

## EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE BUCARAMANGA A PARTIR DEL ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA INDICATIVA DE BUCARAMANGA-COLOMBIA

Ing. Wilson Almeyda Remolina

Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P.

### RESUMEN

El área metropolitana de Bucaramanga, tiene una población aproximada de 900 mil habitantes y está ubicada a 300 Km al NE de Bogotá en la cordillera oriental del macizo andino colombiano dentro de un ambiente sismotectónico de reconocida actividad histórica como las fallas regionales y el llamado nido sísmico de Bucaramanga, constituyendo las fuentes sismogénicas de mayor efecto potencial, está construida sobre un gran abanico aluvial, originado principalmente por el arrastre y depositación de materiales de los ríos Suratá y Frío, se enmarca dentro de tres bloques tectónicos definidos por dos principales sistemas de fallamiento: Suárez y B/manga.-Sta. Marta, bloque occidental, conformado por rocas sedimentarias del jurásico, allí se ubica el aeropuerto de la ciudad, bloque central relacionado con el abanico aluvial reciente de edad cuaternaria, con espesor de 300 mts. donde se asienta gran parte de la ciudad y el bloque oriental constituido por rocas ígneo-metamórficas del precámbrico y paleozoico, conformando el macizo regional de Santander.

En el año 2002, fue presentado el estudio de microzonificación sismogeotécnica indicativa de Bucaramanga, cuyo alcance definió los parámetros iniciales para el diseño y evaluación sismorresistente, de acuerdo con la respuesta local del subsuelo, los resultados determinaron para el área de estudio tres zonas de respuesta dinámica: zona de roca, suelo rígido y zona de llenos, ello nos ha permitido identificar en forma específica el grado de amenaza sísmica, su potencial y su recurrencia para cada uno de los componentes del sistema de acueducto de la ciudad.

El acueducto local tiene una antigüedad de 85 años, se surte de tres fuentes principales, las cuales abastecen el agua a la ciudad por gravedad el 70 por ciento y el restante es suministrado por un bombeo de 380 metros de cabeza dinámica, las estructuras del sistema tales como tanques, edificaciones, canales, puentes y tuberías matrices se construyeron casi en su totalidad antes que se expidieran en Colombia los códigos sismo-resistentes de los años 1984 y 1998, circunstancia que nos anticipa un alto grado de vulnerabilidad, especialmente en las estructuras de mayor antigüedad como algunas plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y conducciones principales de agua.

La zonificación sísmica permitió ubicar tres de las plantas de tratamiento en el bloque rocoso oriental, y la otra en el bloque central del abanico aluvial, todas adyacentes al corredor de la falla activa B/manga-Sta. Marta y los tanques de almacenamiento principales se localizaron en su mayoría en el bloque central de depósito aluvial, quedando algunos muy cerca del corredor de falla y finalmente las conducciones provenientes de tres plantas de potabilización cruzan las zonas de falla. Con el fin de evaluar el riesgo sísmico, partiendo de los parámetros establecidos en la zonificación, se realizó un análisis preliminar de vulnerabilidad del sistema, identificando los elementos críticos, componentes de los sistemas de captación, tratamiento y distribución. El estudio dio como resultado la generación de una matriz de desastres que contiene el grado de riesgo en términos probabilísticos cada uno de los elementos de nuestro sistema, a partir de la solución de la ecuación de amenaza por vulnerabilidad, lo que nos permitirá orientar planes y programas tendientes a mitigar los efectos de un desastre tales como, la afectación de la calidad del agua, disminución de la cantidad de agua, daño en estructuras, fallas en equipos de telecontrol y comunicaciones por un evento crítico.

## EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE BUCARAMANGA A PARTIR DEL ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA INDICATIVA DE BUCARAMANGA-COLOMBIA

Ing. Wilson Almeyda Remolina

Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P.

### RESUMEN

El área metropolitana de Bucaramanga, tiene una población aproximada de 900 mil habitantes y está ubicada a 300 Km al NE de Bogotá en la cordillera oriental del macizo andino colombiano dentro de un ambiente sismotectónico de reconocida actividad histórica como las fallas regionales y el llamado nido sísmico de Bucaramanga, constituyendo las fuentes sismogénicas de mayor efecto potencial, está construida sobre un gran abanico aluvial, originado principalmente por el arrastre y depositación de materiales de los ríos Suratá y Frío, se enmarca dentro de tres bloques tectónicos definidos por dos principales sistemas de fallamiento: Suárez y B/manga.-Sta. Marta, bloque occidental, conformado por rocas sedimentarias del jurásico, allí se ubica el aeropuerto de la ciudad, bloque central relacionado con el abanico aluvial reciente de edad cuaternaria, con espesor de 300 mts. donde se asienta gran parte de la ciudad y el bloque oriental constituido por rocas ígneo-metamórficas del precámbrico y paleozoico, conformando el macizo regional de Santander.

En el año 2002, fue presentado el estudio de microzonificación sismogeotécnica indicativa de Bucaramanga, cuyo alcance definió los parámetros iniciales para el diseño y evaluación sismorresistente, de acuerdo con la respuesta local del subsuelo, los resultados determinaron para el área de estudio tres zonas de respuesta dinámica: zona de roca, suelo rígido y zona de llenos, ello nos ha permitido identificar en forma específica el grado de amenaza sísmica, su potencial y su recurrencia para cada uno de los componentes del sistema de acueducto de la ciudad.

El acueducto local tiene una antigüedad de 85 años, se surte de tres fuentes principales, las cuales abastecen el agua a la ciudad por gravedad el 70 por ciento y el restante es suministrado por un bombeo de 380 metros de cabeza dinámica, las estructuras del sistema tales como tanques, edificaciones, canales, puentes y tuberías matrices se construyeron casi en su totalidad antes que se expidieran en Colombia los códigos sismo-resistentes de los años 1984 y 1998, circunstancia que nos anticipa un alto grado de vulnerabilidad, especialmente en las estructuras de mayor antigüedad como algunas plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y conducciones principales de agua.

La zonificación sísmica permitió ubicar tres de las plantas de tratamiento en el bloque rocoso oriental, y la otra en el bloque central del abanico aluvial, todas adyacentes al corredor de la falla activa B/manga-Sta. Marta y los tanques de almacenamiento principales se localizaron en su mayoría en el bloque central de depósito aluvial, quedando algunos muy cerca del corredor de falla y finalmente las conducciones provenientes de tres plantas de potabilización cruzan las zonas de falla. Con el fin de evaluar el riesgo sísmico, partiendo de los parámetros establecidos en la zonificación, se realizó un análisis preliminar de vulnerabilidad del sistema, identificando los elementos críticos, componentes de los sistemas de captación, tratamiento y distribución. El estudio dio como resultado la generación de una matriz de desastres que contiene el grado de riesgo en términos probabilísticos cada uno de los elementos de nuestro sistema, a partir de la solución de la ecuación de amenaza por vulnerabilidad, lo que nos permitirá orientar planes y programas tendientes a mitigar los efectos de un desastre tales como, la afectación de la calidad del agua, disminución de la cantidad de agua, daño en estructuras, fallas en equipos de telecontrol y comunicaciones por un evento crítico.

## INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la naturaleza de la amenaza sísmica frente a los sistemas de acueducto y sus grandes implicaciones en los aspectos físicos, operativos y financieros de la empresa y al alto impacto sobre la población, se ha pretendido actualizar el análisis de vulnerabilidad del acueducto de Bucaramanga, utilizando los resultados del estudio de microzonificación sismogeotécnica indicativa de la Ciudad, elaborado por la entidad estatal INGEOMINAS, a partir del análisis preliminar de cada componente de los sistemas de captación, tratamiento y distribución.

El análisis comprendió la integración de la información cartográfica de la microzonificación con la del sistema de acueducto de Bucaramanga y la determinación del grado de amenaza de cada uno de los componentes, en términos respuesta sísmica local, con parámetros de aceleración y período, posteriormente se realizó la investigación de campo y revisión de planos para determinar los aspectos tales como: configuración espacial, distribución de masas, grado de deterioro, tipo y estado del refuerzo, normas de diseño, y fundaciones en el caso de las estructuras y tipo de material, grado de deterioro y entorno geotécnico para las tuberías. Con estos parámetros se analizaron las estructuras estimando su capacidad de disipación, ductilidad y derivas para conocer el grado de daño y se determinaron la cantidad de fallas esperadas para el caso de las redes y conducciones, el objetivo final es la obtención de la matriz de vulnerabilidad y riesgos del sistema de acueducto en términos de probabilidad de ocurrencia del sismo de diseño, que permitirá tomar las medidas de intervención inmediatas y detectar los riesgos más representativos, para recomendar estudios específicos de vulnerabilidad y mitigación de los componentes críticos.

Las medidas para intervenir la vulnerabilidad pueden ser estructurales, aumentando la capacidad y resistencia de los elementos frente al sismo y/o de ordenamiento de los recursos para atender el desastre, tales como planes de contingencias para rehabilitación inmediata y atención de emergencias, constitución de reservas y seguros, y otros.

### 1. MARCO GENERAL

#### 1.1 Generalidades

El área metropolitana de Bucaramanga, esta ubicada a 300 km. al N-NE de la ciudad de Bogotá, sobre una terraza inclinada del flanco oeste de la Cordillera Oriental Andina Colombiana, con una altura promedio de 960 msm, su clima templado, con temperatura media 23°C y una precipitación anual de 1041 mm/año, la comprenden los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, que reúnen una población de cerca de 900 mil de habitantes, la topografía de Bucaramanga es en promedio un 15% plana, 30% ondulada y el restante 55% es quebrada. Tres grandes cerros se destacan a lo largo del territorio: Morrorico, Alto de San José y El Cacique, los ríos principales son: El Río de Oro y el Suratá y las quebradas: La flora, Tona, La Iglesia, Quebrada Seca, Cacique, El Homo, San Isidro, Las Navas, La Rosita. Bucaramanga es una ciudad netamente comercial; aunque existen otros renglones representativos tales como la industria del calzado, la confección, la prestación de servicios de salud, finanzas y educación.

Cabe decir que la ciudad se perfila para el siglo XXI como la Tecnópolis de Los Andes; prueba de ello es el creciente número de centros de investigación tecnológica en diversos tópicos, como la energía, el gas, el petróleo, la corrosión, los asfaltos, el cuero y las herramientas de desarrollo agroindustrial, igualmente aquí se concentran cerca de diez universidades y numerosos centros tecnológicos que constituyen el principal polo de estudios superiores del oriente Colombiano.

Un sector significativo de la economía bumanguesa es el agropecuario, cuyas principales actividades son la agricultura, la ganadería y la avicultura, que se llevan a cabo en zonas aledañas de los

departamentos de Santander y Cesar, pero su administración y comercialización se desarrollan aquí en la ciudad. Sus suelos, desde el punto de vista agrológico, se pueden dividir en dos grupos: los primeros, al no tener peligro de erosión, son propicios para el cultivo de gran variedad de productos y el uso para la ganadería. La otra clase de suelos tiene una alta potencialidad erosiva; por esta razón, presenta baja fertilidad y una capa de fertilidad superficial, en algunas situaciones casi nula.

## **1.2 Desarrollo Urbanístico**

El sector de la meseta donde se ubica el área de Bucaramanga, esta dividida en una zona central donde se ubica la parte antigua de la Ciudad, con predominio de comercio y pequeña industria, el sector occidental en los bordes de la meseta, zona residencial-comercial de desarrollo limitado por la erosión de la meseta, el sector norte escarpado con zonas inestabilidad, residencial originado por asentamientos subnormales, la zona oriental y sur-oriental donde se ubican los recientes desarrollos urbanísticos, con edificaciones altas, principalmente residenciales y la zona sur predominantemente residencial, la ciudad se caracteriza por tener abundancia de parques y zonas verdes de esparcimiento, razón por la cual es denominada la "Ciudad de los Parques". Hacia el sur adyacente se encuentra el Municipio de Floridablanca, con extensos sectores residenciales de rehabilitación y con algunos asentamientos subnormales hacia el oriente, mas hacia el sur esta la parte antigua residencial-comercial de la ciudad y la zona occidental de reciente desarrollo urbanístico de uso residencial y comercial. Finalmente el Municipio de Girón ubicado al costado occidental de los dos primeros para completar el triangulo, sobre una cota 300 metros mas baja, se desarrolla a lo largo del Valle del Río de Oro, desde la zona norte de Bucaramanga , conformando la zona industrial metropolitana y mas hacia el sur se concentra la zona residencial desarrollada alrededor de un monumento histórico colonial de importancia nacional, con amplia predominio comercial y turístico, en general sus edificaciones son de baja altura.

## **1.3 Servicios Públicos**

El área metropolitana de Bucaramanga, cuenta con cobertura de agua potable del 100 %, de alcantarillado del 98%, de aseo del 100 %, de gas natural del 95%, cuyo servicio es prestado por entidades diferentes e independientes, de recursos del estado las tres primeras y privada la última. La Calidad de las fuentes de agua, todas captadas a filo de agua, unidos al optimo tratamiento de potabilización, ha permitido que las entidades de control, la cataloguen hoy día como la mejor agua potable y con mejores estandares de calidad de Colombia.

## **2. GEOTECTÓNICA**

### **2.1 Geología**

Las Unidades Litoestratigráficas más antiguas, de origen metamorfo-ígneo, tipo neis, esquisto, migmatita y pequeños intrusivos de granodiorita, han sido agrupadas dentro del Neis de Bucaramanga (PEb) de edad Precámbrico. Esta unidad, junto con Stocks de composición ácida de edad Jurásico y Triásico (JRcg, TRt) afloran en el bloque montañoso ubicado al nororiente del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta conformando un gran volumen rocoso conocido con el nombre de Macizo de Santander.

Afloramientos de rocas metamórficas del Paleozoico inferior, que conforman la formación Silgará (PDs), aparecen en pequeñas franjas al oriente y suroriente del casco urbano de Piedecuesta, y nororiente de Bucaramanga, asociadas al sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta. Al extremo norte del Area Metropolitana de Bucaramanga afloran también rocas sedimentarias de la formación Floresta (PDf), abarcando una delgada franja de dirección norte sur.

Rodeando el perímetro del Area Metropolitana de Bucaramanga, se presentan extensiones notables de rocas sedimentarias clásticas, de edad Jurásico, conformando la formación Jordán (Jj) ubicada al noroccidente de Bucaramanga, norte de Floridablanca y alrededores de Piedecuesta. La formación Girón (Jg) se ubica principalmente al occidente del Area Metropolitana de Bucaramanga, noroccidente de Piedecuesta y Norte de Floridablanca constituyendo en su mayor parte, el basamento que subyace los depósitos aluviales sobre los cuales está construida la ciudad de Bucaramanga.

Otras rocas sedimentarias de edad Triásico hacen parte de la formación Bocas (TRb) que se presenta al norte de Bucaramanga.

Rocas sedimentarias Cretácicas de la formación Tambor (Kita) se encuentran al sur y suroccidente del Area Metropolitana de Bucaramanga.

Al norte de Bucaramanga han sido reconocidas dos unidades litológicas, de extensión relativamente pequeña, denominadas formación Diamante (PCd) y formación Tiburón (TRPt). Se trata de rocas calcáreas, de edad Carbonífero y Pérmico respectivamente, utilizadas como materia prima por la industria cementera.

Suprayaciendo las rocas anteriores se presentan depósitos detríticos de edad Cuaternaria. Estos son los materiales geológicos más importantes en el estudio de Microzonificación Sísmica, ya que cubren más del 60% del área y sobre estos se encuentra construida gran parte de la ciudad de Bucaramanga y las poblaciones de Girón, Floridablanca y Piedecuesta. Los depósitos Cuaternarios están formados por bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, mezclados en proporciones variables, provenientes en su mayor parte de la acción denudatoria sobre las rocas del Macizo de Santander. Entre estos materiales se destaca el gran depósito de la formación Bucaramanga conformada de base a techo por el miembro Organos (Qbo), miembro Finos (Qbf), miembro Gravoso (Qbg) y miembro Limos Rojos (Qbr). Morfológicamente se observan conos de deyección producidos por flujos de escombros y detritos (Qfe) provenientes del Macizo de Santander, que bajaron a lo largo de los valles de algunos ríos y quebradas, sobre los cuales se encuentran las localidades de Floridablanca y Piedecuesta.

Existen también depósitos aluviales (Qal, Qal1 y Qal2), distribuidos de acuerdo a su posición en los valles de los principales ríos, donde se localiza parte de la población de Girón. Localmente se presentan depósitos coluviales de ladera (Ql), la mayoría de pequeña extensión, provenientes en gran parte de fenómenos de remoción en masa o por efectos de la gravedad los cuales se acumulan en las laderas o pié de éstas. Dentro de los fenómenos de remoción en masa se separó la unidad de Deslizamientos (Qd) ubicada en el escarpe norte de Bucaramanga, y de acuerdo a su actividad se dividió en Deslizamientos Activos (Qda) y Deslizamientos Inactivos (Qdi) y por último se separaron las zonas de Llenos Mecánicos (Qlm) y Sanitarios (Qls), correspondiendo a este último el relleno de basuras del Carrasco.

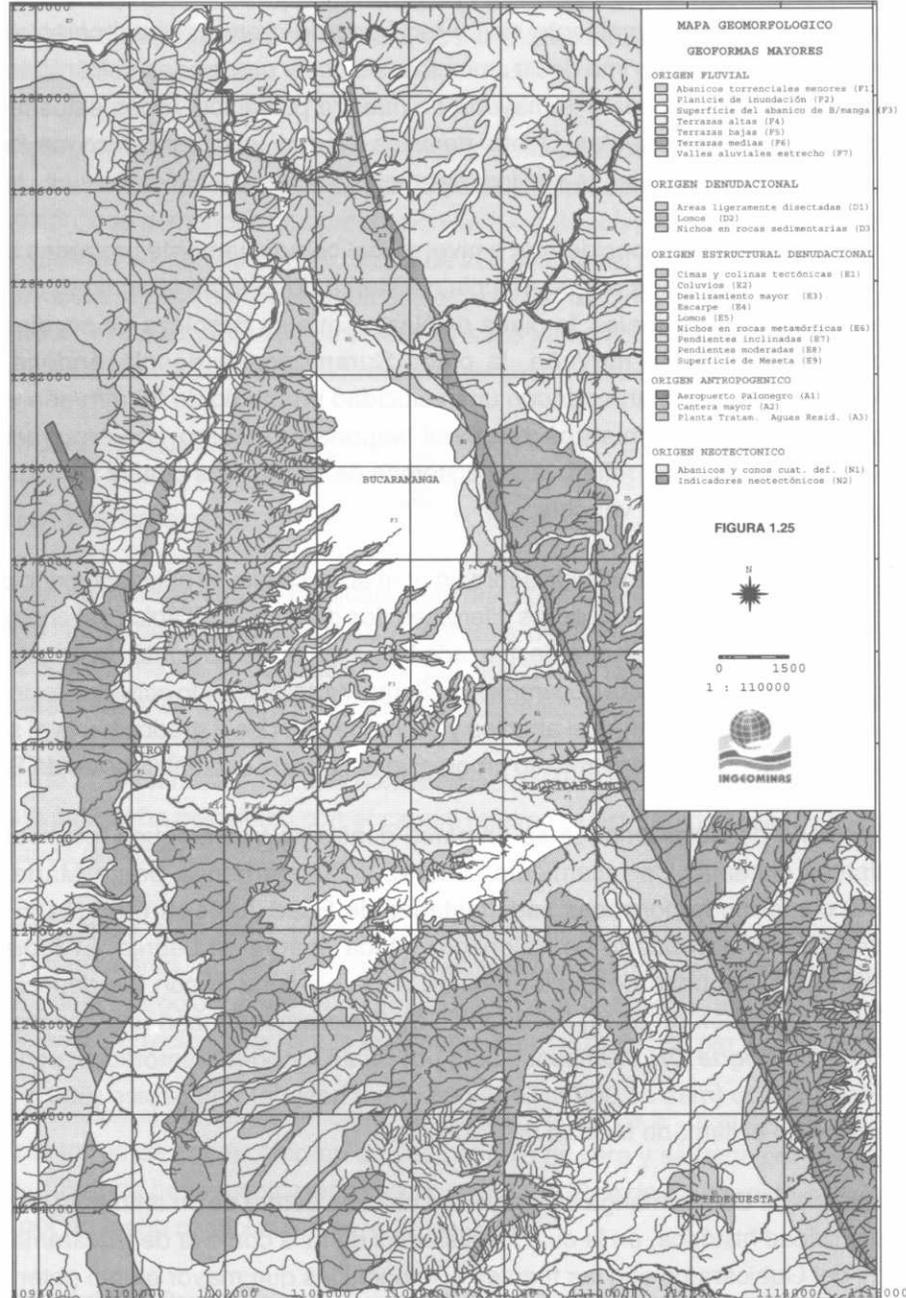
## **2.2 Geomorfología**

La génesis de las formas del terreno en el área de estudio es esencialmente el resultado de los procesos tectónicos relacionados al fallamiento en cuña de los sistemas de fallas del Suárez y Bucaramanga-Santa Marta. Como se mencionó, la geoforma más relevante en el área de estudio es el gran abanico aluvial mayor que cubre diferentes niveles de terrazas formadas por los ríos Frío y de Oro, donde la ciudad fue construida.

Un abanico aluvial es el punto final de un sistema erosivo deposicional en el cual los sedimentos erodados de una montaña original son transportados al frente de ésta. Este es un depósito similar a

un cono o a un cuerpo en forma de abanico, formado por depósitos de flujos de escombros y materiales de aluvión. La corriente es la conexión entre las partes erosionales y deposicionales del sistema, y por consiguiente el río Suratá tiene una gran influencia significativa sobre la morfología del abanico aluvial de Bucaramanga.

**Plano 2.1 Plano Geomorfológico del área metropolitana y sectores adyacentes.**



La morfología del abanico aluvial de Bucaramanga está indicando una importante actividad tectónica durante el Pleistoceno debido a que su forma refleja tazas de variación de procesos tectónicos tales como levantamiento de la montaña original o inclinación de la superficie del abanico a lo largo de un amplio rango limitando la falla. Cuando la tasa de levantamiento del frente de la montaña es relativamente alta comparada con la tasa de disección de la corriente dentro de ésta y la deposición del abanico, entonces la depositación tiende a ocurrir en la cabeza del abanico y el segmento de abanico más joven está próximo al ápice.

Los perfiles radiales para la mayoría de abanicos están compuestos de varios segmentos, los cuales son ligeramente cóncavos. Los quiebres en pendiente marcan el límite entre segmentos y los segmentos más jóvenes pueden ser identificados a partir de los antiguos, basándose en el relativo desarrollo de perfiles de suelo, meteorización de clastos aluviales y disección de la superficie por pequeñas corrientes.

### 2.3 Tectónica

Colombia está localizada en un ambiente sismo tectónico de gran actividad caracterizado por la ocurrencia de eventos naturales como deslizamientos, sismos y erupciones volcánicas. Debido a la vulnerabilidad a la cual está expuesta la mayoría de nuestra población, todos estos fenómenos se constituyen en amenazas permanentes. Dentro de estos eventos, el que produce mayores pérdidas de vidas humanas y daños a los bienes son los terremotos.

La zona Andina Colombiana es considerada a nivel global como altamente propensa a la actividad sísmica, por cuanto está afectada por un complejo sistema de fuerzas tectónicas derivadas de la interacción de tres placas principales: la placa de Nazca, que se desplaza de occidente a oriente con una velocidad de 60 a 80 mm/año, la placa Suramericana desplazándose en sentido aproximadamente contrario a la anterior con una velocidad promedio de 30 mm/año y la placa del Caribe con menores desplazamientos relativos regionales. Como consecuencia de estos movimientos, en la zona se desarrollan varios sistemas de falla en los cuales se acumula y libera energía potencial con recurrencia variable.

La ciudad de Bucaramanga está construida sobre un gran abanico aluvial originado principalmente por el arrastre y depositación de materiales de los diferentes ríos de la zona. El ápice del abanico aluvial de Bucaramanga actualmente se encuentra desplazado hacia el sur de su punto de origen (río Suratá), debido a la acción del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta indicando actividad tectónica reciente (100 mil a 1 millón de años). La forma del abanico y su inclinación (2 a 3 grados hacia el suroccidente) refleja procesos erosivos por el levantamiento progresivo del bloque oriental (Macizo de Santander).

El Área Metropolitana de Bucaramanga se enmarca dentro de tres bloques tectónicos definidos por dos principales sistemas de fallamiento: Suárez y Bucaramanga-Santa Marta. El **bloque Occidental** está conformado por rocas sedimentarias de Edad Jurásica (180 a 135 millones de años) donde se ubica el Aeropuerto de Palonegro y toda el área de Lebrija. El **bloque Central**, sector donde se ubica la ciudad de Bucaramanga, está relacionado con los depósitos aluviales recientes (730.000 a 1 millón de años) del abanico de Bucaramanga, con un espesor aproximado es de 290 metros; El **bloque Oriental** constituido por rocas ígneo-metamórficas, con Edades que van desde el Precámbrico (más de 600 millones de años) hasta el Paleozoico (500 a 225 millones de años) conformando el llamado Macizo de Santander.

El área metropolitana de Bucaramanga se encuentra ubicada dentro de un ambiente sismo tectónico de reconocida actividad histórica, en la cual los sistemas de falla como la de Bucaramanga – Santa Marta, Suárez y del Guaicaramo son las fuentes sismogénicas que mayor efecto potencial tendrían sobre el área de estudio. Lo anterior sin destacar la acción de otras fallas de carácter menos regional que presentan evidencias de actividad reciente.

En el área metropolitana de Bucaramanga se han sentido eventos de importancia con intensidades epicentrales entre V y VIII (Escala de Mercalli Modificada).

El Código de Construcciones sísmo resistentes (Decreto 1400 de 1984) y su actualización NSR 98, no contempla especificaciones de respuesta local a las ondas sísmicas. Sin embargo, en el Decreto Ley 400

de 1997 se exige la realización de los estudios de microzonificación sísmica para poblaciones de más de 100.000 habitantes, con el fin de definir para cada una de ellas los parámetros de diseño sismo resistente.

### **3. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE ACUEDUCTO**

La ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana cuentan en la actualidad con un sistema de abastecimiento de acueducto, calificado como de gran calidad a nivel nacional. La cobertura de sus redes llega al 100% de la población, sirviendo a los municipios de Bucaramanga, Girón, Floridablanca, que representan 175.000 usuarios.

El sistema general, comprende tres fuentes de abastecimiento principales, cuatro plantas de potabilización, 38 tanques de almacenamiento, dos bombeo principales, cuatro rebombes menores que abastecen 24 distritos de presión, que demandan una producción de 2.4 m<sup>3</sup>/s, con un índice de agua no contabilizada del 28%, que equivale a una dotación facturada de 200 lit/hab/día, Las fuentes de los ríos Tona y Frío aportan por gravedad el 80% de la demanda actual y el 20% restante lo aporta el sistema río Suratá, a través de bombeo. Sin embargo, en tiempo de fuerte verano y fenómenos del niño, las fuentes de gravedad disminuyen su producción al 50%, debiendo compensar el otro 50% el río Suratá.

#### **3.1 CAPTACIONES Y ADUCCIONES**

##### **3.1.1 Captación Río Tona**

De la cuenca del río Tona se captan las quebradas principales de Golondrinas, Armania y Tona a una elevación aproximada de 1400 msnm y 10 quebradas menores, además de pequeñas corrientes aprovechadas solamente en el período seco, por debajo de la cota 1350 msnm a lo largo de la conducción a las plantas de la Flora y Morrórico, su capacidad instalada es de 1400 l/s.

El caudal mínimo aprovechable, con una confiabilidad del 95%, del sistema del río Tona, se estima en 700 l/s. Este caudal ha coincidido con el caudal mínimo registrado durante los últimos fenómeno del niño y veranos recientes.

El aprovechamiento del sistema Tona se hace mediante una conducción a gravedad de 24 km de longitud aproximadamente, que se inicia en las captaciones y desarenadores de las tres fuentes principales : la quebrada golondrinas, el río Tona y la quebrada Armania, y continuando con un canal de concreto de sección rectangular, doble en algunos tramos, cubierto por losas de concreto.

La pendiente longitudinal promedia del canal es 0,35%. El flujo es a superficie libre y de naturaleza subcrítica. En el tramo de conducción en el túnel, el flujo es libre y se hace por una sección simple rectangular de 1,8 m de base, con paredes verticales de 1,30 m de altura, esta sección rectangular está cubierta por un techo semicircular de radio de 0,9 m.

##### **3.1.2 Captación del Río Suratá**

La captación del río Suratá, tiene una capacidad instalada de 2200 l/s, se encuentra localizada a unos 50 m aguas abajo de las descargas de las turbinas de la planta hidroeléctrica de Zaragoza y a unos 700 m de distancia aguas arriba de la Planta de Tratamiento Bosconia. Se trata de una estructura en concreto reforzado, construida a todo lo ancho del río. Es una bocatoma de tipo lateral con los niveles de agua controlados mediante tres compuertas radiales de acero de cinco metros de ancho por 1,80 m de altura cada una. Las compuertas están separadas mediante pilas de perfil hidrodinámico de 0,90 m de espesor.

Este tramo de la línea de aducción se encuentra localizado entre la cámara de aducción en la captación y las estructuras de llegada a los desarenadores. Se trata de una tubería de diámetro 48" de tipo American pipe, en acero con recubrimiento interior y exterior en mortero de cemento, y con una longitud aproximada de 344 m, un segundo tramo de la línea de aducción de agua a la planta y se localiza entre la cámara de confluencia de caudales de agua presedimentada y la cámara de llegada a la planta, situada antes del canal de aforo y mezcla rápida. Se trata de una tubería de diámetro 42" de American pipe, y de aproximadamente 300 m de longitud.

### **3.1.3 Captación Río Frío (florida)**

El agua se capta en la cámara de carga de la hidroeléctrica de la antigua Cervecería Clausen, a esa cámara llega el agua, desde la bocatoma de fondo y lateral de captación del Río Frío, por un canal de concreto y de piedra, que se conserva en buenas condiciones y tiene capacidad suficiente para conducir más de 700 l/s.

La conducción se compone de dos líneas de tubería de AC, de 14" de diámetro cada una y una AC de 16", con una longitud de 965 m, desde la cámara de carga hasta la planta.

Las dos líneas de tubería están colocadas una al lado de la otra, extendidas en un terreno de fuerte pendiente transversal. Estas tuberías fueron construidas a partir de 1968, el flujo a presión tiene velocidades del orden de dos metros por segundo que se estiman razonables para las condiciones de presión existentes y para asegurar la vida útil de las mismas, en total las tres captaciones suman una capacidad de 700 l/s y se encuentran operando satisfactoriamente.

## **3.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO**

El sistema de producción lo componen las plantas de Bosconia, Morrónico, La Flora, Floridablanca. La descripción de cada planta de tratamiento es la siguiente:

### **3.2.1 Planta de Bosconia**

Esta planta de tratamiento hace parte del Sistema Surató, se proyectó en el año 1980 e inició operaciones en agosto de 1984 tiene una capacidad nominal de 2000 l/s. Comprende dos tanques desarenadores y presedimentadores, y cuatro módulos independientes, con floculadores mecánicos de eje vertical, sedimentadores acelerados y filtros convencionales. Tiene un edificio de operaciones de una altura de tres pisos, de estructura aporticada, con entresijos en placa aligerada, configuración irregular en planta y elevación y rigideces, se encuentra en buen estado y no presenta signos de afectación sísmica. La planta de Bosconia está localizada en la vía que conduce de Bucaramanga, al municipio de Matanza, al Nororiente de la ciudad, entre las cotas topográficas 685 y 675 msnm.

### **3.2.2 Planta La Flora**

La Planta la Flora está localizada en la parte alta Oriental de Bucaramanga en la zona de Morrónico, sobre la margen izquierda de la carretera que conduce a Pamplona, a la altura del kilómetro dos entre las cotas topográficas 1170 y 1195 msnm, fue puesta en servicio en el año 1966 y fue optimizada en el año de 1980, está destinada a tratar aguas provenientes de las fuentes de la hoya del río Tona, para abastecer principalmente el sector oriental con apoyo parcial de un sector del sur del sistema de distribución, funciona conjuntamente con las otras plantas, constituyendo entre todas el sistema de tratamiento del área del triángulo Bucaramanga, Floridablanca, y Girón, con lo que se atiende toda el Área Metropolitana de Bucaramanga.

La planta es del tipo convencional y tiene una capacidad nominal de tratamiento de 1,240 l/s. Consta de los siguientes elementos componentes del sistema de tratamiento en dos módulos: presedimentadores, Floculadores mecánicos de eje horizontal, sedimentadores acelerados, filtros rápidos, edificios de Control de calidad y de operaciones.

El edificio de operaciones y bodega, consta de una estructura de dos pisos aporticada, regular en planta y elevación e irregular en rigideces, muestra algunos signos de desplazamiento atribuibles a problemas de fundaciones y efecto sísmico. El edificio de Control de Calidad tiene características similares, pero no evidencia ningún tipo de daño.

### **3.2.3 Planta de Morrórico**

La planta de Morrórico está localizada al Oriente de la carrera 33A entre la avenida Quebrada Seca y Calle 32 de Bucaramanga, entre las cotas topográficas 1050 y 1081 msnm. La planta es del tipo convencional, con unidades de medición de caudal, mezcla rápida, floculación hidráulica, sedimentación y filtración; su capacidad es 400 l/s. Y no tiene redundancia. El agua llega a través de una conducción mixta de presión y flujo libre, en tubería de concreto y acero de 2 km de longitud, que parte de una derivación de la entrada a la planta la Flora.

La floculación es hidráulica de flujo horizontal, entrega a un canal de flujo horizontal con vertederos laterales que distribuyen a las dos unidades de sedimentación antiguas, conformadas con muros de taludes en tierra revestidos en concreto.

Se tienen siete unidades de filtración, el efluente de los filtros se conduce a través de una tubería de diez pulgadas de diámetro, cubriendo los filtros se encuentra el edificio donde se disponen las oficinas, el sistema de control Scada, laboratorio, equipos dosificadores de alumbre, cal, cloro, amoníaco, depósitos para cilindros de cloro, tableros controladores y demás elementos que tienen que ver con el funcionamiento de la planta, esta estructura es una edificación de dos niveles, de mas de 50 años de antigüedad, que tiene la siguiente configuración: pórticos de concreto, con columnas esbeltas, entepiso en placa maciza, regular en planta e irregular en elevación, no evidencia signos de daño sísmico.

### **3.2.4 Planta de Floridablanca**

La Planta Floridablanca está localizada en la zona Sur-oriental del Área Metropolitana de Bucaramanga, en la parte alta de los barrios Bucarica y Caracolés del municipio de Floridablanca, a una altura media de 1042 msnm.

Su construcción inicial se hizo el año 1971; fue optimizada para darle mayor capacidad, en los años 1977 y 1983 respectivamente.

La Planta Floridablanca está destinada a tratar aguas provenientes de las fuentes de la hoya del Río Frío, para abastecer la zona Sur del Área Metropolitana y apoyar los sistemas del Tona y Suratá para constituir entre todas el sistema de tratamiento de agua del triángulo Bucaramanga-Florida-Girón. El sistema de tratamiento se compone de dos secciones: la sección antigua optimizada, de tipo convencional, con capacidad nominal de tratamiento de 400 l/s y la sección ampliada en el año 1983 de tipo convencional pero con sedimentación de alta rata, con capacidad nominal de tratamiento de 220 l/s, dependiendo de las turbiedades de agua cruda, los dos módulos han tratado hasta 700 l/s. La planta consta de los siguientes elementos componentes del sistema de tratamiento: estructuras de admisión de agua cruda, mezcladores rápidos, floculadores, sedimentadores de alta rata, filtros rápidos,

dosificadores, edificio de operación, tanque de distribución, controles de salida a las redes. El edificio de operación tiene la siguiente configuración. Estructura aporricada, entresijos en placa aligerada, presenta irregularidad en planta, elevación y rigidez, no evidencia signos de daño por efectos sísmicos.

### 3.2.5 Capacidad de producción

A continuación se presenta un resumen de las capacidades de tratamiento instaladas en cada planta y también los caudales que con una confiabilidad de 95% pueden suministrar las respectivas fuentes.

PLANTA DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO	FUENTE	CAUDAL MÍNIMO CONFIABLE (l/s)	CAUDAL MÍNIMO REGISTRADO l/s 95% CONFIABLE
BOSCONIA	2000	Río Suratá	1980	2000
FLORA	1240	Río Tona	700	670
MORRORICO	400	Río Tona	–	–
FLORIDABLANCA	620	Río Frío	560	397
<b>TOTAL</b>	<b>4810</b>		<b>3900</b>	

### 3.3 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El sistema actual cuenta con 38 tanques de almacenamiento, siendo el sistema la Flora con 18 tanques y 55217 m<sup>3</sup> el que presenta el mayor almacenamiento. El único tanque con capacidad de 10000 m<sup>3</sup> es el de la Planta de Tratamiento de Bosconia, otros tanques como San Juan, Estadio y Morro Bajo alcanzan los 8250 m<sup>3</sup>.

El sistema Bosconia, que abastece el distrito Estadio y la zona Norte de Bucaramanga almacena el 27,9% del triángulo BFG y el 25,9% de toda el Área Metropolitana.

En el sistema Flora-Morrórico se encuentran seis tanques considerados críticos, estos son: Morro Alto, Puerta del Sol, Malpaso, San Juan y Girón Mayor; situación que indica la vulnerabilidad de este sistema. El volumen total existente de almacenamiento para el triángulo BFG es de 97 093 m<sup>3</sup>. El índice de almacenamiento para el Área Metropolitana es de 120 lit/hab, considerado como razonable si se tiene en cuenta que la demanda global del área metropolitana es de 213 lit/hab/día, y en relación con la demanda es del 36,6% considerado como un valor alto en relación con los valores sugeridos por INSFOPAL.

La localización y capacidad de los tanques fue realizada con base en los estudios de demanda y presiones del sistema, sin embargo debido a inconvenientes que se han registrado últimamente y a la expansión del distrito sanitario bajo condiciones topográficas abruptas (servicio entre las cotas 650 msnm y 1260 msnm) la CAMB se ha visto obligada a programar nuevos tanques.

Para un mejor conocimiento del sistema de tanques de la Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga se presenta en el plano 1, la localización general de estos, se incluye además el registro fotográfico de los principales tanques.

### 3.4 CONDUCCIONES E IMPULSIONES

#### 3.4.1 Generalidades

Las conducciones son las tuberías que unen las plantas de tratamiento con los tanques de distribución y los tanques entre sí. Las impulsiones se refieren a las tuberías que conducen el agua impulsada por estaciones de bombeo.

La red de conducciones e impulsiones se calculan para transportar el caudal máximo diario para el período de diseño y para soportar las presiones internas de trabajo (hidrostática o hidrodinámica) a que estarán expuestas. Las válvulas mariposas, de compuerta y anulares son colocadas en puntos iniciales, finales e intermedios para dar flexibilidad y funcionamiento del sistema en caso de daño o alguna emergencia. Función similar prestan las válvulas en las interconexiones entre tramos, colocadas en sitios estratégicos para facilitar la operación del sistema. Los materiales utilizados son: ACCP (AP) (American concrete, cylinder pipe), asbesto cemento, Acero y PVC (cloruro de polivinilo), Hierro dúctil, Las conducciones e impulsiones actuales se describen a continuación.

**Tubería de impulsión planta Bosconia - tanque estadio - tanque morro alto:** Esta tubería transporta las aguas del río Suratá, previamente tratadas en la planta de Bosconia, hasta los tanques del Estadio y de la planta de Morrorico, mediante la operación de la estación de bombeo de Bosconia. Su capacidad máxima de diseño es de 2000 l/s. La línea de impulsión se ha dividido en dos partes, el tramo de alta presión tiene una tubería metálica soldada de diámetro interior de 1000 mm, y el tramo de baja presión que tiene una tubería de diámetro interior de 42", en tubería tipo cilindro de Acero con recubrimiento interior y exterior de mortero. Además la línea de impulsión incluye la almenara o tanque acumulador, formada con tubería metálica de diámetro interior de 1500 mm y de 61 m de altura, en el tramo de baja presión, la tubería va enterrada y discurre bajo vías de tránsito vehicular alto, Es un bombeo de más de 394 m de altura dinámica total, el tanque Estadio es una terminal intermedia del bombeo y el tanque Morroalto es la terminal final del bombeo. Esta conducción suministra caudal a los distritos Estadio, Morro Alto y Morro Bajo, cubriendo mas del 60% de la Meseta de Bucaramanga, y la totalidad de la zona Norte de la ciudad y en época de verano esta cobertura puede subir al 90%.

**Conducción de oriente:** Esta conducción se inicia en la planta La Flora y alimenta los tanques de Cabecera y Cacique. Adicionalmente alimenta en ruta el sector bajo del barrio Miraflores y la parte alta de los barrios Las Américas, Altos del Jardín y Pan de Azúcar.

Como su nombre lo indica, esta conducción se desarrolla por las estribaciones los cerros Orientales de la meseta en dirección Norte-Sur. Sus diferencias de nivel respecto a la planta la Flora, genera presiones difíciles de controlar, con las consecuencias conocidas de daños en tuberías. Sumado a ello, está la agresividad del suelo, que afecta los materiales metálicos de la conducción. Esta conducción ha presentado problemas en el servicio en los sectores del barrio El Jardín, por la agresividad de los suelos que afectan a las tuberías de concreto reforzado, y también debido a las presiones elevadas.

**Conducción planta de la flora - tanques norte alto y bajo - tanque morro alto:** Se inicia en la planta de La Flora en tubería de 16", en AC, en una longitud de 828 m y alimenta el tanque Norte Alto, posteriormente alimenta el tanque Norte Bajo y continua hacia el tanque Morro Alto en tubería de 14" en AC, con una longitud de 244 m.

**Conducción morro - Malpaso - la iglesia:** Esta conducción se origina en el tanque Morro Bajo y conecta con los tanques Malpaso y La Iglesia y deriva en ruta hacia el tanque la Puerta del Sol, es de



vital importancia debido a que entrega suministro a uno de los sectores de más desarrollo en la ciudad, como es la zona de la Ciudadela Real de Minas, abastece la totalidad del servicio del municipio de Girón, y comunica los sistemas del Norte con el del Sur. La conducción parte del tanque Morro Bajo en tubería de 24", 20", 18" y 16".

**Conducción tanque la iglesia - tanque san juan:** Inicia en el tanque La Iglesia y llega al tanque San Juan, el cual abastece todo el municipio de Girón. Inicia en tubería de 16" en AC, esta conducción fue diseñada como canal debido a la topografía de la zona, la cual no permitió excavaciones que garantizarán presiones suficientes. El tanque San Juan, posee una capacidad de almacenamiento de 8870 m<sup>3</sup>, siendo el tanque de mayor capacidad en la meseta.

**Conducción planta florida - tanque santa ana - tanque malpaso:** Esta conducción parte de la planta de tratamiento de Floridablanca, desciende con rumbo Norte alimentando los tanques Bellavista, Villabel Alto, y Santa Ana, en AC de 16" y 14" llega luego al tanque Malpaso y en su recorrido conecta al tanque Villabel bajo.

**Conducción planta florida - tanque bucarica - tanque ruitoque country club:** Esta conducción va desde la planta de Floridablanca, hasta los tanques Caracolí, Bucarica, Ruitoque Country Club y tanque privado Ruitoque Bajo, esta en tubería de 10" PVC.

**Conducción planta florida - tanque girón mayor:** Parte de la planta de Florida comunicándola con el tanque Girón Mayor, tiene una longitud total de 11 Km con diámetros que varían entre 10 y 12" en AC, se desarrolla por el anillo vial y fue diseñada para que en el futuro alimente el tanque proyectado de Girón Alto que cubrirá la zona baja del valle de Río Frío.

**Conducción tanque san Juan - tanque girón mayor:** Esta conducción va desde el tanque San Juan hasta el tanque Girón Mayor. Inicia en una tubería de 24" de acero reduce a 20" en AC y luego 18" en AC, permitiendo en este tramo distribución en ruta para alimentar la parte alta de Girón y finalmente se reduce a 14" en AC para hacer la entrega al tanque Girón Mayor, su longitud total es de 6 Km.

**Conducción planta Bosconia - tanque angelinos -tanque colorados:** Esta conducción parte desde la planta de Bosconia, como una derivación de la línea de impulsión que alimenta el tanque Estadio, comunicando al tanque Angelinos y de este se alimenta el tanque Los Colorados.

**Conducción planta florida - tanque el carmen:** Esta conducción expresa va desde la planta de Floridablanca en tubería de 12" AC, partiendo en la cota 1033 msnm hasta el tanque el Carmen en cota 1015 msnm.

**Impulsión tanque el carmen - tanque elevado de la cumbre:** Del tanque el Carmen parte la impulsión de 10" en AC y longitud de 980 m hasta alimentar el tanque elevado de la cumbre que abastece por gravedad el distrito.

### 3.5 BOMBEOS

**Bombeo Bosconia-Morrórico:** La estación de bombeo Bosconia, del sistema Suratá está situada entre el tanque de almacenamiento de agua tratada y la tubería de impulsión de la planta a la ciudad, de tal manera que este tanque le sirve de pozo de succión. El conjunto de bombas y equipos accesorios que constituyen la estación, impulsan el agua tratada en la planta de Bosconia, desde el tanque de almacenamiento de agua tratada a los tanques de distribución del Estadio y de Morrórico que se

encuentran a una altura estática de 342 y 372 m respectivamente del tanque de agua tratada. Está integrada por un conjunto de unidades así: Cámara o pozo de succión, unidades principales, unidad de llenado, válvulas en la succión y descarga de cada bomba, tubería de impulsión, tanques Estadio y Morrónico, sistema de protección contra golpe de ariete y subestación eléctrica. Los equipos de bombeo consisten en cuatro motobombas marca SULZER, tres de las cuales operan y una es de reserva. Cada bomba tiene capacidad de 667 l/s para una altura de 394 m que es la cabeza dinámica total al tanque más alto localizado en la planta de Morrónico, sus motores funcionan con un voltaje de servicio de 4160 V a 60 ciclos, y tienen una potencia de 5000 HP. La línea de impulsión del bombeo consta de dos sectores. El de alta presión que consiste en una tubería metálica de acero soldado de un metro de diámetro interno y espesores que van desde 8 a 16 mm y longitud de 1620 m, y el sector de baja presión en la meseta de Bucaramanga consistente en tubería tipo American Pipe de 42" de diámetro interno, y una longitud de 1685 m. El caudal máximo que pasa por esta tubería, es de 2000 l/s. Al final del primer tramo está la almenara o tanque acumulador, de 61 m de altura, en tubería de acero soldada y 1,5 m de diámetro. La subestación eléctrica consta de dos transformadores de capacidad de 14/16 MVA cada uno, que trabajan en forma alterna, quedando siempre uno de reserva. La subestación recibe la energía en 115 KV y la transforma a 4160 V para la operación de los motores.

**Bombeo de la Cumbre:** La demanda originada en el distrito La Cumbre, no permitía que el bombeo existente cumpliera con todos los requerimientos, lo que originó el diseño de una nueva estación de bombeo en el año de 1992. El tanque El Carmen es alimentado desde la planta de Floridablanca, y distribuye por gravedad al barrio El Carmen y parte Oriental del barrio Villaluz; por bombeo alimenta el tanque elevado de la cumbre.

### 3.6 DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Con el objeto de conocer integralmente el funcionamiento de los diferentes componentes de cada sistema, a continuación se presenta una descripción general de los sistemas Bosconia, La Flora-Morrónico, Floridablanca, en el plano 1, se presenta el esquema general de la red de distribución del Área Metropolitana de Bucaramanga.

**Sistema Flora-Morrónico:** La Planta de la Flora está localizada sobre la margen izquierda de la carretera que conduce a Cúcuta, entre las cotas topográficas 1170 y 1195 msnm. Para una confiabilidad del 95%, se estimó el caudal mínimo para el sistema del Río Tona en 700 l/s, que se transporta a las plantas de tratamiento de La Flora y Morrónico por gravedad, utilizando un canal de concreto de sección rectangular, doble en algunos tramos, cubierto por losas de concreto, las áreas pobladas de los escarpes orientales ubicadas por encima de la cota de la planta se abastecen a través de pequeños bombeos y rebombeos.

De la planta la Flora parten dos conducciones vitales en el sistema, la primera de ellas una conducción de 24" la cual se bifurca en las instalaciones de la misma planta para dar partida a la primera conducción denominada Oriente, iniciando en tubería de 16" en AP y alimentando en ruta varios sectores y entregando aguas a cuatro tanques importantes que abastecen toda la zona oriental de la ciudad. La segunda ramificación de la tubería de 24", parte hacia el tanque Norte Bajo, que abastece un importante sector central que comprende la gran mayoría de clínicas y hospitales de la ciudad, zonas residenciales, importantes universidades y el complejo deportivo Alfonso López. La segunda conducción que parte de la planta la Flora es de 16" en acero y entrega al tanque Norte Alto, el cual a su vez lo hace al tanque Norte Bajo. El tanque Norte Alto está comunicado a su vez con el tanque Morro Alto, a donde llegan aguas del río Tona tratadas en la Planta de Morrónico y del bombeo de Bosconia, cuando las necesidades de bombeo del tanque Estadio lo permiten. El tanque Morro Alto alimenta el tanque de

Morro Bajo y de él se derivan tres tuberías de distribución, dos de las cuales alimentan el distrito que lleva el mismo nombre, y la tercera tubería alimenta directamente una industria local.

El tanque Morro Bajo, distribuye en tubería de 24" y el flujo se encuentra controlado por una válvula de compuerta estrangulada en las instalaciones de la planta de Morrórico, esta conducción se ramifica y entrega aguas a cuatro importantes tanques que abastecen el sur y sur-occidente de la ciudad, entre ellos el tanque Malpaso, sitio de unión de los sistemas del Norte(Bosconia-flora-morro) y del Sur(florida) es el punto más crítico del sistema de distribución en la actualidad. Posee en actualmente entradas de agua de las cuatro plantas de tratamiento y abastece el sur-sur occidente del área. De la conducción de Morrobajo a Malpaso, también deriva la conexión al tanque cañaverál, que abastece, todo el sector occidental del Municipio de Floridablanca.

**Sistema Bosconia:** El agua es transportada desde la estación de bombas ubicada junto a la Planta de Tratamiento Bosconia, sobre la orilla del río Suratá, a 675 msnm hasta la Meseta, pasando por los predios de la Universidad Industrial de Santander y al llegar a terrenos del Batallón Caldas, entrega 700 l/s al tanque Estadio de donde continua en tubería de concreto reforzado hasta el tanque de Morrórico, a 1055 msnm. La línea de impulsión del bombeo tiene 3 km de longitud.

El tanque Estadio, abastece la totalidad del centro y norte de la ciudad y buena parte del occidente de la meseta de Bucaramanga, su entrada es por un tubo 24" con una válvula que se acciona desde el centro de control en la Planta de Morrórico. En la época de verano que afecta el sistema Tona, se incrementa el caudal de bombeo de Bosconia, el tanque se llena rápido y obliga el cierre de esta válvula para permitir el aporte del caudal al sistema Morrórico-la flora y cubrir su déficit, en sucesivas maniobras alternativas realizadas en lapsos de una y dos horas.

El funcionamiento de los tanques del Norte de la ciudad alimentados por el tanque Estadio esta regulado por válvulas de compuerta estranguladas o por medio de pasos directos que regulan el caudal de entrada. Las partes bajas de los sectores del norte y occidente de la ciudad, presentan altas presiones que son controladas por válvulas reguladoras y los citados tanques de almacenamiento que quiebran la presión.

**Sistema Floridablanca:** El sistema de Floridablanca, el más importante sistema de distribución del sur del Area Metropolitana abastece los tanques Santa Ana, Villabel Alto, Villabel Bajo, El Carmen y La Cumbre en su zona Norte, y los tanques Bucarica, Caracolí y La Constancia, en el extremo Sur. Al Occidente alimenta en conducción expresa el tanque Girón Mayor. Las aguas del sistema provienen del Río Frío y su tratamiento se realiza en una Planta de Tratamiento tipo convencional localizada al SE del municipio a una elevación de 1035 msnm. El caudal mínimo confiable del sistema es de 654 l/s.

Los distritos de este sistema están delimitados por los barrios que se surten de cada tanque, presentando en la actualidad una serie de empalmes con el sistema Flora - Morrórico y Bosconia, en el barrio Santa Ana, sobre la vía antigua a Floridablanca, existe una conducción que comunica el tanque Santa Ana con el tanque Malpaso (del sistema La Flora) Los barrios que se derivan de la conducción entre estos dos tanques, pueden obtener su suministro de cualquier sistema, dependiendo de los niveles de los tanques y de los consumos de los distritos.

El sistema Floridablanca, opera dos zonas totalmente independientes, la zona Norte del municipio que abarca hasta el tanque Malpaso y sus distritos de abastecimiento, y la zona Sur desde el barrio Bucarica hasta el tanque privado de Ruitoque Country Club.

El tanque Malpaso, considerado como el sitio más vulnerable del sistema de distribución de todo el Área Metropolitana de Bucaramanga es un pequeño tanque de 4850 m<sup>3</sup> que abastece un vasto sector del Sur de la ciudad.

#### 4. ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA INDICATIVA

##### 4.1 AMENAZA SÍSMICA

Se realizaron análisis de amenaza sísmica para determinar la contribución individual de cada una de las fuentes sismogénicas y así identificar cuales son los escenarios que dominan la amenaza de la zona bajo estudio. En todos los casos el nivel de amenaza corresponde a un probabilidad de excedencia de 10% en 50 años, es decir, un periodo de retorno de 475 años. La Tabla 4.1 presenta el valor de aceleración máxima del terreno obtenida para los análisis de amenaza para fuentes individuales, que se encuentren dentro de un radio de 200 km de la zona de estudio. Se puede observar que la amenaza esta controlada por la posible ocurrencia de un sismo a lo largo de las Fallas Bucaramanga-Santa Marta, Suárez, Salinas y la Frontal de los Llanos Orientales. Sin embargo, para efectos de este estudio se pueden sintetizar los escenarios sísmicos en dos posibles: Falla Bucaramanga y Frontal de los Llanos Orientales. Lo anterior se debe a que los posibles efectos generados por un sismo en las fallas Suárez y Salinas estarían cubiertos por los escenarios escogidos.

Es de resaltar de la Tabla 4.1 que de acuerdo con los niveles de actividad asignados a las diferentes fuentes sísmicas, la amenaza del área metropolitana de Bucaramanga estaría controlada por la falla frontal de los Llanos Orientales, en términos de aceleración máxima del terreno. Resultaría más lógico pensar que el escenario que controlara la sismicidad de esta zona fueran las Fallas de Bucaramanga-Santa Marta y/o Suárez que tienen tasas de actividad apreciables, magnitudes máximas probables de consideración y se encuentran en las inmediaciones del área de estudio. Entre otros, este hecho está motivado por la modelación de las fuentes sísmicas en el estudio AIS300, dado que a cada línea fuente se le asigna el valor de profundidad promedio. Si el mismo análisis de amenaza se hiciera, pero asumiendo profundidad variable en cada fuente (i.e. integrar sobre toda la profundidad), se obtendría que la falla de Bucaramanga - Santa Marta sería el escenario sísmico dominante y con un nivel de amenaza superior al establecido hoy en día por la NSR98 (i.e.  $A_a > 0.3g$ ). Este hecho debe ser motivo de discusión, pero resultaría fuera del alcance de este estudio.

Fuente Sísmica	Am (g)
Todas las fuentes (200 km)	0.247
Frontal de los Llanos Orientales	0.214
Bucaramanga - Santa Marta	0.166
Salinas	0.118
Suárez	0.106
Benioff Profunda	0.078
Uribante Capero	0.044
Boconó	0.025
Cimitarra	0.024
Palestina	0.023
Puerto Rondón	0.018

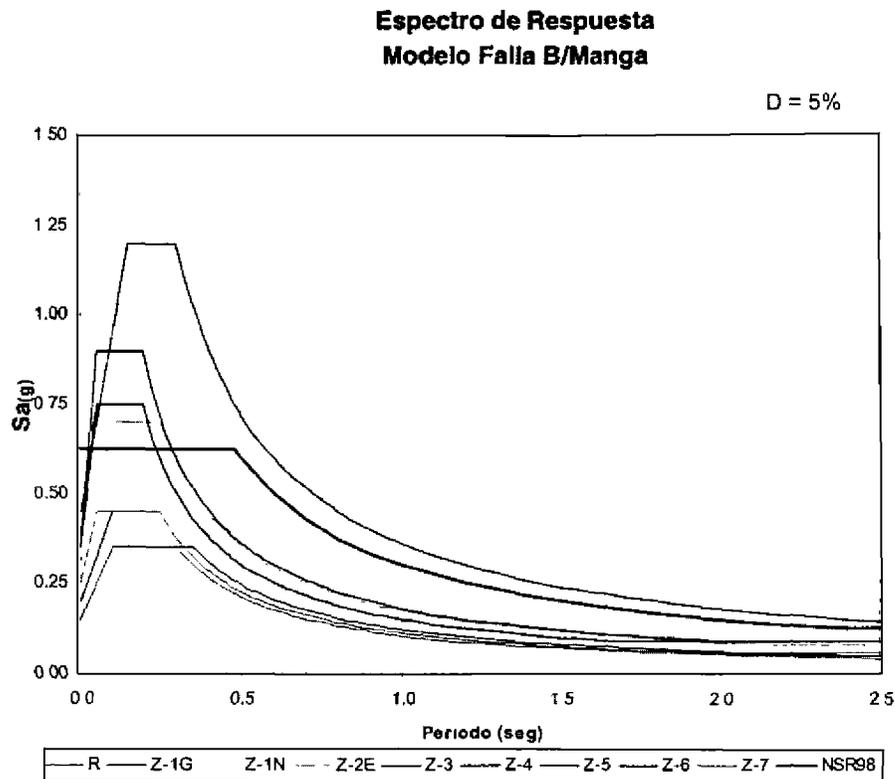
**Tabla 4.1** Amenaza sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga considerando fuentes sismogénicas individuales.

## 4.2 ESPECTROS DE DISEÑO

De acuerdo con los modelos del subsuelo escogidos para las diferentes zonas geotécnicas, así como los dos diferentes escenarios sísmicos propuestos, a continuación en las Figuras 4.1 y 4.2 se muestran los espectros de diseño obtenidos. Para efectos de comparación se incluye el espectro del NSR98 construido para suelo S1, por ser este el que en la actualidad se usa para casi la totalidad del área metropolitana de Bucaramanga.

Para el escenario sísmico correspondiente a la falla de Bucaramanga (Figura 4.1), se pueden precisar algunos aspectos. Dentro de las 7 zonas propuestas, desde el punto de vista de respuesta dinámica, se puede apreciar que existen 3 grupos de respuesta espectral similar, tanto en amplitud y forma. Un primer grupo reúne las respuestas espectrales de las zonas de roca pura, suelos residuales sobre roca sana 1G, 1N, 3 y 7, y se caracteriza por tener aceleraciones espectrales hasta 0.50g y agrupar a los estratos más rígidos desde el punto de vista geotécnico (i.e. roca). El segundo grupo está compuesto por las zonas 2, 4 y 5, con aceleraciones hasta de 0.9g; aquí está incluida la mayoría del área construida, que se cimienta sobre depósitos de suelo rígido. El espectro para las zonas de llenos, resulta ser un caso especial y presenta las mayores aceleraciones esperadas (1.20g).

Igualmente, el escenario sísmico correspondiente a la falla Frontal (Figura 4.2) muestra los mismos 3 grupos, discutidos anteriormente, en términos de respuesta espectral similar tanto en amplitud y forma. El primer grupo reúne las respuestas espectrales de las zonas de roca pura, 1G, 1N, 3 y 7, con aceleraciones de hasta 0.60g. Un segundo grupo comprende las zonas 2, 4 y 5 que tienen aceleraciones de hasta 1.00g. El espectro para las zonas de llenos tiene aceleraciones hasta de 1.25g.



**Figura 4.1** Espectros de diseño para diferentes zonas compatibles con escenario sísmico falla de Bucaramanga – Santa Marta.

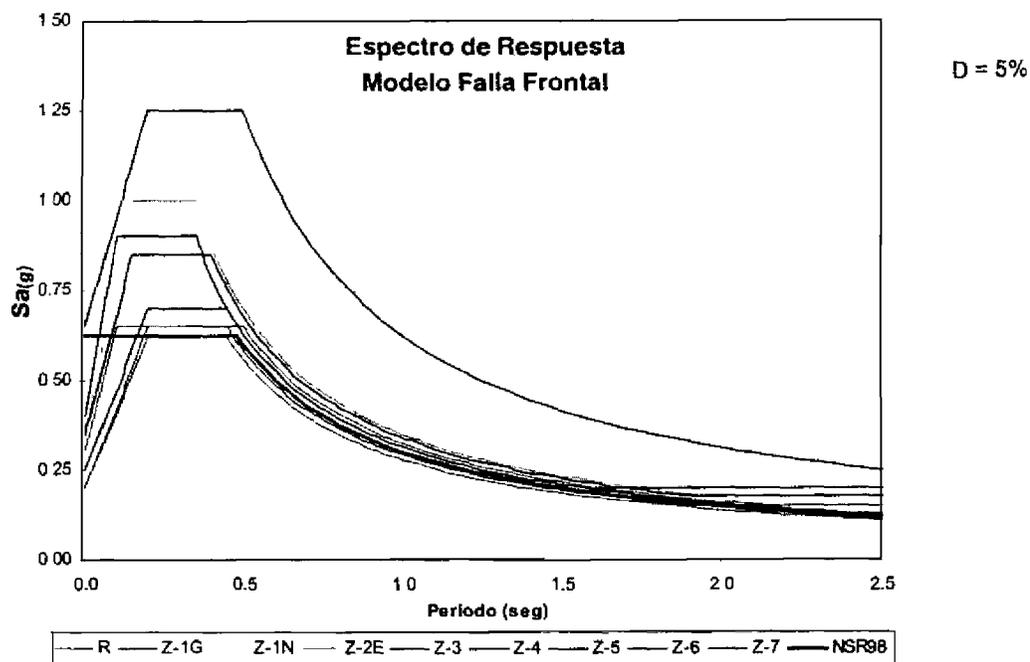


Figura 4.2 Espectros de diseño para diferentes zonas compatibles con escenario sísmico falla Frontal.

De acuerdo con la agrupación propuesta anteriormente los espectros son resumidos convenientemente para cada uno de los escenarios sísmicos y se muestran en las Figuras 4.3 y 4.4.

Aún cuando se escogieron dos escenarios sísmicos posibles, la Figura 4.4 muestra que los espectros calculados para la falla de Frontal contienen a los espectros obtenidos para la falla Bucaramanga-Santa Marta para zonas equivalentes. Este hecho simplifica significativamente la determinación de las fuerzas por sismo a considerarse en el diseño. Los espectros propuestos como parte de la zonificación sísmogeotécnica indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga se presentan en la Figura 4.5.

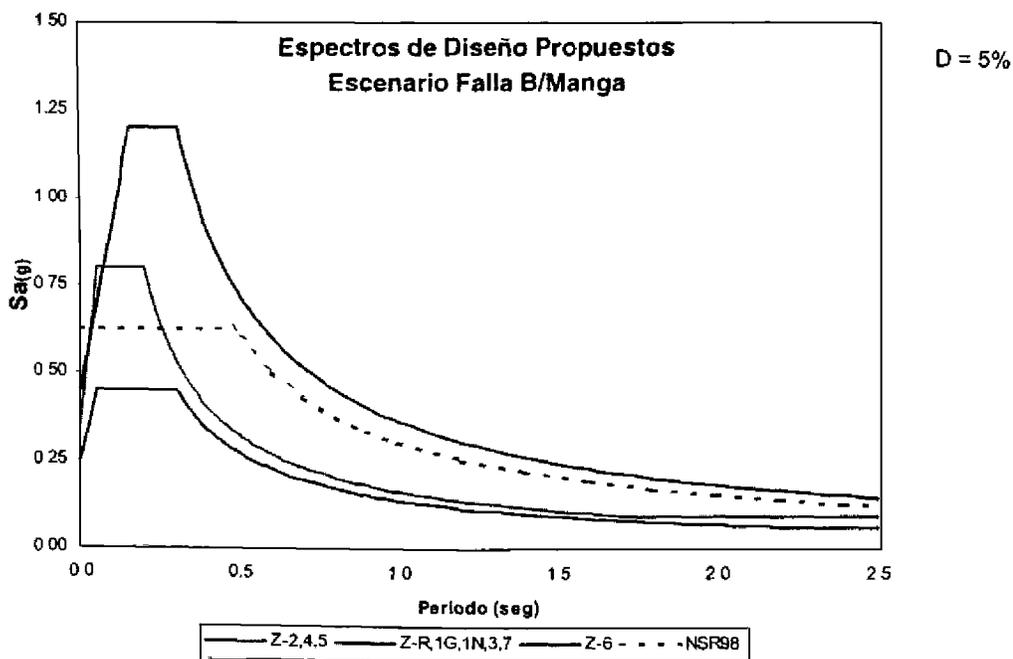


Figura 4.3 Espectros de diseño para zonas de similar respuesta dinámica compatibles con escenario sísmico falla Bucaramanga - Santa Marta.

**Espectros de Diseño  
Escenario Falla Frontal**

D = 5%

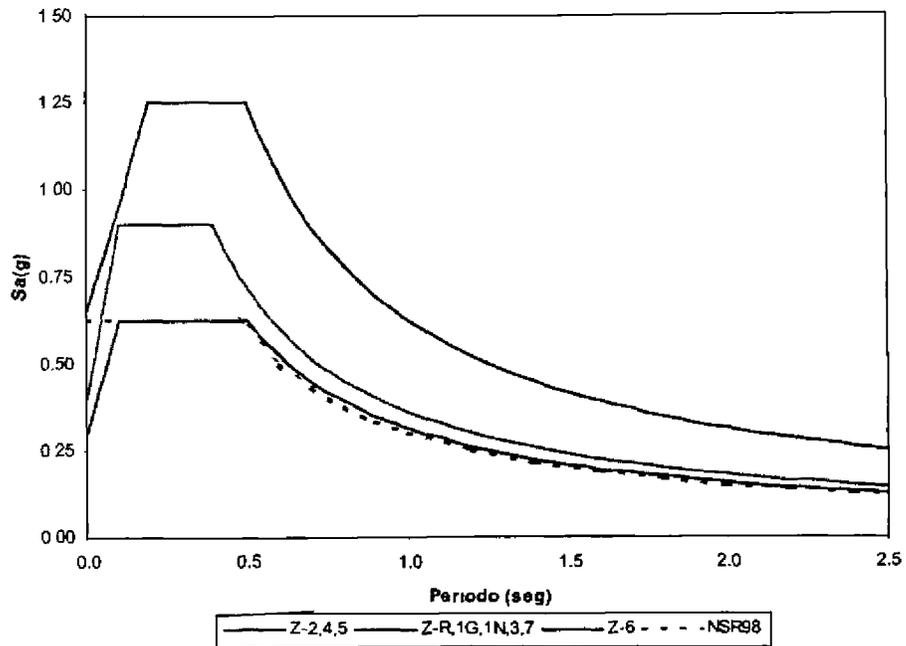


Figura 4.4 Espectros de diseño para zonas de similar respuesta dinámica compatibles con escenario sísmico falla Frontal.

**Espectros de Diseño Propuestos  
Área Metropolitana de Bucaramanga**

D = 5%

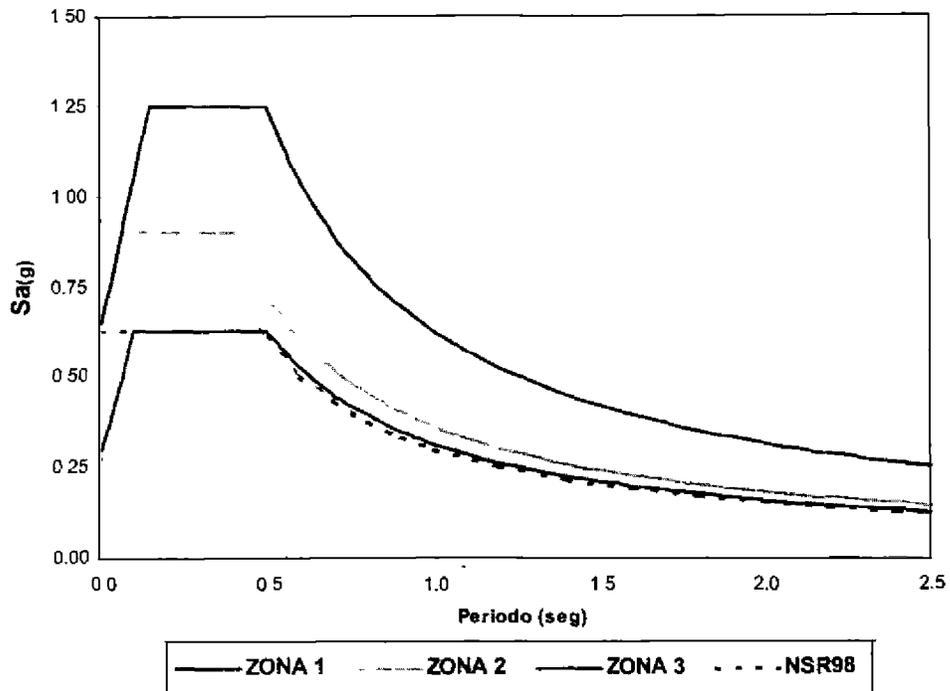


Figura 4.5 Espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

### 4.3 ZONIFICACIÓN

La zonificación geotécnica dividió el área de estudio en nueve (9) zonas: la zona 1 caracterizada fundamentalmente por la presencia de rocas sedimentarias; la zona 2 la componen rocas ígneas y metamórficas; la zona 3 conformada por limos rojos del abanico aluvial y escarpes de la meseta; la zona 4 caracterizada por la Formación Organos; la zona 5 conformada por flujos de escombros; la zona 6 por valles aluviales; la zona 7 caracterizada por depósitos de coluvión, la zona 8 susceptible a deslizamientos y la zona 9 por rellenos sueltos.

Utilizando microtrepidaciones los periodos obtenidos en el área Metropolitana de Bucaramanga están en el rango de 0.05 s hasta un poco mayores de 0.35 s, resultados que están acordes con los periodos obtenidos en registros de sismos en la ciudad. Al comparar estos resultados con los obtenidos en otras ciudades del país es fácil apreciar que la variación en los periodos es muy baja, lo cual nos da un indicador de la homogeneidad y la rigidez de los suelos de Bucaramanga.

Los mapas obtenidos a partir de microtrepidaciones, pueden ser considerados como zonificación dinámica preliminar de la zona de estudio, la cual debe ser complementada con estudios geotécnicos y modelaciones más detalladas del comportamiento dinámico de los suelos.

En total son tres zonas de respuesta dinámica diferente para las cuales se pueden hacer las siguientes observaciones:

**Zona 1 - Roca:** Esta zona comprende los depósitos de roca correspondientes a la formación Girón (1G) y cualquier depósito que se pueda considerar como roca pura (R). Los depósitos considerados como roca blanda y/o suelos residuales competentes sobre manto rocoso, comprende las zonas identificadas como 1N, 3 y 7. Tienen una forma espectral y aceleraciones máximas similares a lo propuesto por la NSR98.

**Zona 2 - Suelo Rígido:** donde se encuentra la mayor parte de la población del área metropolitana de Bucaramanga, y corresponde a depósitos de suelo rígido y reúne las zonas 2, 4 y 5. Presenta aceleraciones espectrales máximas considerablemente altas. Dicha forma espectral, así como los valores máximos están en concordancia con la propuesta de la norma UBC97 para sitios donde efectos de campo cercano son esperados; tal y como podría ser el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga.

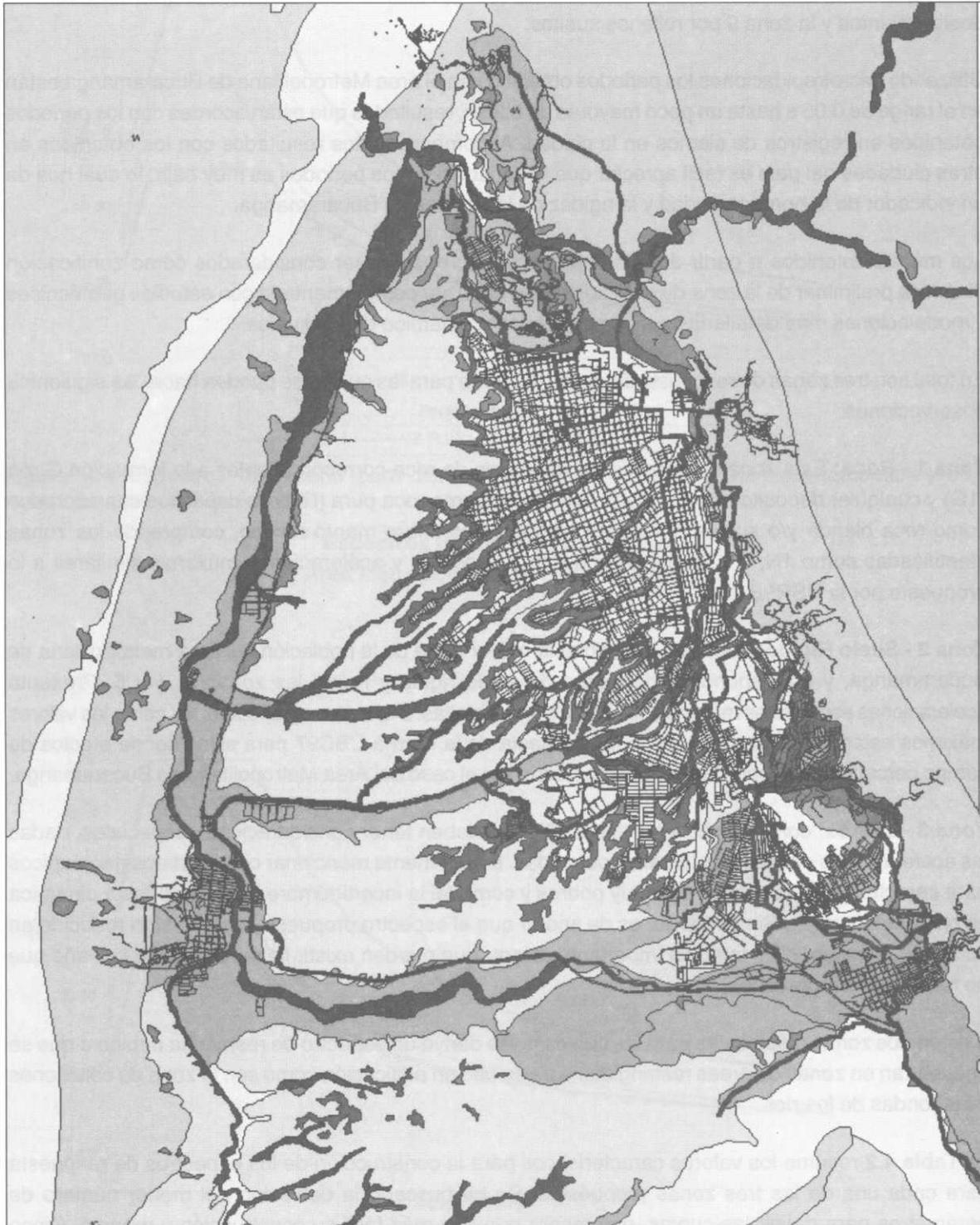
**Zona 3 - Llenos:** corresponde a los llenos (6), que deben tener consideraciones especiales, dadas las aceleraciones espectrales tan altas obtenidas. Es pertinente mencionar que los datos geotécnicos para caracterizar estas zonas son muy pobres y como tal la incertidumbre de su respuesta dinámica es bastante elevada. Sin embargo, es de anotar que el espectro propuesto aquí ha sido reducido en su amplitud máxima. Es también importante aclarar que pueden existir llenos de menor tamaño que no han sido cartografiados.

Existen dos zonas adicionales para las cuales no se derivó un espectro de respuesta debido a que se encuentran en zonas de áreas restringidas para su uso en edificación como son la zona de coluviones y las rondas de los ríos.

La **Tabla 4.2** resume los valores característicos para la construcción de los espectros de respuesta para cada una de las tres zonas propuestas. Se ha buscado la definición del menor número de parámetros para definir las curvas, de manera que sea más fácil su construcción y manejo. Cinco variables son necesarias para obtener los espectros, a saber:  $A_m$  corresponde al valor de máxima aceleración del terreno ( $T=0s$ ),  $S_m$  es el valor máximo de aceleración espectral correspondiente a la

parte plana del espectro,  $T_0$  y  $T_c$  son los períodos que definen el inicio y la terminación de la parte plana del espectro y  $T_L$  es el periodo después del cual las aceleraciones espectrales son constantes a un valor de  $A_m/4$ .

La **Figura 4.6** muestra esquemáticamente la forma espectral de diseño definida para este estudio,



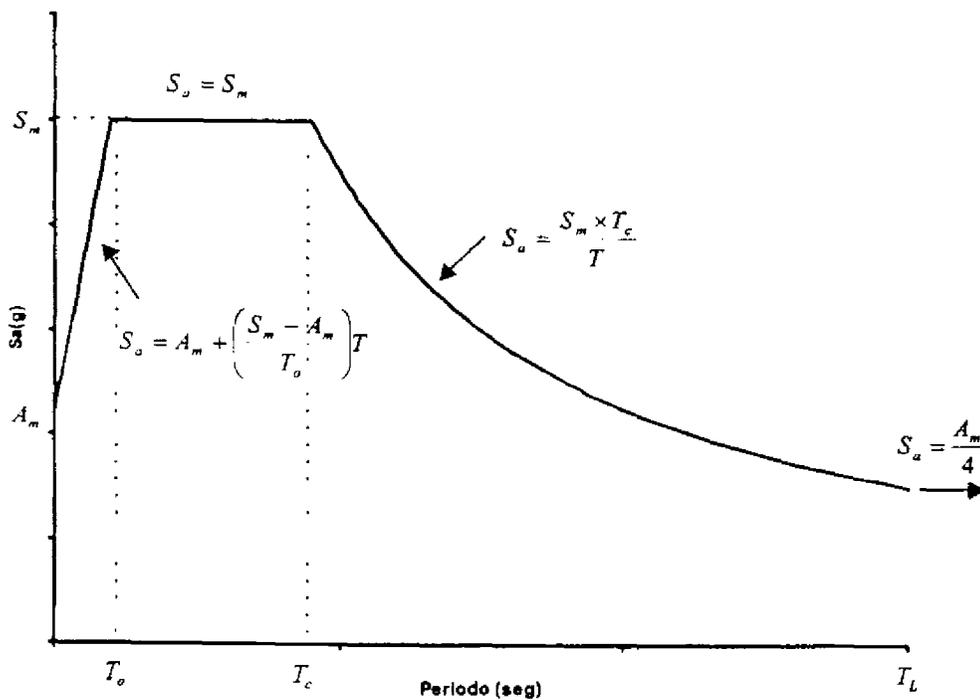
El **Plano N° 4.1** presenta las diferentes zonas sismogeotécnicas definidas en el presente estudio, incluyendo sus respectivos espectros y la forma esquemática para su construcción.

Finalmente la **Tabla 4.3** muestra la correspondencia de las zonas definidas en zonificación sísmogeotécnica con aquella definidas en la zonificación geotécnica y la modelación dinámica.

	Zona 1 Roca	Zona 2 Suelo Rígido	Zona 3 Llenos
$T_0$ (s)	0.10	0.05	0.15
$T_c$ (s)	0.50	0.40	0.50
$T_L$ (s)	4.00	3.60	4.00
$A_m$ (g)	0.30	0.40	0.65
$S_m$ (g)	0.63	0.90	1.25

**Tabla 4.2** Parámetros de control para la construcción de espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

**Construcción espectro de diseño**



**Figura 4.6** Representación esquemática para la construcción de espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Zona Sísmica Plano Nº 5.1	Nombre	Zona Modelación Dinámica (Sección 4.5)	Zona Geotécnica Plano No 3.5	Color
Zona 1	Roca	1G, R, 1N, 3, 7	1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 4A, 4B, 4C, 8A, 8B	Verde
Zona 2	Suelo Rígido	2, 4, 5	3 A, 3B, 5, 6 A	Naranja
Zona 3	Llenos	6	9	Rojo
Ronda de río			6B	Azul
Coluviones			7	Cafe claro

**Tabla 4.3** Correspondencia de zonas sismogeotécnicas, con zonificación geotécnica y de modelación dinámica.

Es importante comentar, a la luz de los resultados de este estudio, sobre los espectros obtenidos, en especial para la Zona 2 (suelo rígido). De acuerdo con la norma NSR98, los depósitos en el área metropolitana de Bucaramanga están considerados como suelo tipo S1. Tradicionalmente, esto implicaría que las amplificaciones esperadas fueran bajas e incluso despreciables. No obstante, estudios recientes han demostrado, que sitios considerados como roca registran amplificaciones importantes debido a variaciones en la rigidez del material (Boore & Joyner, 1997). Lo anterior, unido a la información obtenida en registros acelerográficos de sismos reales en el área metropolitana de Bucaramanga validan los resultados obtenidos en este estudio. Asimismo, las amplificaciones obtenidas, también obedecen a coincidencia de los períodos de respuesta fundamentales de los depósitos en la zona (i.e. 0.2 sec) y aquellos de los acelerogramas de diseño, por las condiciones específicas de los escenarios sísmicos que afectan la zona.

#### 4.4 ACELEROGRAMAS DE DISEÑO

La Norma NSR98, cuando hace alusión al cumplimiento con el objeto establecido en el Artículo de la ley 400 de 1997, especifica que:

*"...Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de este Reglamento, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso."*

Lo anterior visto en términos Sismológicos y de Ingeniería Sísmica es lo que se conoce como el diseño estructural por capacidad. En este caso específico se están sugiriendo tres (3) escenarios sísmicos posibles (i.e. temblor de poca intensidad, moderados y temblor fuerte) y tres (3) posibles niveles de daño estructural (i.e. no daño, sin daño estructural, pero con algún daño a los elementos no estructurales, y daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso).

Esto sin embargo no se aplica en la práctica, puesto que la NSR98 sólo propone un escenario sísmico posible, en términos de un espectro de respuesta de aceleraciones, anclado a un valor constante de amenaza para el sitio bajo estudio y escalado con una forma espectral fija para diferentes tipo de suelo. Existen ejemplos de códigos en el mundo para los cuales son propuestos diferentes escenarios sísmicos (i.e. España, Portugal, China).

Definir más de un escenario sísmico puede ser necesario cuando al evaluar la amenaza de un sitio se encuentra que ésta puede ser controlada por diferentes fuentes, con diferentes características (i.e. magnitud máxima probable, tasa de actividad, distancia al sitio), que en últimas se traduce en diferentes características de movimiento del terreno en el sitio bajo cuestión (i.e. aceleración máxima, duración, contenido de energía y frecuencias). Es así como el movimiento del terreno producto de un sismo de una fuente lejana se espera en general que tenga unos niveles de aceleración menores, bajas frecuencias predominantes y duraciones más cortas que los producidos por un sismo de fuente cercana.

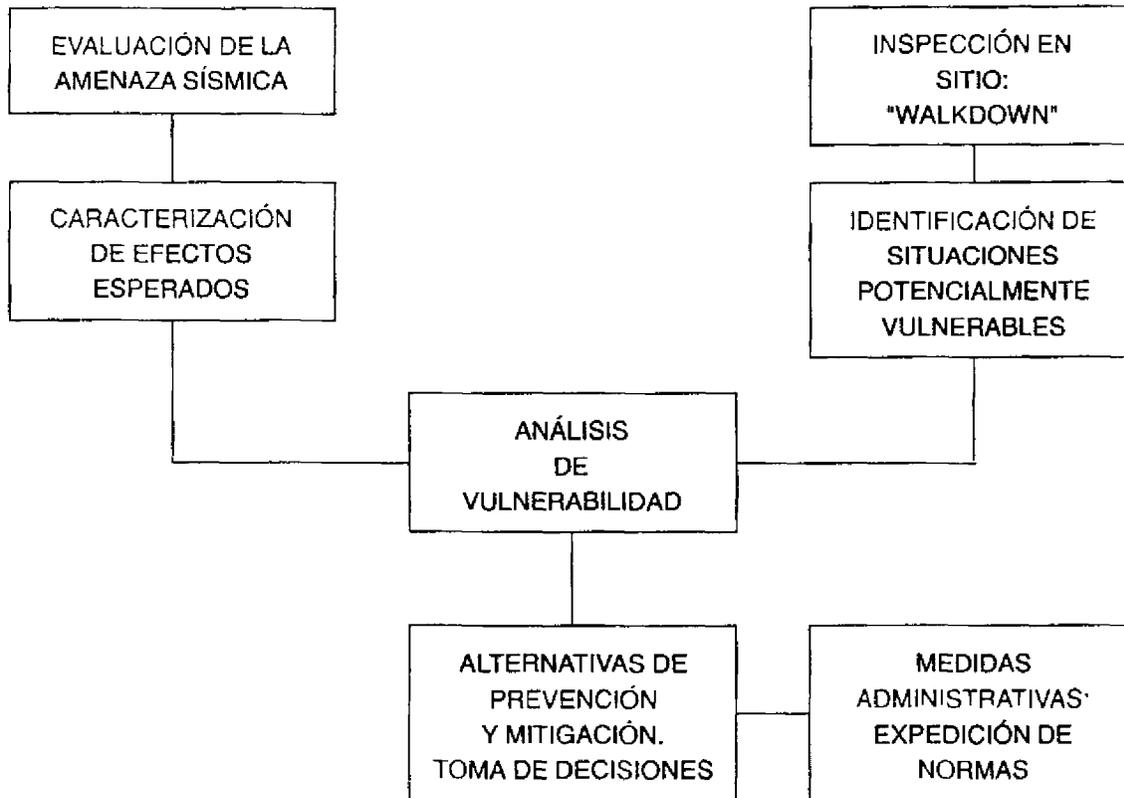
En el análisis de la amenaza se pudo observar que para el Área Metropolitana de Bucaramanga existen dos claros escenarios sísmicos: Un temblor proveniente de la falla Bucaramanga - Santa Marta (fuente cercana) y otro temblor que se produzca en la falla Frontal de los Llanos Orientales (fuente intermedia). Debido a las condiciones geotécnicas particulares de la zona (rocas y depósitos de suelo rígido) una fuente lejana no se tuvo en cuenta para efectos prácticos de diseño. Aun cuando existen dos escenarios sísmicos bien definidos que pueden afectar el área metropolitana de Bucaramanga, las condiciones sismo-geotécnicas particulares de la zona hace que el escenario sísmico predominante sea la Falla Frontal.

Si los métodos de la fuerza horizontal equivalente y/o análisis modal simplificado son usados para evaluar las cargas por sismo en el análisis estructural, entonces se puede decir que el espectro de amenaza constante cubre efectivamente todas las posibilidades y son los presentados anteriormente. Sin embargo, en casos especiales donde el diseño requiera análisis de efectos dependientes del tiempo (i.e. evaluación del potencial de licuación, estructuras esenciales, irregulares en planta o elevación, edificaciones diseñados para altas ductilidades y/o con posibilidad de excitar modos superiores), se podrá hacer uso de los acelerogramas de diseño propuestos en este estudio ó adicionales que sean compatibles con los escenarios sísmicos presentados. Cualquier análisis que involucre el uso de los acelerogramas de diseño deberá hacerse por separado para cada uno de los registros propuestos para cada uno de los escenarios y por último escoger el caso más desfavorable.

## 5. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

### 5.1 Esquema General

El esquema general para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y medidas de mitigación se da en la Figura 5.1.



**Figura 5.1** Diagrama para la Evaluación de la Vulnerabilidad y Medidas de Mitigación

El denominado "walkdown" o evaluación preliminar, basada en inspecciones en sitio y cálculos sencillos corresponden al Nivel 1 de análisis; el Nivel 2 es aquel para el cual se requiere un análisis más riguroso. En cualquiera de los dos casos, el resultado debe expresarse en la forma cuantitativa, para facilitar la toma de decisiones por parte de las autoridades correspondientes.

Sea en el Nivel 1 ó el Nivel 2, con frecuencia algunos pronunciamientos pueden fundamentarse en estadísticas previas. Por ejemplo, el procedimiento para cuantificar el número de roturas por unidad de longitud de tuberías de distribución, puede fundamentarse en estadísticas previas.

### 5.2 Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema

Para el presente análisis, se apoyo principalmente en la información recopilada del estudio de microzonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, cuyos resultados se resumieron en el capítulo anterior, donde se estudiaron las amenazas potenciales y el historial de

eventos sísmicos, el resultado produjo mapas geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, de pendientes, isoperíodos y la microzonificación para el área de estudio.

Para el análisis se utilizó la metodología propuesta por el CEPIS y que fué utilizada como aplicación en la Ciudad Limón, Costa Rica, contiene además un método de cálculo para estimar daños en tuberías de acueducto frente a diferentes grados de amenaza sísmica, cuyo procedimiento se explica en el anexo No.1.

En el análisis de las fuerzas sísmicas en los tanques de almacenamiento, se utilizó un modelo matemático que se basó en el efecto de la excitación sísmica del fluido sobre las paredes, análisis propuesto por G.W. Housner y A. Haroun y para el efecto de la interacción suelo-tanque los desarrollos de Monoque y Okabe., no se explicaran aquí, por su extensión.

*Matrices de vulnerabilidad con respaldo estadístico:* Se mencionó anteriormente el denominado "walkdown", que consiste en la inspección del sistema. Los resultados de esta evaluación preliminar, respaldada por algunos cálculos, se sintetizaron en matrices de probabilidad de daños, las cuales son únicamente matrices de vulnerabilidad fundamentadas en información estadística y/o en la experiencia de quienes lleven a cabo tal inspección. En este nivel se realizó casi toda la investigación.

*Matrices de vulnerabilidad basadas en estudios analíticos:* En los sistemas de producción, transporte y distribución de agua potable, hay componentes para los cuales la información estadística es muy limitada o inexistente; razón por la cual la metodología propone usar de modelos matemáticos y traducir los resultados obtenidos a matrices de probabilidad de daños en los términos ya descritos. Esta herramienta, se uso solo en la estimación de daños en tuberías.

*Áreas Potencialmente Inestables a las Acciones Sísmicas:* El estudio de zonificación indicó algunas zonas potencialmente inestables. Sin embargo, en la mayoría de los sitios donde se encuentran elementos del sistema, se revisaron los estudios geotécnicos específicos, para identificar este tipo de problemas.

*Longitud de Ruptura y Desplazamientos Permanentes de Fallas Activas:* La magnitud Richter de un sismo está directamente relacionada a la longitud de ruptura o superficie del fallamiento, los desplazamientos máximos, y la caída de esfuerzos. Para los rangos promedio de caídas de esfuerzos en las zonas de ruptura, pueden resultar útiles los valores de la Tabla 5.1 En ella se establece la relación entre magnitudes Richter, rango de longitudes de rotura de fallas geológicas y rango de desplazamientos máximos, la cual es esencialmente válida para fallas de tipo transcurrente con focos poco profundos (entre unos 10 y 15 km de profundidad aproximadamente). Los desplazamientos permanentes asociados a sismos, descritos en la Tabla 5.1, son particularmente problemáticos cuando interceptan túneles, tuberías enterradas o fundaciones de edificaciones. El estudio de microzonificación no abarcó el tema de los desplazamientos, sin embargo como una aproximación del análisis se revisaron los valores de la tabla 5.1, para el caso de los cruces de las tuberías matrices por las fallas activas cartografiadas

**Matriz 1 - Aspectos Operativos**

Nombre Sistema Agua Potable: Acueducto de Bucaramanga

COMPONENTE	CAPACIDAD	REQUERIMIENTO ACTUAL	DÉFICIT (-) SUPERÁVIT (+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
Captacion Tona	1.4 M <sup>3</sup> /s	1.5 M <sup>3</sup> /s	-0.1 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF
Captacion Bosconia	2.2 M <sup>3</sup> /s	0.4 M <sup>3</sup> /s	1.8 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF
Captación Florida	0.7 M <sup>3</sup> /s	0.6 M <sup>3</sup> /s	0.1 M <sup>3</sup> /s	N
Aducción Río Tona	1.4 M <sup>3</sup> /s	1.5 M <sup>3</sup> /s	-0.1 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF
Aducción Río Suratá	2.2 M <sup>3</sup> /s	0.4 M <sup>3</sup> /s	1.8 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF
Aducción Río Frío	0.7 M <sup>3</sup> /s	0.6 M <sup>3</sup> /s	0.1 M <sup>3</sup> /s	N
Planta La Flora	1.1 M <sup>3</sup> /s	1 M <sup>3</sup> /s	-0.1 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF/scada
Planta Morro Rico	0.4 M <sup>3</sup> /s	0.4 M <sup>3</sup> /s	0	Radio VHF/scada
Planta Bosconia	2 M <sup>3</sup> /s	0.4 M <sup>3</sup> /s	1.6 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF/scada
Planta Florida	0.7 M <sup>3</sup> /s	0.6 M <sup>3</sup> /s	0.1 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF/scada
Bombeo Bosconia	2 M <sup>3</sup> /s	0.4 M <sup>3</sup> /s	1.6 M <sup>3</sup> /s	Radio VHF
Impulsión Bosconia	2 M <sup>3</sup> /s	0.4 M <sup>3</sup> /s	1.6 M <sup>3</sup> /s	N
Tanque la Flora	4819 M <sup>3</sup>	4819 M <sup>3</sup>	0	Radio VHF/scada
Tanque Bosconia	10000 M <sup>3</sup>	7500 M <sup>3</sup>	2500 M <sup>3</sup>	Radio VHF/scada
Tanques Norte	9626 M <sup>3</sup>	9626 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Morro Alto	4214 M <sup>3</sup>	4214 M <sup>3</sup>	0	Radio VHF/scada
Tanque Morro Bajo	8436 M <sup>3</sup>	8436 M <sup>3</sup>	0	Radio VHF/scada
Tanque Estadio	8276 M <sup>3</sup>	8276 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Malpaso	4851 M <sup>3</sup>	4851 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Pta. del Sol	5000 M <sup>3</sup>	5000 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Pan de azúcar	2500 M <sup>3</sup>	2500 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Tejar	2492 M <sup>3</sup>	2492 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Trinidad	920 M <sup>3</sup>	0	920 M <sup>3</sup>	N
Tanque San Juan	8870 M <sup>3</sup>	8870 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Mayor Girón	1770 M <sup>3</sup>	1770 M <sup>3</sup>	0	Scada
Tanque Florida	3333 M <sup>3</sup>	3333 M <sup>3</sup>	0	Radio VHF/scada
Tanque Villabel Alto	1457 M <sup>3</sup>	1457 M <sup>3</sup>	0	N
Tanque Villabel Bajo	1082 M <sup>3</sup>	1082 M <sup>3</sup>	0	N
Tanque Santa Ana	1120 M <sup>3</sup>	1120 M <sup>3</sup>	0	N
Tanque Cañaveral	5015 M <sup>3</sup>	2000 M <sup>3</sup>	3015 M <sup>3</sup>	N
SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL <input checked="" type="checkbox"/> Defensa Civil <input type="checkbox"/> Instituto Meteorológico <input type="checkbox"/> Instituto Vulcanológico <input type="checkbox"/> Instituto Sismológico <input checked="" type="checkbox"/> Comité local de Emergencias <input type="checkbox"/> Otro:		SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA <input type="checkbox"/> Radio UHF <input checked="" type="checkbox"/> Radio VHF <input type="checkbox"/> Teléfono <input checked="" type="checkbox"/> Otro: SCADA <input type="checkbox"/> Otro:		
		SISTEMAS DE INFORMACION A LOS USUARIOS <input checked="" type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Televisión <input checked="" type="checkbox"/> Circulares <input type="checkbox"/> Otro:		

## Matriz 2 - Vulnerabilidad Administrativa de la Empresa y Capacidad de Respuesta

Nombre del Sistema: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga  
Sistema de:     X Agua potable     € Alcantarillado

ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
A. PLANES DE ATENCION DE EMERGENCIAS X SI                   € NO Última Revisión:	A. PROGRAMAS DE PLANIFICACIÓN X SI                   € NO	A. DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO
B. PLANES DE MITIGACIÓN X SI                   € NO	B. PROGRAMAS DE OPERACIÓN X SI                   € NO	X SI                   € NO MONTO: US\$1.000.0000
C. COORDINACIÓN INTERINSTITUCIONAL X SI                   € NO	C. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO X SI                   € NO	B. APOYO LOGÍSTICO DE PERSONAL, ALMACENES Y TRANSPORTE
D. COMISION DE FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE MITIGACIÓN X SI                   X NO	D. PERSONAL CAPACITADO X SI                   € NO	X SI                   € NO
E. COMITÉ DE EMERGENCIAS X SI                   € NO	E. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA X SI                   € NO	C. CONTRATACIÓN DE EMPRESA PRIVADA EN EL MERCADO X SI                   € NO
Miembros del Comité Nombre                   Cargo	Tipo de Equipo y Maquinaria Cargador	Nombre
	Volquetas	
	Domper	
	Compresores	
	Equipos de soldadura portátil	
	Plantas Eléctricas portátiles	
	Equipo de perforación, redes de 2"	

En el encabezado de esta Matriz se anotó el tipo de amenaza de la zona que pudiera impactar los sistemas físicos de agua potable, así como el área de impacto.

Esta área es la extensión de la eventual interrupción a la operatividad del sistema, y para su estimación se requirieron los eventos posibles del escenario sísmico seleccionado y se analizaron las consecuencias esperadas en el sistema, lo cual se facilitó superponiendo los mapas que definen el sistema y la intensidad de los efectos esperados del evento simulado.

Adicionalmente, en el encabezado se hará la selección de la prioridad general para el análisis, referida al sistema en forma global, categorizada en tres niveles correspondientes a los siguientes niveles de daño:

- Prioridad 1 (Alta): más de un 50% de componentes afectados y/o afectación de la captación y de la conducción.
- Prioridad 2 (Media): entre un 25 y un 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción
- Prioridad 3 (Baja): menos de un 25% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción.

**Matriz 3 - Aspectos Físicos y de Impacto en el Servicio**
**Nombre del Sistema:** *Acueducto Metropolitano de Bucaramanga*
**Tipo de Sistema:** X Agua Potable € Alcantarillado

**Tipo de Amenaza:** Sísmica **Prioridad<sup>(1)</sup>:** X 1 € 2 € 3

**Área de Impacto:** *Area Metropolitana de Bucaramanga*

COMPONENTES EXPUESTOS	ESTADO DEL COMPONENTE	DAÑOS ESTIMADOS	TR 100 (Días)	CAPACIDAD REMANENTE INMEDIATA		IMPACTO EN EL SERVICIO (Conexiones)
				□	%	
<b>SISTEMA TONA</b>						
Cuenca Río Tona	Inestabilidad parte alta	Ninguno	0	1400 l/s	100	0
Captación Río Tona	Buen estado	No se esperan	0	400 l/s	100	0
Captación Q. Armania	Paso elevado vulnerable	Falla en tubería	8	0	0	0
Captación Q. Golondrinas	Buen estado	No se esperan	0	0	0	0
Aducción sistema Tona	Buen estado	5 daños	7	0	0	50,750
Conducción Flora-Morrónico	Regular estado	2 daños	2	0	0	0
Planta La Flora	Deterioro del acero en varias estructuras	Daño estructural parcial	60	800 l/s	80	0
Planta Morrónico	Baja respuesta sísmica, antigua	Daño estructural parcial edificio	90	200 l/s	50	0
Tanque La Flora	Estructura antigua	Daño en muros	120	3600 m <sup>3</sup>	75	0
Tanque Norte Alto	Baja capacidad sísmica, placa débil	Falla parcial en muros y placa	90	0	0	7,500
Tanque Norte Bajo	Baja capacidad sísmica	Falla en muros	90	0	0	7,500
Tanque Cabecera	Buen estado	Fisuras	30	579 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Tejar	Buen estado	Ninguno	0	2492 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Trinidad	Algunas fisuras	Daño parcial	60	0	0	0
Tanque Pan de Azúcar	Antisísmico	Ninguno	0	2500 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Morroalto	Techo vulnerable	Caída parcial techo	7	0	0	14,580
Tanque Morrobajo	Buen estado	Ninguno	0	8436 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Malpaso	Baja capacidad sísmica	Avería parcial	30	3500 m <sup>3</sup>	75	0
Tanque San Juan	Buen estado	Afectación placa	2	8870 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Pta del Sol	Antisísmico	Ninguno	0	5000 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque la Iglesia	Buen estado	No se esperan	0	0	0	0
Tanque Mayor de Girón	Dilatación de juntas	Daño parcial muros	30	1770 m <sup>3</sup>	100	0
Conducción Flora-Tejar-Trinidad	Tubería antigua, Z fallas	10 daños	5	0	0	25,302
Conducción Flora-Norte Bajo	Cruce de falla	2 daños	1	0	0	18,520
Conducción Flora-Norte-Morro	Cruce de falla	2 daños	1	0	0	200
Conducción Morrobajo-Malpaso	Buen estado	2 daño	1	0	0	50,428
Conducción Morro-Pta del sol	Buen estado	0 daños	0	156 l/s	100	0
Cond. Morro-la iglesia-San Juan	Buen estado	1 daño	1	0	0	19,040
Conducción Malpaso-Cañaveral	Buen estado	0 daño	0	77 l/s	100	0
Conducción San Juan-Giron	Buen estado	2 daños	1	0	0	12,715
Conducción Malpaso-Giron	Buen estado	4 daños	1	0	0	16,352
Redes de distribución	Aceptable estado	278 daños	8	840 l/s	60	40,833

<b>SISTEMA SURATA</b>						
Cuenca del Río Suratá	Suelos meteorizados, sector bajo, inestabilidad	Incremento en la turbiedad	0	400 l/s	100	0
Captación Bosconia	Buen estado	1 Daño en tubería	4	0	0	29,750
Planta Bosconia	Buen estado	Caída placas en sedimentadores	120	1000 l/s	50	0
Bombeo Chitota	Buen estado	Corte de energía	2	0	0	29,750
Tanque Bosconia	Fisuras en vigas	Daño parcial placa	60	7500 M <sup>3</sup>	75	0
Tanque Estadio	Buen estado	No se esperan	0	0	0	0
Tanque Colorados	Buen estado	No se esperan	0	0	0	0
Tanque Bienestar	Buen estado	No se esperan	0	0	0	0
Tanque La Esperanza	Grietas en muros y fondo	Daño parcial fondo	120	0	0	3,175
Tanque Regadero	Talud inestable	Daño parcial muros	120	0	0	1,180
Impulsión Bosconia-morro	Buen estado, cruce de falla	No se esperan	0	0	0	0
Conducción Bosconia-Angelinos	Buen estado	No se esperan	0	0	0	0
Conducción Angelinos-Colorados	Buen estado	1 daño	1	0	0	820
Redes de distribución	Aceptable estado	78 daños	5	240 l/s	60	11,667
<b>SISTEMA RÍO FRÍO</b>						
Cuenca Río Frio	Alta Intervención antrópica parte baja	Aumento de turbiedad > 900 NTU	7	0	0	29,196
Captación Río Frio	Vulnerable a obstrucciones	Obstrucción total	2	0	0	29,196
Canal Río Frio	Vulnerable a deslizamientos	Obstrucciones	3	0	0	29,196
Tubería de aducción Río Frio	Media ladera vulnerable	1 daño	1	0	0	29,196
Planta Florida, sector antiguo	Baja respuesta sísmica	Caída placas, daño parcial en edificac.	60	400 l/s	67	8,847
Planta Florida, sector nuevo	Buen estado	Caída de placas AC	60	200 /s	33	19,561
Tanque Florida	Buen estado	Fisuras en muros	30	3333 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Caracolí	Buen estado	Ninguno	0	0	0	0
Tanque Bucarica	Corredor de falla	Fisuras en muros	30	1400 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque El Carmen	Antisísmico	Ninguno	0	1846 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque La Cumbre	Baja capacidad sísmica	Daño en la base	365	0	0	1,800
Tanque Villabel Alto	Buen estado	Ninguno	0	1457 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Villabel Bajo	Buen estado	Ninguno	0	1082 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Santa Ana	Buen estado	Ninguno	0	1120 m <sup>3</sup>	100	0
Tanque Bellavista	Buen estado	Ninguno	0	1064 m <sup>3</sup>	100	0
Conducción Carmen-la Cumbre	Corredor de falla	No se esperan	0	54 l/s	100	0
Conducción Villabel-Santa Ana	Buen estado	No se esperan	0	191 l/s	100	0
Cond. Florida-Santa Ana-Malpaso	Cruce de falla	7 daños	2	0	0	12,453
Conducción Florida-El Carmen	Cruce de falla	2 daños	1	0	0	5,445
Cond. Florida-Bucarica-Ruitoque	Buen estado	1 daño	1	0	0	0
Conducción Florida- Girón Mayor	Bien	21 daños	4	0	0	0
Redes de distribución	Aceptable estado	119 daños	7	360	60	17500

- (1) Prioridad 1 (Alta): >50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción  
 Prioridad 2 (Media): 25 - 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción  
 Prioridad 3 (Baja): <25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción
- (2) Número de conexiones afectadas en términos de calidad, cantidad y/o continuidad del servicio.



**Matriz 4A - Medidas de Mitigación y Emergencia (Aspectos Administrativa y Operativa)**  
**Nombre del Sistema: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga X Agua Potable e Alcantarillado**

ÁREA	MITIGACIÓN		EMERGENCIA	
		COSTO US\$		COSTO US\$
a) ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actualizar los planes de atención de emergencias, con énfasis en eventos sísmicos.</li> <li>- Crear la comisión de formulación de planes de mitigación.</li> <li>- Elaboración del análisis de vulnerabilidad en nivel 2.</li> </ul>	80.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar los planes de emergencia previamente establecidos y simulados.</li> <li>- Coordinar con el Comité Local de Emergencias la cooperación y apoyo logístico requeridos, estableciendo una central de operaciones.</li> </ul>	10.000
b) OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actualizar los manuales de Operación y mantenimiento del sistema frente a los sismos.</li> <li>- Incrementar el stock de tuberías en los diámetros mas susceptibles de ruptura.</li> <li>- Adquirir mas equipos y maquinaria útil para las reparaciones de tuberías y canales.</li> </ul>	500 000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar los tipos y grados de daños y establecer prioridades de reparación.</li> <li>- Organizar las labores de recuperación del servicio, haciendo uso de los recursos disponibles, incluido personal y maquinaria externa.</li> <li>- Utilizar los mecanismos de urgencia que dispone la Compañía para tener en forma oportuna, materiales, insumos, equipos, personal, transporte, en forma permanente.</li> <li>- Establecer niveles de comunicación, que permitan una acción rápida y efectiva en las labores de rehabilitación del servicio.</li> </ul>	20.000
c) APOYO ADMINISTRATIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer en la normatividad de la Compañía, mecanismos legales y financieros, que permitan afrontar en forma ágil y suficiente la atención de desastres.</li> <li>- Facilitar la compra de stock de materiales y mas equipos requeridos para afrontar la emergencia.</li> <li>- Tener un registro de contratistas y proveedores que puedan tener disponibilidad de materiales, equipos y personal ante las emergencias.</li> <li>- Realizar las apropiaciones presupuestales necesarias para realizar las compras, adquisiciones y obras que requieran los planes.</li> </ul>	5 000		
d) ASPECTOS OPERATIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arriostamiento de placas de sedimentadores.</li> <li>- Reforzar bases de floculadores mecánicos.</li> <li>- Adoptar bombeo emergente del T. Morroalto al distrito de Norte, con agua del sistema Surata.</li> <li>- Activar bombeo T. Villabel bajo- Santa Ana, para reemplazar faltantes del sistema Río Frío</li> <li>- Adquirir equipo de perforación, para redes de diámetros hasta de 6".</li> </ul>	10.000 5.000 70.000 5.000 50.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar cuadrilla de limpieza y reparación</li> <li>- Suministro alternativo con carro sistema a las clínicas y hospitales</li> <li>- Realizar reparaciones de redes con cuadrillas.</li> </ul>	5.000 10.000 15.000
<b>TOTALES</b>		<b>725.000</b>		<b>60.000</b>

## Matriz 4B - Medidas de Mitigación y Emergencia (Aspectos Físicos)

## Nombre del Sistema: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga X Agua Potable

COMPONENTE	MITIGACIÓN		EMERGENCIA	
		COSTO US\$		COSTO US\$
<b>SISTEMA TONA</b>				
Aducción sistema Tona	Estabilizar los taludes de las zonas críticas y diseñar y construir variantes del canal.	100.000	Construir pasos provisionales, con tubería metálica de emergencia, y activar racionamientos, reemplazar con agua del sistema Suratá.	50.000
Conducción Flora-Morrónico	Reponer un kilómetro de tubería de 12" en HD.	70.000	Realizar la reparación con la cuadrilla de redes.	1.500
Planta la Flora	Realizar estudio de actualización sísmica y realizar las obras respectivas, arriostrar placas de los sedimentadores.	50.000	Enviar cuadrilla de construcciones para eliminar provisionalmente fugas, remover posibles escombros, sustituir caudal del sistema suratá.	200.000
Planta Morrónico	Realizar estudio de actualización sísmica y realizar las obras respectivas.	40.000	Enviar cuadrilla de construcciones para eliminar provisionalmente fugas, remover posibles escombros, sustituir caudal del sistema suratá.	50.000
Tanque La Flora	Realizar estudio de actualización sísmica y realizar las obras respectivas.	40.000	Enviar cuadrilla de construcciones para eliminar provisionalmente fugas, remover posibles escombros, trabajar con niveles de agua bajos.	20.000
Tanques Norte Alto y Bajo	Realizar estudio de actualización sísmica y realizar las obras respectivas, plantear bombeo a la red desde el morro bajo.	150.000	Enviar cuadrilla de construcciones para remover posibles escombros, realizar limpieza y sellar fugas provisionalmente, para habilitarlo con niveles bajos.	10.000
Tanque Morro Alto	Realizar estudio y obras de reforzamiento de cubierta y estructura.	50.000	Enviar cuadrilla de construcciones para remover posibles escombros, realizar limpieza y sellar fugas provisionalmente, para habilitarlo con niveles bajos.	10.000
Conducciones matrices	Realizar la reposición de los tramos de tubería antigua en AC y AP por HD, en la conducción del Oriente y la conducción al tanque Norte.	130.000	Realizar las reparaciones de los daños con las cuadrillas y utilizar plan de racionamientos y suministro alternativo.	2.500
Redes de distribución	Realizar la reposición de los sectores de 10 km de tubería de HG y AC, para sustituirlos por PVC.	178.000	Realizar las reparaciones de los daños con las cuadrillas y utilizar plan de racionamientos y suministro alternativo con carrotranques.	85.000
<b>SISTEMA SURATA</b>				
Captación de Bosconia, (aducción de 1200 mm)	Realizar estudio del vulnerabilidad sísmica a la tubería de aducción.	5.000	Movilizar retroexcavadora para realizar la reparación, con contratistas.	7.000
Planta Bosconia	Arriostrar Placas de los cuatro sedimentadores.	4.500	Parar los sedimentadores afectados y con la cuadrilla de construcciones remover escombros.	3.000

COMPONENTE	MITIGACIÓN		EMERGENCIA	
		COSTO US\$		COSTO US\$
Bombeo Chitota			Esperar el restablecimiento del sistema de interconexión y programar racionamientos.	0
Tanque Bosconia	Realizar estudio de actualización y reforzamiento sísmico.	25.000	Remover escombros para habilitarlo con niveles bajos.	1 000
Tanque la Esperanza	Realizar nuevo reforzamiento.	25.000	Utilizar la línea de by pass, para alimentar el distrito.	1.000
	Plantear su sustitución.	134.000	Remover escombros	
Redes de distribución	Realizar la reposición de los sectores de 3 km de tubería de HG y AC, para sustituirlos por PVC	45 000	Realizar las reparaciones de los daños con las cuadrillas y utilizar plan de racionamientos y suministro alternativo con carro tanques.	23.000
<b>SISTEMA RÍO FRÍO</b>				
Cuenca de Río Frío	Solicitar la intervención estatal para buscar la protección ambiental y facilitar recursos para compra de predios y posterior recuperación.	215.000	Bajar el caudal de tratamiento e iniciar planes de racionamiento y suministro alternativo.	0
Captación Río Frío	Optimizar la estructura de la bocatoma, construyéndole una cámara despiadora.	7.500	Llevar cuadrillas de limpieza para destapar las estructuras.	1 000
Canal Río Frío	Continuar con el programa de cobertura del canal y muros de contención.	30.000	Llevar cuadrillas de limpieza para remover el material derrumbado.	2.000
Aducción Florida	Realizar estudios para detectar los taludes mas inestables para construir muros de contención	30 000	Realizar la reparación de los daños con las cuadrillas de reparación de redes.	3.000
Planta Florida	Realizar estudio de actualización sísmica al edificio de operaciones y arriostrar las placas de sedimentadores, reforzar flocluladores	40.000	Parar los sedimentadores afectados y con la cuadrilla de construcciones remover escombros, programar racionamientos y usar el rebombeo de Villabel.	2 500
Tanque Florida	Realizar análisis de vulnerabilidad.	4.000	Impermeabilizar provisionalmente las fugas.	
Tanque elevado de la Cumbre	Realizar análisis de vulnerabilidad.	2 500	Hacer evaluación estructural e impermeabilizar fugas si es posible Racionamiento en sectores altos.	1.000
Conducción Florida-Santa ana y Florida-el Carmen	Realizar análisis de vulnerabilidad, para plantear la estabilización en sectores críticos.	50.000	Reparaciones de los daños con las cuadrillas e iniciar plan de racionamientos y apoyar con carros sistema	2 500
Conducción Florida- Girón	Plantear las reposiciones o reforzos en sectores críticos	50.000	Suspender esta conducción y susituir caudales de otra conducción, reparar los daños con las cuadrillas.	7 500
Redes de distribución	Realizar la reposición de los sectores de 5 km de tubería de HG y AC, por PVC.	76.000	Reparaciones de los daños con las cuadrillas e iniciar plan de racionamientos y apoyar con carros sistema.	39.500
<b>SUBTOTAL</b>		<b>1.550.500</b>		<b>523.000</b>

## 6. CONCLUSIONES

La microzonificación presentada en el año 2002, introdujo un nuevo espectro de aceleración, mayor al establecido en la Norma NSR-98, para la denominada zona de la meseta de Bucaramanga, donde se concentra la mayor parte del área urbana de la ciudad, trayendo consigo el incremento de la sollicitación sísmica de las estructuras, obligando a reevaluar la capacidad de casi todas las edificaciones de las líneas vitales.

Las cuatro plantas de tratamiento se encuentran alineadas y adyacentes al corredor de la falla activa B/manga-Santa Marta, tres de ellas sobre la zona de roca y una sobre la zona de suelo rígido que predomina en la meseta, por consiguiente las conducciones de agua provenientes de las tres primeras deben atravesar los corredores de falla, antes de pasar a la zona urbana. Esta zona es de alta pendiente y de marcada inestabilidad, que sumado a la antigüedad de las mismas, las hace altamente vulnerable a un evento sísmico de este escenario que produzca desplazamientos permanentes importantes. Esta circunstancia además, de los efectos sobre las estructuras y edificaciones, podría aislar la zona poblada de las fuentes y las plantas de potabilización que se encuentran al oriente y al otro lado de la falla sobre la zona montañosa.

La gran mayoría de los tanques de almacenamiento, incluidos los que forman parte de los sistemas de tratamiento de las plantas, son enterrados y fueron diseñados sin tener en cuenta los efectos dinámicos que se generan sobre los muros, por el oleaje interno y por el suelo adyacente, por tanto, tienen una baja capacidad de respuesta sísmica, siendo este uno de los principales factores de vulnerabilidad. Los recientes tanques construidos fueron diseñados y construidos considerando estas fuerzas, estos representan solo el 10% del almacenamiento total.

El análisis de las edificaciones de las plantas de potabilización, donde se realizan las operaciones del tratamiento del agua y se preparan las dosificaciones de productos químicos, determinó que son estructuras aporricadas de concreto entre dos y tres pisos, de antigüedades entre los 20 y 50 años, todas con problemas de configuración, limitada rigidez y con bajo refuerzo al cortante, se encuentran en estado aceptable. Estas características las hacen bastante vulnerables al tener baja capacidad de respuesta sísmica, por tanto, se esperan derivas importantes y daños moderados en estas estructuras, que en eventualmente pueden afectar al personal y a los equipos de dosificación, se genera la necesidad realizar los estudios de actualización sísmica.

Reviste gran interés el hecho de que la conducción de agua tratada más importante del sistema, la impulsión Bosconia-Morrongo, que normalmente transporta el 25 % del agua de todo el sistema y en verano se incrementa al 50%, es atravesada por la falla activa Bucaramanga-Santa Marta en su parte baja donde se manejan presiones de 600 psi, aún cuando el estudio de zonificación adoptó el escenario de la falla frontal como la representativa en el espectro de aceleraciones, está puede llegar a ser la mayor amenaza en cuanto a desplazamientos permanentes, por la afectación directa que pueda tener en su intersección. Sin embargo, es tranquilizante saber que la ductilidad del material de la tubería (acero) y el hecho de presentarse en zona superficial el cruce, minimiza en buena parte el riesgo. Ningún estudio conocido incluido el de la zonificación sísmica, ha abarcado en forma concreta el tema de los desplazamientos permanentes por eventos de la falla referida, para poder hacer una evaluación más representativa sobre este riesgo, quedando postergada hasta que se produzca un estudio sobre el tema. Lo que se propone es hacer una estimación de un desplazamiento máximo y evaluar bajo estas condiciones el efecto sobre la tubería.

Un hecho de vital importancia tiene que ver con la alta intervención antrópica de la parte baja de la cuenca del Río Frío tributaria de la captación de Florida, que ha generado grandes áreas inestables, en zonas de alta pendiente con materiales bastante meteorizados de espesores cercanos a los cuatro

metros, del Macizo Ígneo-metamórfico de Santander, se tiene certeza que en el pasado se han producido deslizamientos de algunas de estas masas por eventos sísmicos y de alta precipitación, generando altos niveles de sedimentos y de turbiedad en la fuente, Las consecuencias reportadas son: taponamientos en la bocatoma, afectación del suministro de agua en la zona sur del área metropolitana, en aspectos de calidad y cantidad, hasta en un 25% del total del sistema. Este es un riesgo grande, que puede ser mitigado, con la rehabilitación de este sector de la cuenca, por acciones de las autoridades ambientales y con la aplicación de recursos para el control de la erosión.

De la información estadística de las redes de distribución, se determinó que existe un predominio de tuberías de PVC y asbesto cemento, en diámetros entre 2" y 4", de edad reciente las primeras y antiguas las segundas, representando casi el 70% de los 1180 km que componen la totalidad de la red del sistema, su gran mayoría está ubicada en la zona de suelo rígido con pendientes moderadas, los daños esperados de acuerdo con la metodología usada por el CEPIS, son de 55 daños en las redes matrices y 475 daños en las redes secundarias, que se presentarían 212 en tuberías de PVC, 192 en tuberías de AC y 72 en tubería HG, asumiendo un sismo de intensidad VIII, bajo las condiciones particulares de cada sector. El programa de mitigación está orientado al cambio de tuberías de AC y HG de diámetros menores, que son las que representan mayor deterioro y por ende mayor vulnerabilidad.

De la matriz de riesgos físicos, merece especial consideración el alto grado de vulnerabilidad que presentan los dos tanques del distrito norte que almacenan el 10% del total del sistema, son bastante antiguos, están ubicados en una zona de coluvión y tienen una baja capacidad de disipación de energía y presentan deterioro evidente. En este distrito se ubican buena parte de las clínicas y hospitales de la ciudad de Bucaramanga y el plan de mitigación contempla su actualización y reforzamiento sísmico, al igual que el planteamiento sustitutivo del mismo con un rebombeo proveniente del tanque morrobajo, con aguas del sistema Surata.

El estudio de microzonificación de Bucaramanga, se encuentra en proceso de complementación y en la medida que vayan surgiendo nuevos resultados, podremos también generar mejores aproximaciones en las matrices de vulnerabilidad y riesgo especialmente en temas como el de los desplazamientos permanentes.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. INGETEC-ETA CONSORCIO, Estudio de riesgos de los sistemas de tratamiento y distribución de la CAMB, Bucaramanga, noviembre de 1998.
2. INGEOMINAS-CDMB, Microzonificación Simogeotécnica Indicativa de Bucaramanga, Bucaramanga, 2002.
3. INGETEC-ETA CONSORCIO, Descripción del Sistema Existente del Acueducto de Bucaramanga, Bucaramanga, 1996.
4. CEPIS. Guías para la elaboración del análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario. Lima: CEPIS/OPS/OMS; 1996.
5. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-SSI, Primeras Jornadas Sísmicas del Nordeste Colombiano, Bucaramanga, Octubre de 1992.
6. H. Agredo, S. Rivera, Análisis y diseño antisísmico de tanques de almacenamiento y tuberías de conducción, Bucaramanga, Tesis de Grado UIS, 1984.
7. CEPIS/OPS/OMS, Estudio del caso: Terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica, Lima, 1996.
8. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Norma Sismorresistente Colombiana-1998, Dec.33/98, Bogotá, 1998.
9. Arnold C. & Reitherman R. Manual de configuración y diseño sísmico de edificios, México, 1991.
10. Suarez Diaz, Jaime. Diseño de Cimientos, Bucaramanga, 1991.



**Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres**  
**Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. (CISMID - FIC - UNI)**  
**Av. Túpac Amaru 1150, Puerta N° 7, Sector T, Campus UNI. Casilla 31-250, Lima 31 - Perú.**  
**Teléfono: (51-1) 482 0777 Fax: (51-1) 481 0170, (51-1) 482 0804**  
**Página Web: [www.cismid.uni.edu.pe](http://www.cismid.uni.edu.pe)**