por caracterización geotécnica son suelos blandos o semiblandos de origen fluvio-lacustre del Cuaternario con predominio de materiales granulares y niveles freáticos superficiales. La zona de susceptibilidad media-alta son depósitos de terrazas constituidos por arenas finas limosas, limos arcillosos y arenosos, gravas finas a gruesas en matriz arcillosa o limo-arenosa y lentes de materia orgánica. La zona de susceptibilidad media son suelos finos de la Formación Mesa medianamente duros a duros con niveles freáticos a profundidades intermedias. Son suelos bastante abundantes en la ciudad de Barrancabermeja. La zona de susceptibilidad media-baja por caracterización geotécnica son suelos finos y pertenecen a la Formación Real. El nivel freático generalmente se encuentra a profundidades mayores a los 10 o 15 metros excepto en las zonas aledañas a las ciénagas. La zona de susceptibilidad baja son suelos granulares de la Formación Mesa que presentan dureza elevada niveles freáticos entre los 5 y los 20 m de profundidad. Por último, la zona de susceptibilidad muy baja por caracterización geotécnica son suelos granulares de la Formación Real, generalmente duros y con niveles freáticos bastante profundos.

## **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.

Agradecemos especialmente la colaboración del Geólogo, M. Sc. Alberto Lobo-Guerrero Uscategui por la información contenida en el Estudio Geológico para el Puente sobre el río Magdalena entre Yondo (Antioquia) y Barrancabermeja (Santander) investigación realizada en el año 1990 para Maldonado Ingeniería S.A.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	8
4. ESTUDIOS PREVIOS.....	9
5. METODOLOGÍA.....	9
6. EVALUACIÓN SISMOGÉNICA .....	11
7. MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO.....	12
7.1 GEOMORFOLOGÍA.....	12
7.1.1 Metodología.....	12
7.1.2 Descripción de Unidades Geomorfológicas .....	12
7.2 GEOLOGÍA .....	13
7.3 ESTRUCTURAS TECTÓNICAS.....	13
7.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	13
7.4.1 Metodología.....	13
8. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR.....	16
8.1 Descripción de la Microzonificación Sísmica.....	17
8.1.1 Susceptibilidad por caracterización geotécnica.....	18
8.1.3 Rasgos Geológicos .....	20
8.1.4 Rasgos Geomorfológicos.....	20
8.2 Resultados.....	21
8.2.1 Fenómenos Inducidos.....	21
REFERENCIAS .....	26

### **LISTA DE FIGURAS**

- Figura 1 . Base Cartográfica de la Ciudad de Barrancabermeja. (Plano 1/1)
- Figura 2 . Mapa general de ubicación de epicentros con la magnitud.
- Figura 3 . Geomorfología de la Ciudad de Barrancabermeja. (Plano 3/5)
- Figura 4 . Geología de la Ciudad de Barrancabermeja. (Plano 2/5)
- Figura 5 . Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Barrancabermeja. (Plano 4/5)
- Figura 6 . Microzonificación Sísmica Preliminar para Barrancabermeja. (Plano 5/5)

### **LISTA DE TABLAS**

- Tabla 1. Relación de cartografía y fotografías aéreas.
- Tabla 2. Unidades Geomorfológicas de Barrancabermeja.
- Tabla 3. Zonificación geotécnica de Barrancabermeja.
- Tabla 4. Resumen de las características de las sub-zonas geológicas de Barrancabermeja.
- Tabla 5. Microzonificación Sísmica Preliminar de Barrancabermeja.

## 1. INTRODUCCIÓN

Barrancabermeja es la segunda ciudad del departamento de Santander y el primer centro petroquímico de Colombia. Su cabecera está localizada en la margen derecha del río Magdalena, a los 07° 03' 55" de latitud norte y 73° 51' 17 de longitud oeste. La altura sobre el nivel del mar es de 81 m y la precipitación media anual es de 2.675 mm. Dista de Bucaramanga, capital del departamento, 115 km. El área municipal es de 1.274 km<sup>2</sup>. El territorio en su mayor parte es plano, y corresponde al valle del río Magdalena; riegan sus tierras los ríos Oponcito, Sogamoso, La Colorada, numerosas quebradas y corrientes menores así como las ciénagas Brava, Castillo, San Juan, San Silvestre, Miramar, Del Castillo y Zarzal (IGAC, 1996). En la Figura 1 se muestra la ubicación de la ciudad de Barrancabermeja en el departamento de Santander.

El territorio de Barrancabermeja estaba habitado por los indígenas Yariguíes, que tenían un caserío llamado La Tora, el cual fue descubierto en 1536 por Gonzalo Jiménez de Quezada, quién lo llamó Barrancabermeja y donde acampó 3 meses. Con la apertura de un nuevo camino entre la costa y el interior por el puerto de Honda, se abandonó el camino del Opón y el puerto de Barrancabermeja. Luis Enríquez fundó el 2 de febrero de 1601 un pueblo en el sitio de Barrancabermeja y se construyó una fortaleza. El Capitán Juan de Campos lo trasladó a la orilla opuesta, conociéndose como Presidio del Carare (IGAC, 1996).

El acontecimiento más importante en la historia de Barrancabermeja fue el descubrimiento del petróleo con fines comerciales en la primera década del siglo XX. A partir de esto comenzó el verdadero desarrollo de la ciudad, acompañado del incremento acelerado de la población. Según datos preliminares del censo de 1993, la población de la cabecera municipal superaba los 136.000 habitantes (IGAC, 1996).

Su economía se desarrolla en torno a la industria del petróleo, la refinería que inició operaciones en 1922, tiene una capacidad de procesamiento de crudo aproximadamente de 190.000 barriles día operación; además abastece el 75% de productos refinados y el 90% de los productos petroquímicos que demanda el país. Las instalaciones ocupan 206 ha, cuenta con más de 50 plantas de procesamiento y se autoabastece de servicios industriales como vapor, electricidad, agua industrial, por lo cual este complejo es reconocido entre los más grandes de Latinoamérica (IGAC, 1996).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo del presente estudio es realizar la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Barrancabermeja 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, además estimar la posibilidad de que se presenten fenómenos inducidos por sismos, como son la licuación y el deslizamiento de suelos en la zona.

Realizar una revisión de los daños causados por los eventos sísmicos previos del área urbana en Barrancabermeja, 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 Barrancabermeja.

Presentar un modelo geológico preliminar de Barrancabermeja, representado en un mapa en escala 1:20.000 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 Barrancabermeja representado en un mapa en escala 1:20.000 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 Barrancabermeja representado en un mapa en escala 1:20.000 obtenido de la evaluación del modelo geológico y de la recopilación y análisis de la información presente en la bibliografía disponible.

### 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 todas las poblaciones.

En el caso concreto de la ciudad de Barrancabermeja, se encuentra ubicada en una de las zonas de mayor actividad sísmica del país en lo que se ha denominado el “nido” de Bucaramanga, donde se presentan una gran cantidad de sismos agrupados en un área relativamente pequeña en el departamento de Santander.

Teniendo en cuenta esta amenaza sísmica, que en estudios previos realizados por Ingeominas y por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica ha sido catalogada como intermedia para la ciudad de Barrancabermeja (AIS *et al.*, 1996), y debido a que las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes NSR-98, exigen una Microzonificación Sísmica para ciudades con poblaciones superiores a los 100 mil habitantes en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, se hace necesaria la realización de un estudio detallado de Microzonificación Sísmica para la ciudad de Barrancabermeja.

Dada la importancia que tiene este tipo de estudios y a fin de dar respuesta a la necesidad de realización del mismo en Barrancabermeja, 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, desarrollar 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.

Es así como la microzonificación sísmica de una ciudad establece zonas de comportamiento dinámico esperado similar, de manera que se puedan establecer allí recomendaciones específicas para el diseño, construcción, reparación y actualización tanto de edificaciones como de líneas vitales (AIS *et al.*, 1996).



#### 4. ESTUDIOS PREVIOS

En cuanto a estudios específicos para la ciudad de Barrancabermeja, Flórez (1993) realizó la Zonificación Sísmica Preliminar de Barrancabermeja, en la cual se presentaron varios mapas, entre los cuales están la zonificación geotécnica preliminar, la zonificación sísmica y un mapa preliminar de potencial de licuación de suelos en la ciudad.

Además existen los estudios geológicos realizados por el Ministerio de Minas y petroleos en 1966, que comprenden la geología del cuadrángulo H-11 dentro del cual se encuentra situada la ciudad de Barrancabermeja y el Estudio General de Suelos de los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches, Sabana de Torres y San Vicente de Chucurí (Departamento de Santander), el cual contiene información de geomorfología de la zona.

En la parte sísmica se cuenta con el estudio de reconocimiento de microsismos en Bucaramanga Colombia, que fue desarrollado dentro del proyecto cooperativo “Nariño II” por el Instituto Geofísico Universidad Javeriana con la colaboración de especialistas de la Universidad de Wisconsin, Madison y de la Universidad del Valle, en 1981.

También en la parte sísmica se encuentra el estudio de Geología Sísmica y Sismicidad del noroeste de Colombia, desarrollado por Page (1986), el cual contiene abundante información sobre el marco tectónico de la región de Santander, fallas activas y fallamientos geológicos al interior de las placas tectónicas. De igual forma fue importante la información contenida en el Estudio General de Amenaza Sísmica para Colombia (AIS *et al.*, 1996).

#### 5. METODOLOGÍA

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 en el expuesto en dicho documento, en lo que este denomina un estudio de nivel A, el cual se basa en la recopilación e interpretación de la información disponible.

El primer paso consistió en realizar 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 de información de interés con base en 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).

Se consultó bibliografía disponible en diferentes entidades, así como reportes en periódicos relacionados con sismología histórica, 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 Barrancabermeja y posibles zonas susceptibles a efectos locales y se realizó un análisis de la información recopilada referente a la geología, geomorfología y geotecnia de la ciudad a fin de establecer la posibilidad de generación de fenómenos locales inducidos por sismos tales como deslizamientos y licuación.

Adicionalmente se dispuso de cartografía IGAC (1961, 1975, 1987) y DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y se realizó fotointerpretación geológica y geomorfológica de fotografías áreas del IGAC (Ver Tabla 1).

**Tabla 1. Relación de cartografía y fotografías aéreas**

<b>Fuente</b>	<b>Escala</b>	<b>Descripción</b>
IGAC	1:25.000 1:10.000	119-I-B, 1961; 119-I-D, 1975 Plano Urbano de la ciudad de Barrancabermeja, 1987
DANE		Base Digital, 1999, Formato E00

<b>Vuelo</b>	<b>Sobre</b>	<b>Escala aproximada</b>	<b>Fecha de Toma</b>	<b>Fotos Nos</b>
C-2587	37464	1:42.200	26/01/96	052 – 055
C-2644	38144	1:40.900	12/06/98	002 – 005
C-2644	38145	1:40.100	12/06/98	057 – 061

Con esta información se determinaron los siguientes aspectos:

- Las estructuras tectónicas activas.
- La modificación de la señal sísmica debido a las condiciones geomorfológicas locales.
- Los fenómenos inducidos tales como licuación, asentamientos, deslizamientos, etc.
- Estructuras Tectónicas Activas

Finalmente, con la conjunción del modelo geológico, geomorfológico, geotécnico y la evaluación de eventos previos, se establecieron zonas de la ciudad con características de respuesta similares a la acción sísmica, a fin de generar un mapa de microzonificación, este mapa se realizó a partir de la integración de aspectos geológicos, geotécnicos, geomórficos y demás factores que influyan en el comportamiento de las diferentes zonas de amenaza de la ciudad, para luego procesar

y graficar el mapa que contiene la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Barrancabermeja.

## 6. EVALUACIÓN SISMOGÉNICA

La información sobre sismicidad, se basa en los catálogos del proyecto SISRA, Programa para la Mitigación de Efectos de los Terremotos en la Región Andina, que comprende sismos entre los años de 1471 y 1981, y los catálogos del PDE (Preliminary Determinations of Epicenters) para los sismos ocurridos entre 1981 y 1999 consultado de la página Web del USGS (2000). El área que fue tomada en cuenta en el catálogo para la ciudad de Barrancabermeja está comprendida entre latitudes 7.5 N y 6.5 N y las longitudes 73.5 W y 74.5 W. Se registraron 209 sismos de los cuales casi la totalidad registrada sucedieron en el siglo XX.

El sismo de mayor intensidad según el catálogo, ocurrió el 31 de Marzo de 1972, registrando un valor de 9 (escala modificada de Mercalli) y con una magnitud de 4.6 mb. Meses después de ocurrido este evento se presentó otro de características similares, el 11 de Junio de 1972 con una intensidad de 8 en la escala modificada de Mercalli y con una magnitud de 4.40 mb.

En la Figura 2, se muestra la distribución de los sismos en la zona de estudio aledaña a la ciudad de Barrancabermeja, tomada de los catálogos de SISRA y PDE. Se observa que existe una leve tendencia de los sismos a concentrarse en la zona este del área de estudio, más concretamente entre las longitudes 73.5 oeste y 73.9 oeste y las latitudes 6.5 y 7.4 norte, donde se encuentra localizada la ciudad de Barrancabermeja.

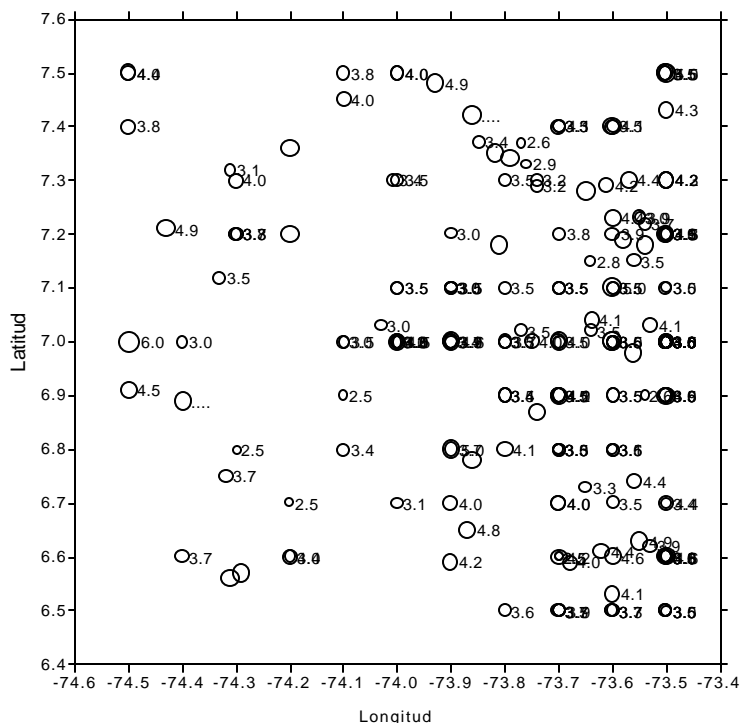


Figura 2. Distribución Espacial de Sismos con la Magnitud.

## 7. MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

### 7.1 GEOMORFOLOGÍA

#### 7.1.1 Metodología

La delimitación de unidades geomorfológicas para la ciudad de Barrancabermeja 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. El sistema tiene una estructura piramidal, cuyo vértice lo constituyen las estructuras geológicas a nivel continental, a saber: Cordilleras de plegamiento, Escudos o cratones, Geosinclinales o grandes cuencas de sedimentación.

#### 7.1.2 Descripción de Unidades Geomorfológicas

Los resultados de las unidades geomorfológicas se presentan en la figura 3. En la Tabla No. 2 se muestra la caracterización de las unidades geomorfológicas.

**Tabla 2. Unidades Geomorfológicas de Barrancabermeja**

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje	Simbolo
Depresión del Magdalena	Cálido Húmedo	Planicie de Desborde del Río Magdalena	Plano de inundación	<b>Ch11</b>
			Dique	<b>Ch12</b>
			Basin	<b>Ch13</b>
			Terraza	<b>Ch14</b>
		Relieve Colinado Estructural Denudativo	Colinas en arcillolitas negras, macizas, areniscas friables, conglomerados y gravas	<b>Ch21</b>
			Colinas en conglomerados superpuestos por capas de areniscas compactas, con intercalaciones de arcillolitas grises y arenas finas a gruesas	<b>Ch22</b>
			Valle intercolinar	<b>Ch31</b>

## **7.2 GEOLOGÍA**

Son tres las formaciones geológicas sobre las que está fundada la cabecera municipal de Barrancabermeja (Lobo-Guerrero, 1990; Maldonado Ingeniería S.A., 1990; Flórez, 1993).

- Formación Real (Tmr) : Son conglomerados superpuestos por capas de areniscas compactas, con intercalaciones de arcillolitas grises (IGAC, 1980). Constituye el basamento del municipio de Barrancabermeja, y es la roca sobre la que está soportado el suelo de los sectores nor-oriental, sur – sur y sur-oriental de la ciudad.
- Formación Mesa (Tpm) :Formada por sedimentos fluviales. Las colinas que enmarcan la planicie aluvial del río Magdalena son parte de la formación Mesa. La formación Mesa dentro de la ciudad, se localiza en la mayor parte del sector central de la ciudad de Barrancabermeja y las zonas altas del sector comercial están cimentados sobre ella (IGAC, 1980).
- Depósitos de Terraza (Qt): Correlacionables con la formación Magdalena (Cuaternario): Está compuesta por arenas finas limosas grises claras u oscuras, limos arcillosos y arenosos grises oscuros, gravas finas a gruesas con matriz arcillosa o limo arenoso y lentes de materia orgánica, con un espesor de hasta 76 m.
- Depósitos Aluviales (Qal), Bajos y Orillares (Qb/Qo): Correspondientes con los depósitos recientes del río Magdalena, constan de arenas, arcillas, gravas y turba.

## **7.3 ESTRUCTURAS TECTÓNICAS**

Para el estudio de las fallas locales, según Flórez (1993), se tuvo en cuenta un área dentro de un círculo de 35 Km. de radio con centro en Barrancabermeja. Falla Cimitarra. Falla Salina. Falla Casabe. Falla Cantagallo. Falla Las Garzas. Falla Infantas (Lobo-Guerrero, 1990; Maldonado Ingeniería S.A., 1990).

## **7.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

### **7.4.1 Metodología**

La zonificación geotécnica presentada en este documento fue realizada con base en la zonificación efectuada por Flórez (1993). Esta fue complementada, especialmente en

las áreas no cubiertas, con base en la información obtenida de la cartografía geológica recopilada y con base en la fotointerpretación realizada para la zona.

Como la ciudad de Barrancabermeja es en su mayor parte plana, los materiales se clasificaron de acuerdo con su aptitud como materiales de fundación. Se establecieron un total de siete (7) sub-zonas (I, II, III, IV, V, VI, VII), siendo la Sub-zona I la mas competente y la Sub-zona VII la menos competente. En la Tabla 3 también se establece la equivalencia para cada sub-zona con respecto a la notación usada por Flórez (1993).

**Tabla 3. Zonificación geotécnica de Barrancabermeja**

SUB-ZONA	DESCRIPCIÓN
I - Suelos Granulares de la Formación Real, de Origen Fluvial (Sub-zona A2, Flórez, 1993)	Arenas o gravas en matriz arcillosa o limosa en la mayoría de los casos de color rojizo, lo cual es indicativo del alto contenido de óxido de hierro en su composición. Son suelos superficialmente duros, la dureza disminuye a profundidades intermedias (2 m a 4 m), pero después vuelve a aumentar. El nivel freático generalmente se encuentra a profundidades mayores a los 20 m.
II - Suelos Granulares de la Formación Mesa del Cuaternario, de Origen Fluvial (Sub-zona A1, Flórez, 1993)	Arenas o gravas en matriz arcillosa o limosa en la mayoría de los casos de color rojizo, lo cual es indicativo del alto contenido de óxido de hierro en su composición. Son suelos superficialmente duros, la dureza disminuye a profundidades intermedias (2 m a 4 m), pero después vuelve a aumentar. El nivel freático está semiprofundo, encontrándose a profundidades mayores de 5 m y menores de 20 m.
III - Suelos Finos de la Formación Real, de Origen Fluvio-Lacustre (Sub-zona B2, Flórez, 1993)	Suelos finos correspondientes a arcillas y limos; superficialmente son medianamente duros y duros. Se trata de suelos de baja plasticidad y compresibilidad, que clasifican de acuerdo con el sistema unificado (S.U.C.S.) como ML y CL, predominando las arcillas. Los suelos de esta zona se encuentran ligeramente sobreconsolidados y algunos normalmente consolidados. En la mayoría de los casos este estrato es solamente superficial y con la profundidad generalmente se encuentran suelos granulares . El nivel freático se encuentra a profundidades mayores a los 10 a 15 m, aunque en las partes aledañas a los caños y ciénagas puede estar alto.
IV - Suelos Finos de la Formación Mesa o del Cuaternario, de Origen Fluvio-Lacustre (Sub-zona B1, Flórez, 1993)	Suelos finos correspondientes a arcillas y limos; superficialmente son medianamente duros y duros. Se trata de suelos de baja plasticidad y compresibilidad, que clasifican de acuerdo con el sistema unificado (S.U.C.S.) como ML y CL, predominando las arcillas. Los suelos de

SUB-ZONA	DESCRIPCIÓN
	esta zona se encuentran ligeramente sobreconsolidados y algunos normalmente consolidados. En la mayoría de los casos este estrato es solamente superficial y con la profundidad generalmente se encuentran suelos granulares. El nivel freático se puede encontrar entre 5 y 15m de profundidad.
V - Depósitos de Terraza (Cuaternario)	Constan de arenas finas limosas, limos arcillosos y arenosos, gravas finas a gruesas en matriz arcillosa o limo-arenosa y lentes de materia orgánica. Estos depósitos corresponden a la terraza baja del río Magdalena; los estratos son lenticulares y yacen horizontalmente sobre un relieve fósil de la formación Mesa. El espesor aproximado de este depósito es de 76 m.
VI - Suelos de Origen Fluvio-Lacustre Reciente (Cuaternario) (Sub-zona C1, Flórez, 1993)	La granulometría de los materiales de esta zona es variada, con predominio de suelos granulares. Los depósitos aledaños al río Magdalena o a caños de caudal importante están constituidos por materiales gruesos; mientras que los depósitos cercanos a las ciénagas o quebradas son finos. Los suelos finos y la parte fina de los materiales gruesos presentan índices de plasticidad bajos y una compresibilidad media. Superficialmente, son suelos blandos y semiblandos. El nivel freático puede variar bastante, pero en general se encuentra entre 1 y 4 m de profundidad, siendo más superficial en las áreas cercanas a algún afluente.
VII - Rellenos Hidráulicos o Convencionales Hechos por el Hombre (Sub-zona C2, Flórez, 1993)	Se trata de suelos finos blandos o suelos granulares sueltos. El nivel freático está entre 0.5 y 3.0 m de profundidad.

En la Tabla 4 se resumen las principales características de las sub-zonas geotécnicas.

**Tabla 4. Resumen de las características de las sub-zonas geotécnicas de Barrancabermeja**

Sub-Zona de este Estudio	Sub-zona Flórez (1993)	Tipo de Suelo	Origen Geológico	Estratigrafía	Clasificación S.U.C.S.	Nivel Freático (m)
I	A2	Gruesos: arenas o gravas en matriz arcillosa o limosa	Terciario Mioceno	Superficialmente duros. De 2 a 4 m, dureza disminuye	Arenas y Gravas con finos de baja compresibilidad	> 20

Sub-Zona de este Estudio	Sub-zona Flórez (1993)	Tipo de Suelo	Origen Geológico	Estratigrafía	Clasificación S.U.C.S.	Nivel Freático (m)
II	A1		Terciario Plioceno o Cuaternario			5 - 20
III	B2	Suelos finos, limos y arcillas	Terciario Mioceno	Medianamente duros y duros	Arcillas y limos de baja compresibilidad	10 - 15
IV	B1		Terciario Plioceno o Cuaternario			5 - 15
V		Arenas finas limosas, limos arcillosos y arenosos, gravas finas a gruesas en matriz arcillosa o limo-arenosa, lentes de materia orgánica	Cuaternario	Los estratos son lenticulares y yacen sobre un relieve fósil de la formación Mesa.	Suelos granulares arcillo-limosos	Superficial
VI	C1	Suelos blandos, gruesos o finos	Cuaternario	Variada. Superficialmente blandos o semi-blandos	Suelos granulares con finos de baja plasticidad	1 - 4
VII	C2		Rellenos hidráulicos o convencionales (hombre)			0.5 - 3

## 8. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR

### Metodología

El plano de Microzonificación Sísmica es el resultado de la integración de los siguientes elementos:

- 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 3, Geomorfología de la ciudad de Barrancabermeja)

- 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, Geología de la ciudad de Barrancabermeja).
- 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 (Figura 5, Zonificación geotécnica de la ciudad de Barrancabermeja).
- Zonas del mapa geomorfológico identificadas como valles intercolinares, valles y vallecitos aluviales, planos de inundación (Figura 3, Geomorfología de la ciudad de Barrancabermeja).
- Puntos de posible amplificación topográfica, de acuerdo con el análisis de gradientes topográficos obtenidos de la base cartográfica de la figura 1 (Base cartográfica de la ciudad de Barrancabermeja).
- Zonas de rellenos identificados.
- Zonas susceptibles a deslizamiento obtenidas por analogía entre la zona de deslizamiento identificada en la fotointerpretación geológica, la pendiente topográfica del terreno (figura 1, Base cartográfica de la ciudad de Barrancabermeja) y el tipo de material geotécnico (Figura 5, Zonificación geotécnica de la ciudad de Barrancabermeja).

### **8.1 Descripción de la Microzonificación Sísmica**

De acuerdo a la metodología seguida para obtener el plano de Microzonificación Sísmica de Barrancabermeja, se generó un mapa a escala 1:20.000 que contiene una agrupación de diferentes factores que permiten establecer una calificación a nivel cualitativo de la posible respuesta de zonas específicas de la ciudad ante la acción sísmica.

El factor predominante que se usó para la Microzonificación de Barrancabermeja fue el tipo de suelo y sus correspondientes características, de acuerdo a la zonificación

geotécnica. De esta forma, se obtuvieron unas zonas con diferentes grados de susceptibilidad por caracterización geotécnica, que son el resultado de la integración de la información obtenida de zonificación geotécnica elaborada por Flórez (1993) y del modelo geológico y geotécnico realizado en este estudio.

### **8.1.1 Susceptibilidad por caracterización geotécnica**

Se obtuvieron siete zonas, las cuales fueron calificadas según el grado de susceptibilidad por caracterización geotécnica desde muy baja hasta muy alta. La descripción de cada una de las zonas y su ubicación geográfica dentro de la ciudad es la siguiente:

- **Zona de susceptibilidad muy baja:**

Está conformada por suelos granulares de la Formación Real, que básicamente son arenas o gravas en una matriz arcillosa, generalmente duros y con niveles freáticos a profundidades mayores a 20 m. Los suelos pertenecientes a esta zona se encuentran en la parte suroriental de la ciudad y comprenden los barrios El Palmar, Santa Barbara, Villa Rosa, Yarima, El Club Casa Grande, los hoteles Anaconda y Eros y el colegio San José. (Figura 6 , Microzonificación Sísmica Preliminar de la ciudad de Barrancabermeja)

- **Zona de susceptibilidad baja:**

Los suelos de esta zona son granulares y pertenecen a la Formación Mesa o al Cuaternario. La profundidad del nivel freático está entre los 5 y los 20 m por lo que su condición es un poco más crítica al evaluar su respuesta ante los movimientos sísmicos. Por esto han sido catalogados como una zona de amenaza baja. Se pueden distinguir tres zonas de este tipo de suelos, dos de ellas localizadas en la parte central y más antigua de la ciudad donde se encuentran algunos edificios públicos como la Alcaldía y la Inspección pluvial; El Parque Santander, La Plaza Central, EL Parque Bolívar y varios hoteles de la ciudad, barrios residenciales como El Recreo, Jiménez de Quesada y Palmira, clínicas y el Hotel Pipatón siendo este una de las estructuras más antiguas de la ciudad. En el norte de la ciudad también se puede encontrar una pequeña zona de susceptibilidad baja, donde se encuentran barrios residenciales como Santa Isabel y La Libertad y algunos establecimientos educativos.

- **Zona de susceptibilidad media - baja:**

Los suelos de esta zona son finos y pertenecen a la Formación Real que corresponden a arcillas y limos medianamente duros o duros y son los más antiguos de la ciudad. El nivel freático generalmente se encuentra a profundidades mayores a los 10 o 15

metros pero puede encontrarse cerca de la superficie en las zonas aledañas a los caños y a las ciénagas.

- **Zona de susceptibilidad media:**

Está conformada por suelos Finos correspondientes a arcillas y limos de la Formación Mesa o del Cuaternario. Son suelos medianamente duros y duros por lo cual de acuerdo al tipo de material y a las características de dureza y rigidez se puede inferir que tienen una respuesta a la acción sísmica un poco más crítica que los suelos de la anterior zona, por lo cual son considerados como suelos de susceptibilidad media por caracterización geotécnica. Un tramo del oleoducto en la parte norte de la ciudad atraviesa la zona en mención.

- **Zona de susceptibilidad media - alta:**

Son depósitos de terraza del Cuaternario que constan de arenas finas limosas, limos arcillosos y arenosos, gravas finas a gruesas en matriz arcillosa o limo-arenosa y lentes de materia orgánica. Se encuentran a orillas del Río Magdalena por lo cual el nivel freático debe estar bastante cerca a la superficie. Sus características mecánicas no están bien definidas por cuanto no se tienen datos de su dureza o rigidez y su aptitud como material de fundación, pero de acuerdo al tipo de suelo se puede inferir un grado de susceptibilidad media - alta.

- **Zona de susceptibilidad alta**

Corresponde a suelos de origen fluvio-lacustre reciente del Cuaternario en los cuales predominan los materiales granulares. Generalmente son suelos blandos o semiblandos con niveles freáticos superficiales (1 a 4 m de profundidad). Presentan características desfavorables tanto en su aptitud como materiales de fundación como en su respuesta ante los movimientos sísmicos. Es probable que en estas zonas exista mayor amplificación de las ondas sísmicas y por lo tanto se pueden presentar efectos locales cuando ocurran sismos de magnitud considerable.

- **Zona de susceptibilidad muy alta:**

Son rellenos hidráulicos o convencionales hechos por el hombre (antrópicos), que básicamente son suelos finos blandos o suelos granulares sueltos. El nivel freático está entre 0.5 y 3.0 m de profundidad. Estos son los suelos más críticos de toda la ciudad por cuanto sus características mecánicas son muy desfavorables y su comportamiento ante un sismo seguramente no va a ser el mejor. Muy probablemente las ondas sísmicas experimentan amplificación y los efectos sobre las estructuras pueden ser mayores en esta zona.

**Tabla 5. Microzonificación Sísmica Preliminar de Barrancabermeja**

<b>ZONA PLANA O SUAVEMENTE ONDULADA</b>	
<b>SUB-ZONA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
I	Suelos granulares de la Formación Real, zona de susceptibilidad muy baja por caracterización geotécnica
II	Suelos granulares de la Formación Mesa o del Cuaternario, zona de susceptibilidad baja por caracterización geotécnica
III	Suelos Finos de la Formación Real, zona de susceptibilidad media – baja por caracterización geotécnica
IV	Suelos finos de la Formación Mesa o del Cuaternario, zona de susceptibilidad media por caracterización geotécnica
V	Depósitos de Terraza (Cuaternario), zona de susceptibilidad media – alta por caracterización geotécnica
VI	Suelos de origen Fluvio - Lacustre reciente (Cuaternario), zona de susceptibilidad alta por caracterización geotécnica
VII	Rellenos hidráulicos hechos por el hombre, zona de susceptibilidad muy alta por caracterización geotécnica

### **8.1.3 Rasgos Geológicos**

En el mapa de microzonificación sísmica preliminar se pueden observar zonas erosionadas con carcavamiento y surcos activos que se encuentra en las partes altas de la ciudad, alrededor de la cota 100m. Estas zonas se encuentran localizadas al nororiente de la ciudad en las proximidades de la Ciénaga de San Silvestre. También existen unas pequeñas zonas en la parte norte de la ciudad, que se encuentran por fuera de su casco urbano.

También se encuentran unos escarpes fracturados con carcavamiento que pueden implicar superficies aterrazadas y desprendimientos de material, localizados en la parte oriental y norte de la ciudad, en terrenos ondulados. Esto implica que los movimientos de material, que no son muy grandes, pueden afectar algunas estructuras y viviendas de la ciudad.

### **8.1.4 Rasgos Geomorfológicos**

En cuanto a los rasgos geomorfológicos del área urbana de Barrancabermeja se pueden distinguir valles intercolinarios de tamaño considerable que se encuentran principalmente en la zona de susceptibilidad alta por caracterización geotécnica y están constituidos por suelos blandos de origen Fluvio – Lacustre reciente.

## **8.2 Resultados**

Los principales aspectos de la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Barrancabermeja son:

- Predominio de rellenos hidráulicos, zonas susceptibles a licuación y suelos de origen fluvio - lacustre reciente de alta a muy alta susceptibilidad por su caracterización geomorfológica y geotécnica. Se localizan en las zonas central y sur de la ciudad, donde se presenta una densa concentración de viviendas y estructuras.
- Predominio de un relieve de morfología plana a suavemente ondulada con formación de valles intercolinares, en cuyos bordes superiores se delimitan escarpes fracturados, con carcavamiento activo, pueden implicar superficies aterrazadas con desprendimiento de material.
- Inminente amenaza de inundación generadas por crecientes del río Magdalena.

### **8.2.1 Fenómenos Inducidos**

#### **Licuación**

Según Flórez (1993), en los registros históricos no se han reportado eventos de licuación, lo cual no implica que no hayan ocurrido. Hay una susceptibilidad de licuación en los suelos granulares sueltos de Barrancabermeja, principalmente por sismos provenientes de fuentes lejanas (Flórez, 1993). En los suelos, debajo y aledaños al río Magdalena en la zona de Galán, son susceptibles de licuación (Flórez, 1993). Lo mismo con algunas áreas bajas dentro de la zona geotécnica C (Sub-zona VII, especialmente) que se menciona en el estudio de Flórez (1993), las cuales tienen el nivel freático alto y están compuestas por suelos granulares finos. Los suelos de los barrios aledaños al caño Cardales, como el barrio Cardales, las Playas y el Arenal, este último cimentado sobre relleno hidráulico, tienen el nivel freático alto y estratos de material granular fino suelto, por lo cual pueden ser susceptibles a licuación así como la zona norte del barrio Olaya Herrera. También pueden serlo los suelos donde se apoyan el muelle, el paseo del río, la carrera primera y la parte inundable del sector comercial que son rellenos.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a la ubicación geográfica de la ciudad de Barrancabermeja, se encuentra situada en el costado oriental del Río Magdalena dentro del denominado Valle Medio, lo cual implica una amenaza de inundaciones en épocas de invierno (Mayo y Noviembre) generadas por las probables crecientes del río. Por otro lado la ciudad se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta debida a diversas fuentes. Estas amenazas naturales pueden causar problemas en las estructuras de la ciudad, dentro de las cuales se destaca por su importancia la Refinería de la Empresa Colombiana de Petroleos (Ecopetrol), afectando de manera directa a numerosos habitantes de la ciudad.

Después de analizar el problema de la amenaza sísmica en Barrancabermeja y obtener una primera aproximación a la Microzonificación Sísmica de la ciudad, se pueden destacar varios factores que intervienen y hacen parte del problema.

El primero de ellos tiene que ver con la geología estructural y la tectónica del área de estudio y es la existencia de fuentes sismogénicas diversas que principalmente son fallamientos geológicos al interior de las placas entre los cuales se destacan las fallas Zulia, Bucaramanga – Santa Marta, Pamplona - Chitagá, Boconó y Suarez. Por otra parte Barrancabermeja también se ve afectada por la alta actividad sísmica del Nido de Bucaramanga, una de las zonas más activas de Colombia. Todo esto, sumado al historial de sismos que han afectado a la ciudad y que se presentan en los catálogos sísmicos, aumenta la probabilidad de que ocurran sismos de magnitud considerable que afecten a la población y estructuras de la ciudad. Las fallas más se cercanas se identificaron en un área de 35 Km. de radio con centro en la ciudad de Barrancabermeja.

Uno de los factores más importantes que fue tenido en cuenta para evaluar la amenaza sísmica en una zona específica de la ciudad de Barrancabermeja esta relacionado con las características del suelo y su respuesta ante las cargas dinámicas que se generan en los sismos. Para esto se elaboró el modelo geológico y geotécnico del área urbana de la ciudad con base en la interpretación de fotografías aéreas y la recopilación de la información disponible. Los suelos más antiguos se encuentran localizados en la parte oriental de la ciudad más concretamente en las zonas altas y más distantes del río Magdalena, pertenecientes a la formación Real del Terciario. En la parte central de la ciudad se encuentran suelos más recientes de la formación Mesa del Cuaternario. Y en la parte occidental de la ciudad se localizan los suelos más recientes de la ciudad representados en suelos de origen Fluvio – Lacustre, depósitos de terraza del Cuaternario y algunos rellenos antrópicos.

El modelo geológico y la zonificación por caracterización geotécnica permite estimar el comportamiento de las diferentes zonas de la ciudad ante la acción sísmica e inferir

su grado de susceptibilidad. Teniendo en cuenta este criterio se obtuvieron siete zonas con características geotécnicas similares las cuales fueron calificadas cualitativamente según el grado de susceptibilidad desde muy bajo hasta muy alto. Para ello se tuvieron en cuenta sus propiedades mecánicas y la posición del nivel freático. Las condiciones más desfavorables se presentan en suelos blandos, recientes, con niveles freáticos cercanos a la superficie e igualmente las condiciones más favorables se presentan en suelos duros pertenecientes a las formaciones más antiguas y con niveles freáticos profundos.

De esta forma las zonas más críticas y que pueden presentar problemas de amplificación de la señal en caso de un sismo son los rellenos hidráulicos hechos por el hombre constituidos por suelos blandos con niveles freáticos bastante superficiales (0.5 a 3 m). Estas zonas de susceptibilidad muy alta se encuentran localizadas en la parte central de la ciudad y subyacen estructuras importantes como el muelle, la carrera primera, algunas iglesias, residencias y edificaciones del sector comercial (Figura 6 : Microzonificación sísmica de la ciudad de Barrancabermeja, zona VII).

En cuanto a la zona de susceptibilidad alta por su caracterización geotécnica están constituidas por suelos blandos o semiblandos de origen fluvio – lacustre del Cuaternario con predominio de materiales granulares y niveles freáticos superficiales. Su localización dentro de la ciudad se concentra en tres zonas: la parte noroccidental de la ciudad en zonas aledañas a la Refinería de Ecopetrol, una parte del oriente de la ciudad y la parte sur de la ciudad en zonas aledañas a la Ciénaga Juan Esteban. Dentro de estas zonas se encuentran construidas estructuras importantes como líneas de transmisión, parte del oleoducto, un tramo de la línea del ferrocarril y zonas habitadas (Figura 6 : Microzonificación sísmica de la ciudad de Barrancabermeja, zona VI).

En la zona occidental de la ciudad en la orilla del Río Magdalena se localizaron los suelos con susceptibilidad media – alta por caracterización geotécnica, que son depósitos de terrazas constituidos por arenas finas limosas, limos arcillosos y arenosos, gravas finas a gruesas en matriz arcillosa o limo-arenosa y lentes de materia orgánica. Dentro de esta zona se localiza la mayor parte de las instalaciones de la Refinería de Ecopetrol que es el centro petroquímico más grande e importante del país, lo cual hace necesario un estudio más detallado que permita conocer más a fondo las características mecánicas y dinámicas de estos suelos (Plano No. 5, zona V). En esta parte de la ciudad también se pueden presentar problemas debido a posible amplificación de la señal sísmica que afecte a las estructuras especiales que se encuentran en la Refinería.

La zona de susceptibilidad media está compuesta por suelos finos de la Formación Mesa que son medianamente duros a duros con niveles freáticos a profundidades entre los 5 y los 15 m. Su condición no es tan crítica como la de las tres zonas

anteriores debido a que presenta materiales de mayor rigidez con mejor comportamiento ante los movimientos sísmicos. Esta zona comprende una gran parte del sector central y norte de la ciudad y en ella se encuentran ubicadas algunos establecimientos públicos como la biblioteca, la electrificadora, establecimientos militares como la academia de Policía y el Batallón Nueva Granada y muchos barrios residenciales, así como un tramo del oleoducto en la parte norte de la ciudad atraviesa esta zona. (Figura 6 : Microzonificación sísmica de la ciudad de Barrancabermeja, zona IV).

Las zonas III, II y I que se encuentran localizadas en la figura 6 se pueden considerar como las zonas más favorables de la ciudad, es decir las que probablemente presenten un mejor comportamiento en los sismos, debido que están compuestas por suelos medianamente duros a duros con niveles freáticos profundos.

De esta forma los suelos con susceptibilidad media-baja por caracterización geotécnica son finos y pertenecen a la Formación Real. El nivel freático generalmente se encuentra a profundidades mayores a los 10 o 15 metros excepto en las zonas aledañas a las ciénagas. La topografía de estas áreas es suavemente ondulada y comprende las zonas más altas de la ciudad, por cuanto es común encontrar escarpes fracturados con carcavamiento y zonas erosionadas. Esta zona se localiza en una gran área que cubre el Oriente de la ciudad, concentrándose hacia el nororiente en cercanías a la ciénaga de San Silvestre, donde se encuentran estructuras importantes como el Acueducto, la Defensa Civil, varios centros docentes, las instalaciones de Fertilizantes Colombianos S.A. y muchos barrios residenciales. Hacia el suroriente los suelos de esta zona subyacen estructuras que corresponden a barrios residenciales, iglesias, algunos centros docentes y las carreteras que conducen a Bucaramanga y a Ciénaga así como la Carretera Nacional (Figura 6 : Microzonificación sísmica de la ciudad de Barrancabermeja, zona III).

En cuanto a la zona de susceptibilidad baja, se encuentra localizada en la parte central de la ciudad donde se localizan estructuras antiguas, la Alcaldía, la Inspección Fluvial, el Parque Santander, La Plaza Central, El Parque Bolívar y varios hoteles de la ciudad, barrios residenciales, clínicas y el Hotel Pipatón. Los suelos de esta zona son granulares de la Formación Mesa, son duros y presentan niveles freáticos entre los 5 y los 20 m de profundidad (Figura 6 : Microzonificación sísmica de la ciudad de Barrancabermeja, zona II).

Finalmente se encuentran los suelos de susceptibilidad muy baja por caracterización geotécnica, los cuales probablemente son los más favorables de la ciudad en cuanto a su respuesta ante la acción sísmica se refiere. Esta zona se encuentra localizada al suroriente de la ciudad y comprenden los barrios El Palmar, Santa Barbara, Villa Rosa, El Club Casa Grande, los hoteles Anaconda y Eros y el colegio San José (Plano No. 5, zona I). En cuanto a las características mecánicas de los suelos, son suelos



granulares de la Formación Real, generalmente duros y con niveles freáticos profundos (profundidad mayor de 20 m). Debido a estas características de dureza y rigidez representan menor posibilidad de amplificación de las ondas sísmicas.

En cuanto a la susceptibilidad a la licuación se identificaron algunas zonas de la ciudad que pueden presentar este problema, de acuerdo al tipo de suelo y a la posición del nivel freático. Por ejemplo en suelos granulares finos con niveles freáticos superficiales y bajo grado de compactación es probable que se presente este fenómeno. Este es el caso de la zona geotécnica VII y las zonas susceptibles a licuación que se pueden localizar en la figura 6 (Microzonificación sísmica de la ciudad de Barrancabermeja).

Por otro lado se hizo un estudio de la geomorfología de la ciudad en el que se establecieron unidades geomorfológicas partiendo de lo general a lo particular. De esta forma cabe destacar que dentro del Gran Paisaje para la ciudad de Barrancabermeja se distinguen dos unidades que son la planicie de desborde del río Magdalena y el Relieve Colinado estructural denudativo que abarca la parte oriental de la ciudad. Estas unidades y sus correspondientes divisiones se pueden observar en la figura 3 (Geomorfología de la ciudad de Barrancabermeja). Es importante tener en cuenta que existen zonas dentro de la ciudad y más concretamente dentro de la planicie de desborde del río Magdalena que se pueden ver afectadas por inundaciones en épocas de invierno.

Finalmente dentro de los fenómenos inducidos por un sismo se analizó la posibilidad de deslizamientos dentro de la ciudad. Para esto fueron identificadas varias zonas erosionadas con carcavamiento y algunos escarpes fracturados que pueden implicar desprendimiento de material.

Sumados todos estos factores se obtuvo el plano de Microzonificación Sísmica Preliminar de la ciudad de Barrancabermeja, en el cual se conjugan varios aspectos que influyen en mayor o menor grado en el comportamiento de zonas específicas de la ciudad cuando ocurre un sismo. El resultado obtenido es bastante satisfactorio ya que se analizó el problema de la amenaza sísmica en la ciudad como la integración de diferentes factores y se establecieron unas zonas con diferente grado de susceptibilidad ante la acción sísmica.

Sin embargo es necesaria la continuación de los estudios de Microzonificación de la ciudad para alcanzar un conocimiento más profundo y detallado del problema que es bastante complejo. Para esto es indispensable adelantar una verificación en campo y realizar diferentes ensayos que permitan caracterizar los suelos, complementando y corroborando la información presentada en este estudio.

## REFERENCIAS

AIS., Ingeominas y Universidad de los Andes (1996). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Santafé de Bogotá.

Association Francaise du Genie Parasismique-AFPS. (1995). Guidelines for Seismic Microzonation Studies. París

DANE (1999). Base Digital de Barrancabermeja. Bogotá

Flórez, H. (1993). Zonificación Sísmica Preliminar de Barrancabermeja. Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), (1996). Diccionario Geográfico de Colombia. Subdirección de Investigaciones y Divulgación Geográfica. Santafé de Bogotá. CD ROM.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), (1992). *Revista CIAF*. Centro de Invetigaciones en percepción remota. Vol 15 No.1. P.83-115

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), (1987). Plano Urbano de la ciudad de Barrancabermeja. Escala 1:10000. Bogotá

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), (1980). Estudio General de Suelos de los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches, Sabana de Torres y San Vicente de Chucurí (Departamento de Santander). Bogotá.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), (1971). Plancha 119-I-O. Escala 1:25000. Bogotá

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), (1961). Plancha 119-I-B. Escala 1:25000. Bogotá

Lobo-Guerrero, A. (1990). Estudio Geológico para el Puente sobre el Río Magdalena entre Yondó (Antioquia) y Barrancabermeja (Santander). Bogotá, D.E.

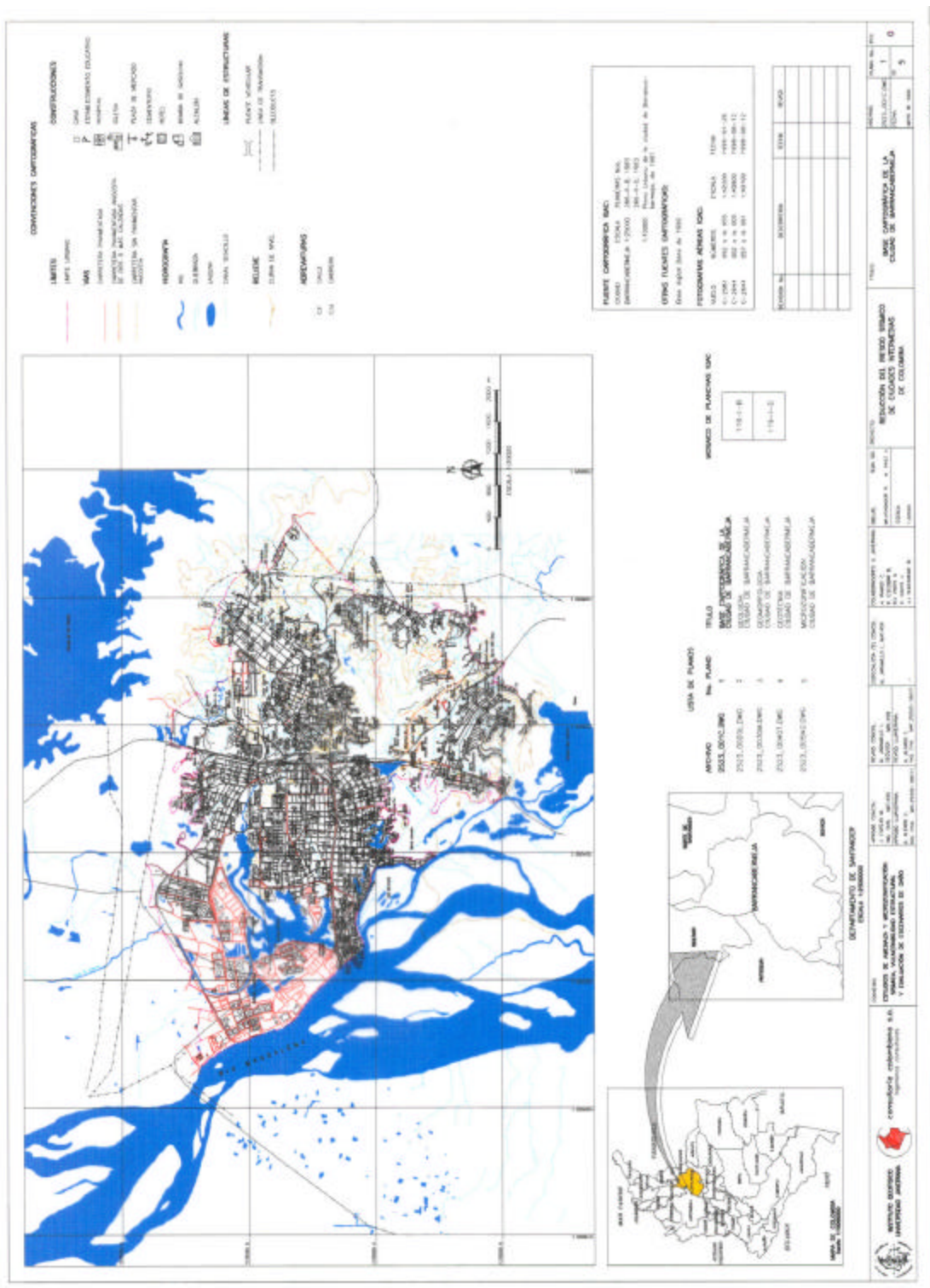
Maldonado Ingeniería S. A. (1990). Estudio Geotécnico para el Puente sobre el Río Magdalena entre Yondo (Antioquia) y Barrancabermeja (Santander). Bogotá, D.E.

Ministerio de Minas y Petróleos, (1966). Geología del Cuadrángulo H.11 Barrancabermeja. Bogotá, D.E.

Page, W . (1986). Geología sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia.

Ramírez, J, (1975). Historia de los terremotos en Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.

USGS, (2000). [www.earthquake.usgs.gov](http://www.earthquake.usgs.gov). Catálogo de terremotos para América del sur. Proyecto del CERESIS.



- Figura 1. Base cartográfica de la ciudad de Barrancabermeja



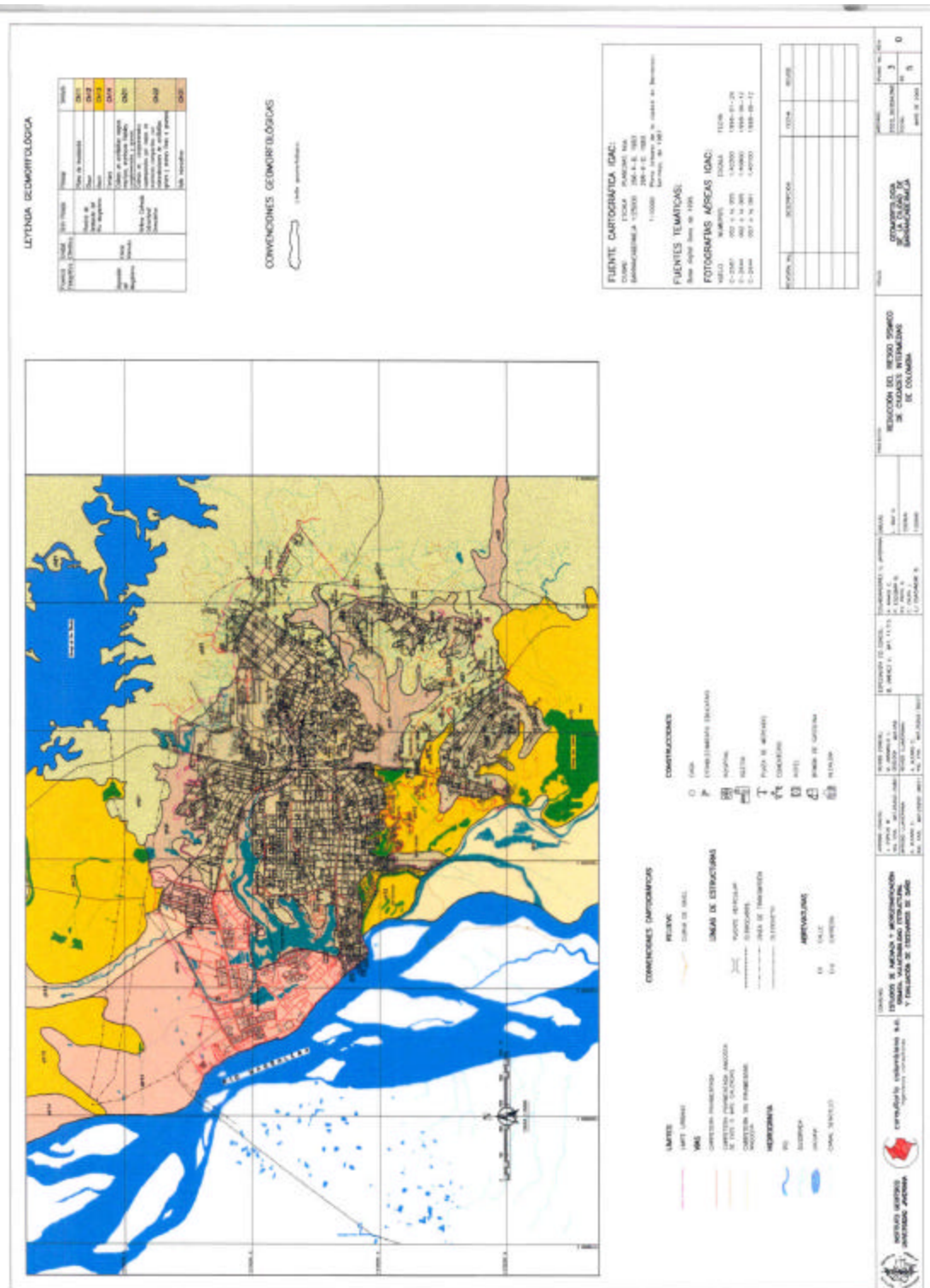


Figura 4. Geomorfología de la ciudad de Barrancabermeja.



Figura 5. Zonificación Geotécnica de la ciudad de Barrancabermeja.

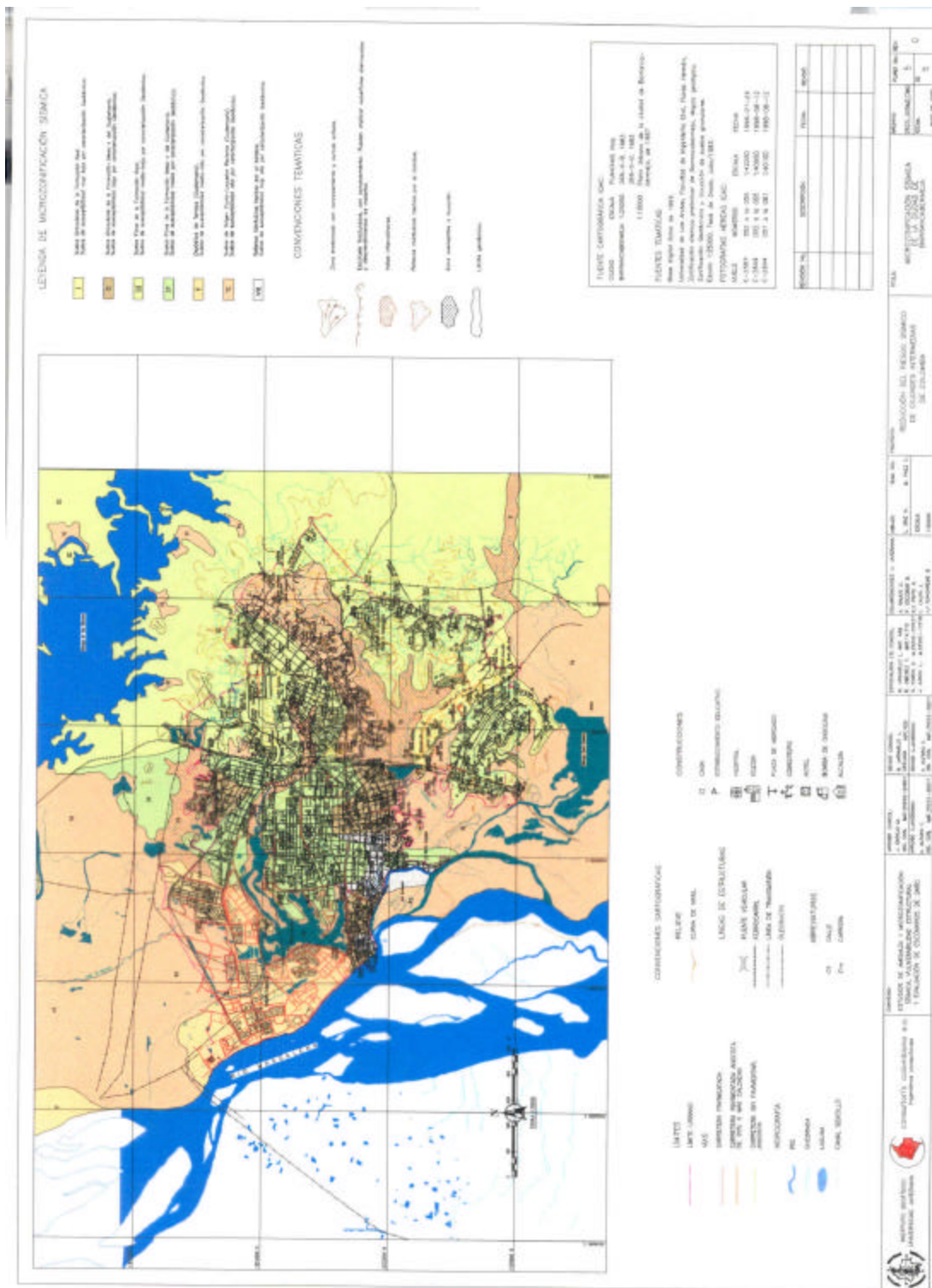


Figura 6. Microzonificación Sísmica Preliminar de Barrancabermeja.