ESTUDIOS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RÍO FUCHA EN LAS LOCALIDADES DE SAN CRISTÓBAL, KENNEDY Y FONTIBÓN Y RECOMENDACIONES DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.

1. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de la Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá, D.C., contrató con HIDROCONSULTA LTDA. la realización de los estudios de zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón y las recomendaciones de medidas de mitigación. El contrato correspondiente, con el número CCS-539/99, fue suscrito el 24 de noviembre de 1999 e iniciado el día 15 de diciembre del mismo año, según Acta de la misma fecha.

Estudios e informes técnicos anteriores relacionados, directa e indirectamente, con el objeto del estudio contratado se refieren, entre otros aspectos a: hidrología para la determinación de caudales de diseño de obras (Hidroestudios S.A. - Black & Veatch Int., 1984; IRH LTDA., 1995); geomorfología e hidráulica para la delimitación de zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental (Estudios y Asesorías Ltda., 1997); planes y proyectos para el saneamiento ambiental (Hidrotec Ltda., 1998; IDEA-UN, 1993); obras para la solución de problemas localizados de estabilidad (Consorcio Civiles Ltda. – Hidroconsulta Ltda., 1999); y zonificación de amenazas y riesgos de inundación (Ingetec S.A., 1999). Estos y otros han sido revisados como base para la zonificación de amenaza por inundación que se presenta posteriormente.

El presente Informe Final contiene la descripción y los resultados de las actividades de recopilación y análisis y de levantamiento y actualización de información básica, así como los análisis hidráulicos, los análisis de vulnerabilidad y riesgo y las recomendaciones de mitigación del fenómeno de desbordamiento. Como anexos se incluye un registro fotográfico (Anexo 1), las memorias de cálculo de los estudios hidrológicos (Anexo 2), de los levantamientos topográficos (Anexo 3) y de análisis hidráulicos (Anexo 4); además, en volumen separado se incluye copia de los planos.

2. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA CUENCA Y EL RÍO

La cuenca hidrográfica del río Fucha drena un área aproximada de 120 Km^2 y está formada por las subcuencas de los ríos San Cristóbal y San Francisco, cuyos

caudales se reúnen a pocos kilómetros de la desembocadura en el río Bogotá. El sistema San Cristóbal - San Francisco, o Fucha, propiamente dicho, drena hasta el 30% del área urbana de Santa Fe de Bogotá (Estudios y Asesorías Ltda., 1999).

El río San Cristóbal nace como río Palo Blanco en el páramo de Cruz Verde, en la cota 3.600 msnm, aproximadamente, al cual afluye un gran número de quebradas menores, entre ellas las quebradas Corraleja, La Upatá, de la Osa, La Calera - La Cabaña y El Charcal. Luego de la confluencia de esta última, en proximidades de la antigua captación de aguas para la planta de tratamiento Vitelma, de propiedad de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB-ESP, el río toma el nombre de San Cristóbal. Aguas arriba de dicha captación la cuenca se encuentra en muy buen estado de conservación, como quiera que corresponde a un área bajo el control y el manejo de la EAAB-ESP.

Posteriormente, hasta el cruce de la carrera Séptima acceden al San Cristóbal, la quebrada El Soche, por la margen derecha, y las quebradas Aguas Claras o La Pichosa y El Triángulo y el canal del parque 1^0 de Mayo, por la izquierda; éste drena la subcuenca Ramajal - San Blas. La quebrada El Triángulo se encuentra canalizada en su porción final y vierte de manera directa cerca del Instituto de Niños Ciegos, en la carrera 6 Este (IGAC, 1989a; 1989b; 1990). En este tramo, por la margen izquierda hay un alto índice de ocupación de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental del río; además, el mismo es utilizado indiscriminadamente para el vertido de aguas residuales y desechos sólidos, por parte de los residentes en las zonas aledañas.

En el sector medio, entre la carrera Séptima y la Avenida Boyacá, el río San Cristóbal se encuentra totalmente canalizado, recibe varios colectores del sistema de drenaje de la ciudad, pero también buena cantidad de desechos y de residuos sólidos, causando problemas de mantenimiento, por acumulación y retención de flujos. Después de la Avenida Boyacá, el río, si bien no está canalizado, se encuentra muy intervenido, con invasión de la zona de ronda, con viviendas e industrias, por lo menos hasta el cruce de la Avenida Ciudad de Cali, o vía a Corabastos. Aguas arriba de ésta, el río recibe el drenaje de la subcuenca del río San Francisco, a través del canal Boyacá o de San Francisco. Más aguas abajo, hasta su desembocadura en el río Bogotá, la intervención es menor, debido a la utilización de los predios colindantes en actividades agropecuarias, en su gran mayoría. En este último tramo, acceden al río Fucha solamente las aguas del Canal de Oriente o Fontibón, principal drenaje actual de Fontibón.

De interés particular para los estudios y diseños de zonificación de amenaza por inundación, producto del desbordamiento del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón son la cuenca alta del río San Cristóbal, hacia aguas arriba desde su cruce con la carrera Séptima, y la cuenca baja del río Fucha, desde la Avenida Boyacá hasta la desembocadura en el río Bogotá (Figura 1). De influencia directa para la zonificación de amenaza por inundación es el corredor a lo largo de cada uno de los sectores del río, cuyo ancho, por determinar, se relaciona con la ocupación probable de los desbordamientos del río Fucha para caudales de determinada frecuencia.

2.1 PROBLEMÁTICA EXISTENTE

Desde el punto de vista de la zonificación de la amenaza de inundación, por desbordamiento del río Fucha en los dos sectores bajo estudio, resulta de especial interés el alto índice de ocupación actual de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental del río; muchas de las viviendas localizadas a lo largo del cauce lo invaden de manera inconveniente (Anexo 1: Fotografías 1 y 2) y utilizan, también como otras, el río para el vertido incontrolado de aguas residuales; esto favorece la inestabilidad del cauce, en muchos sectores. La urbanización de las laderas próximas al cauce, el vertido e inadecuado manejo de aguas residuales y la obstrucción de los drenajes naturales en la parte alta son las causas principales de la inestabilidad de sitios específicos, como es el caso de los barrios Laureles (Civiles Ltda. – Hidroconsulta Ltda., 1999) y Santa Cecilia (Anexo 1: Fotografía 13).

El río es igualmente utilizado para la entrega de aguas residuales de zonas urbanizadas próximas (Anexo 1: Fotografía 3), cuyos flujos altamente concentrados deterioran enormemente el ambiente local y la calidad de las aguas. Algunos tramos son lateralmente socavados, principalmente por la alta energía de los flujos de creciente; en ocasiones se construyen muros en gaviones como medidas correctivas, los cuales reducen la sección transversal, con incrementos mayores de velocidad y la necesidad de protecciones adicionales con enrocado (Anexo 1: Fotografía 4). Para el control de los flujos en el extremo inferior de la cuenca alta, antes de su empalme con la zona canalizada, se han instalado diques transversales de excelente comportamiento para la retención de sedimentos (Anexo 1: Fotografía 5).

En la cuenca baja del río Fucha se tienen también problemas de invasión de rondas por viviendas e industrias (Anexo 1: Fotografías 7 y 8), con los mismos efectos de deterioro ambiental antes referidos. Algunos de los puentes existentes (Anexo 1: Fotografías 8 y 9) restringen el flujo normal de los caudales extremos, lo que parece ser la causa principal de los pocos desbordamientos en algunos sectores; no obstante, muy escasas han sido las emergencias reportadas por desbordamiento del río Fucha, como se ha podido constatar por las investigaciones realizadas en la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de la Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá; además, algunos puentes presentan problemas de socavación local y erosión lateral (Anexo 1: Fotografía 9). En este sector, la velocidad del flujo es lenta, por la influencia del remanso generado por su confluencia con el río Bogotá (Anexo: Fotografía 10).

Sin la menor duda, puede afirmarse que los origines principales de la problemática relacionada son la falta de control y la ausencia de autoridad; no obstante, es mucho lo que puede hacerse aún para recuperar el río, mediante acciones correctivas y preventivas, con la decidida participación de la comunidad.

3. GEOLOGÏA, GEOMORFOLOGÍA Y MORFODINÄMICA

3.1 TRAMO DEL CORREDOR COMPRENDIDO ENTRE EL TANQUE DE DECANTACION Y LA CARRERA 7ª

El terreno por donde discurre el cauce del río San Cristóbal, en el tramo comprendido entre el Tanque de Decantación de la EAAB-ESP, ubicado, según el sistema IGAC, a la cota 2.750 msnm, aproximadamente, y el puente de la carrera 7ª, ubicado a la cota 2.590 msnm, posee las características geológicas generales que se describen a continuación.

3.1.1 Estratigrafía del sector. El tanque de decantación de las aguas del río San Cristóbal está localizado en el costado suroccidental, de la Loma El Caracol, que hace parte de los cerros del suroriente de Bogotá, en la base de la loma, inmediatamente aguas arriba del barrio Los Laureles. Desde este punto hacia aguas abajo, el subsuelo está constituido por rocas sedimentarias pertenecientes al Grupo Guadalupe y a las Formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá. Esta secuencia está en posición normal. En lo que corresponde al cauce y valle de inundación del río, estas rocas están recubiertas por depósitos recientes, dentro de los cuales se destacan depósitos de origen fluviotorrencial, terrazas asociadas a la dinámica del río San Cristóbal, cono aluvial del río y masas inestables. Todo esto se ilustra en el Mapa Geológico (Plano 539-SCR-ACT-01).

A continuación se hace una descripción de cada una de las unidades presentes en las laderas que conforman el valle del río.

Rocas Sedimentarias.

>. Grupo Guadalupe (Ksgs). El grupo Guadalupe está conformado por las Formaciones Arenisca Tierna, Arenisca de Labor, Plaeners y Arenisca Dura. Con base en la expresión morfológica montañas altas de contornos angulares y pendientes abrupta de la ladera norte del valle del río San Cristóbal, se considera que en este sector afloran, en sentido oeste – este, las formaciones Arenisca de Labor. Plaeners y Arenisca Dura.

>. Formación Guaduas (Tkgu). Está expuesta sobre la margen sur del valle del río, del barrio Los Laureles hacia aguas arriba sobre la margen norte, en el costado NW de La Escuela de Logística del Ejercito Nacional. Está constituida en el sector por potentes paquetes de arcillolitas, de color gris o abigarrado, y existen algunas intercalaciones de estratos de arenisca de color amarillo claro. La parte más superficial de estos materiales está moderadamente meteorizada.

Da origen a una morfología de montañas de altura media a baja y contornos redondeados. Sobre esta formación se realizó alguna actividad de explotación de arcillas, en el pasado, en un área hacia aguas arriba, un poco al sureste del sector cartografiado.

Formación Arenisca del Cacho (Tpc). Se le encuentra expuesta inmediatamente al oeste del Batallón Militar y del barrio Montecarlo. Está conformada por un

paquete de estratos, de espesor delgado a medio, de areniscas feldespáticas y cuarzo feldespáticas; se observa estratificación cruzada. Están intercalados con estratos delgados de arcillolitas grises y abigarradas.

Morfológicamente da origen a un relieve montañoso alargado y estrecho, siguiendo la orientación de los estratos, de altura moderada y contornos angulares.

Formación Bogotá (Teb). Está ubicada en el costado occidental de este tramo del área de estudio. Sobre ella están localizados los barrios Vitelma y Las Mercedes; específicamente en lo que corresponde al cauce y ronda del río no aflora, pues está recubierta por el cono aluvial del río San Cristóbal.

Su litología está constituida, en el sector, básicamente por paquetes potentes de arcillolitas abigarradas con esporádicas intercalaciones de estratos de areniscas feldespáticas.

Depósitos Recientes (Qf, Qt y Qsa). Los depósitos Qf, Qt se encuentran recubriendo parcialmente al Grupo Guadalupe y de una manera más amplia a la formación Guaduas. Básicamente son depósitos de origen fluviotorrencial y aluvial. El depósito Qsa está recubriendo a la Formación Bogotá a todo lo largo del cauce y ronda de río, desde 200m hacia aguas arriba del Instituto de Niños Ciegos hasta el puente de la carrera 7ª. Las características de cada uno de estos depósitos se relacionan a continuación.

Depósito reciente de origen fluviotorrencial (Qf). Este material sirve de terreno de fundación al tanque de decantación y a la gran mayoría de las viviendas que existen, a la fecha, en los barrios Laureles, la Gran Colombia y Montecarlo.

Litológicamente está constituido por fragmentos subangulares a subredondeados de arenisca cuarzosa, gris clara, grano fino, cemento silíceo; estos fragmentos varían en tamaño desde bloques de diámetro mayor a 1 m a clastos tamaño grava, predominando los tamaños de menor diámetro. La matriz es arena limosa preferencialmente, de color gris claro; el cementante es débil, por lo cual las partículas son fácilmente disgregables.

Se destaca en este material su alta permeabilidad y la facilidad con la que el agua de escorrentía, por el alto gradiente del terreno, le produce erosión laminar y surcos que poco a poco pueden evolucionar a cárcavas y deslizamientos. Su espesor es variable desde pocos centímetros a varios metros.

Los depósitos fluviotorrenciales (Qf) cartografiados hacen parte de un gran relleno que bajó de los cerros surorientales y recubrió en una gran extensión a los estratos de la Formación Guaduas.

Terrazas de origen aluvial (Qt). Son el resultado de la actividad propia del río, de manera que se encuentran organizados varios niveles de terrazas, y de estos el más inferior está en un proceso avanzado de destrucción. Su composición litológica es similar a la del depósito fluviotorrencial. El barrio Los Laureles está ubicado sobre esta unidad.

>. Cono Aluvial del río San Cristóbal (Qsa). Este depósito parece ser el producto de dos eventos. Un primer evento fluviotorrencial que transportó y acumuló un potente depósito de grandes bloques, cantos y gravas de arenisca cuarzosa, subredondeados; la matriz es preferencialmente areno limosa, de color gris claro con manchas amarillas, esta característica la hace fácilmente erodable. El espesor observable es del orden de 7m, en las vecindades del Parque Primero de Mayo.

El segundo evento parece tratarse de una situación de baja energía que acumuló un horizonte de arcilla limosa, de color habano a carmelita rojizo, erodable; el espesor de este horizonte oscila entre 1,5m y 2,0 m, pero localmente puede ser muy pequeño.

3.1.2 Características Estructurales.

Discordancia. Lo primero que se destaca es la presencia de una superficie de discordancia que sirve de contacto entre el fluviotorrencial y la Formación Guaduas, por ella se presentan algunos pequeños flujos de agua que se infiltra y almacena a través del depósito fluviotorrencial.

Estratificación. De otra parte, los estratos de la Formación Guaduas poseen orientación N 50 W /60 NE, posición que es anormal con relación a la orientación regional de los estratos que es NE-SW y azimut de buzamiento hacia el NW, pero esta condición local es consecuencia de la presencia de la falla geológica que se describe más adelante.

En el sector donde aflora la Formación Arenisca del Cacho (Tpc), la orientación e inclinación de los estratos es N-20^0-E/87NW, la cual corresponde con la tendencia regional. Además, la masa rocosa está afectada por dos familias de diaclasas, observables en los paquetes de areniscas; las tendencias de ellas son: N 75 E / 87 SE, N 08 E /37 NW, respectivamente.

Falla geológica de rumbo, es otra de las características que sobresale en el área. Esta falla está controlando el valle del río San Cristóbal en el tramo del barrio Montecarlo hacia aguas arriba. Esta falla tiene movimiento preferencial en el rumbo y trunca la continuidad de la Formación Guaduas hacia el norte y la pone en contacto con el Grupo Guadalupe, esto es consecuencia del desplazamiento del bloque estructural norte hacia el occidente, tal como se muestra en el Plano 539-SCR-ACT-01.

3.1.3 Características geológicas y morfodinámicas locales. El cauce del río San Cristóbal y su ronda están modelados sobre los materiales que se describen a continuación. Para esta descripción se ha tomado como abscisa K0+000 el punto medio del tanque de decantación de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP, para de allí avanzar hacia aguas abajo.

K0+000 a K0+330. En este tramo el río discurre sobre un depósito cuaternario producto de un flujo torrencial. Este relleno esta recubriendo, en la margen derecha, paquetes potentes de estratos de areniscas pertenecientes al Grupo Guadalupe, algunos de estos estratos afloran en el lecho del río; en tanto que sobre la margen izquierda cubren paquetes potentes de arcillolitas pertenecientes a la Formación Guaduas.

K0+330 a K0+450. En este tramo, mientras la margen derecha se mantiene sobre materiales similares a los del tramo anterior; la margen izquierda esta afectada por un deslizamiento activo (Qd), complejo y retrogresivo que involucra arcillolitas meteorizadas de la Formación Guaduas y materiales producto del flujo torrencial, descritos en el numeral 3.1 (Fotografías 1 y 2). Este deslizamiento (Qd) afecta un área de aproximadamente 2,0 Ha. Es necesario explorar la masa inestable para establecer su espesor, el cual se estima del orden de 4 m. La masa permanece activa por la presencia de un afloramiento de agua subterránea que mantiene la arcilla totalmente saturada, por encima del límite líquido. En la parte aledaña al cauce del río la situación se complica, pues adicionalmente hay presencia de aguas servidas.

K0+450 a K1+100. El cauce y la ronda están modelados sobre materiales que conforman los depósitos de terrazas (Qt), descritos en el numeral 3.1. En este tramo, sobre la margen izquierda se ubica el Barrio Los Laureles y la parte de mayor densidad de viviendas está localizada sobre los dos niveles superiores de terrazas y otras viviendas se ubican sobre el depósito fluviotorrencial. Hay viviendas localizadas sobre la ronda.

Las principales manifestaciones de inestabilidad se ubican sobre la margen izquierda, en las vecindades del cauce del río, y están relacionadas directamente a la saturación y erosión causada sobre los materiales por los vertimientos de aguas negras provenientes de las viviendas aledañas al cauce.

K1+100 a K1+400. En este tramo el río discurre nuevamente sobre materiales pertenecientes a la unidad fluviotorrencial, en su parte terminal hacia el oeste. En este tramo, en el sector comprendido entre K1+200 y K1+230, sobre la ladera izquierda hay un deslizamiento activo que amenaza las viviendas ubicadas arriba de la grieta principal de tracción. Este deslizamiento, que tiene un ancho medio de 30m y altura superior a 15m, fue provocado por el vertimiento descontrolado de aguas residuales de la zona (Fotografía 3). La masa inestable está compuesta por material fluviotorrencial y arcillolitas meteorizadas pertenecientes a la Formación Guaduas.

Sobre la margen izquierda, de la desembocadura de la quebrada Aguas claras o La Pichosa hacia aguas arriba, en la ladera montañosa hay un deslizamiento activo sobre el fluviotorrencial que amenaza las viviendas ubicadas arriba y debajo de la masa inestable (Fotografía 4).

K1+400 a K3+250. En este tramo el río fluye sobre materiales pertenecientes a la unidad cono aluvial (Qsa), descrita en el numeral 3.1.1. Los principales procesos morfodinámicos afectan las márgenes del cauce y son problemas locales de erosión hídrica, cuya localización y características se exponen a continuación.

Del puente aledaño al Instituto de Niños Ciegos, hacia aguas arriba, sobre la margen izquierda hay una serie de viviendas localizadas dentro de la ronda del río (Fotografía 5). El estribo izquierdo del puente está socavado en la pata. Del puente, aguas abajo, sobre la misma margen hay varias viviendas sobre el borde del cauce y el muro de una de ellas fue parcialmente destruido por la dinámica del río; en este sector sobre ambas márgenes, localmente, hay erosión laminar.

En los alrededores del puente de la carrera 6ª Este, hay socavamiento profundo en el estribo izquierdo del puente y sobre el muro hay vertimientos de aguas negras de las viviendas aledañas. Hacia aguas abajo, sobre la misma margen, continua el problema de socavamiento en la base de un muro de protección de la margen, construido en concreto. El muro está socavado en una longitud de 30m. Doscientos metros hacia abajo, sobre la margen derecha, hay un problema de socavamiento generado por la entrega de una alcantarilla; el talud afectado tiene una altura de 6m y el área con problema de socavamiento afecta al conglomerado y al limo que le suprayace; sus dimensiones son de 15m de largo por 5m de alto, donde se genera un talud negativo, donde se puede apreciar la litología del conglomerado aluvial.

Treinta metros más hacia aguas abajo de este punto, sobre la margen izquierda hay un foco de erosión en un área de 8m de largo por 5m de alto.

A partir del puente de la carrera 1ª Este, 130m hacia aguas abajo, el río posee una sección en "U". Sobre la margen derecha, que tiene una altura de 8m, hubo en el pasado un problema de socavamiento profundo que afectó dicho talud en una longitud de 30m e hizo necesario proteger este tramo de la ribera con un muro en gaviones de 4m de altura; sin embargo, este borde en una longitud de aproximadamente 100m tiene problemas locales de inestabilidad y de erosión, lo cual hace necesario conformarlo, disminuyéndole su inclinación, y revegetalizarlo.

De este puente, 350m, hacia aguas abajo, en una longitud de 420m, existen ocho diques de concreto, cuya labor es controlar la profundización del cauce y retener sedimento; en esta última parte del cauce en estudio, cuyo limite es el puente de la carrera 7ª, no hay manifestaciones de tipo morfodinámico. Sin embargo, sobre la margen derecha hay un muro de gaviones y el tramo de margen que está protegiendo requiere conformación y revegetalización, para controlar los procesos de erosión laminar y surcos que lo afecta actualmente.

3.2 TRAMO DEL CORREDOR COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA BOYACÁ Y EL RÍO BOGOTÁ

3.2.1 Geología. Como se aprecia en el Plano 539-FCH-ACT-02, en este tramo del área de estudio el corredor del río Fucha se desarrolla sobre un sector de la Sabana de Bogotá, por tanto el cauce se ha moldeado sobre el relleno lagunal de edad cuaternaria que dio origen a esta extensa sabana. Luego desde el punto de vista geológico, lo destacable son los rasgos litológicos de los materiales sobre los cuales se ha desarrollado el cauce.

3.2.2 Características Litológicas del Cauce y de la Ronda. De acuerdo con el análisis fotogeológico y el control de campo realizado, la ronda y cauce del río está conformado por materiales in situ y rellenos de origen antrópico, sus características litológicas se exponen a continuación.

Limos de Inundación (Qsl). Están conformando la base y parcialmente las riberas del río; mineralógicamente están constituidos por cuarzo y minerales arcillosos, cuya granulometría varía entre limo arcilloso y limo; su coloración es preferencialmente

habana a gris; el espesor de las capas varía de laminar a media. Son ligeramente erodables. El espesor de secuencia observable es del orden de 2m, no se conoce el espesor real.

Rellenos de Origen Antrópico (Qr). Estos rellenos surgen de la acción del ser humano para restringir el valle de inundación del río a su mínima expresión. Estos rellenos como se aprecia en el Plano 539-FCH-ACT-02, están representados por los jarillones que localmente existen y de una manera amplia por extensos terraplenes con espesores medios que oscilan entre 4m y 5m.

Los terraplenes están conformados por escombros de construcción, capa vegetal, arcillas, y otros residuos sólidos, acumulados sin ninguna selección ni compactación. Los jarillones poseen algún grado de selección y compactación.

3.2.3 Características Morfodinámicas Locales. En este aspecto se destacan los procesos de erosión concentrada y procesos de inestabilidad local que afectan las riberas del río. En este sector se tiene lo siguiente:

Inmediatamente hacia abajo de la Avenida Boyacá, en la salida de las dos alcantarillas de cajón se aprecian barras de arena y basuras que es necesario remover para mantener plena la sección de estas estructuras. Sobre la margen derecha, del río, frente del sitio donde la alcantarilla del costado izquierdo entrega sus aguas, hay un foco de erosión de 8m de longitud por 4m de altura; esta erosión se ha desarrollado sobre las unidades Qsl y Qr, anteriormente descritas.

A 300m hacia aguas abajo de la Avenida Boyacá, sobre la margen derecha, en una longitud de 50m hay socavamiento fuerte; este hecho ha generado desprendimiento de cuñas de terreno de más de 1,5m de ancho.

A 350m hacia aguas abajo de la Avenida Boyacá, sobre la margen izquierda, donde se ubica Textiles Lafayette, el agua ha venido atacando la ribera en una longitud de 50m; para protegerla han construido un muro con bolsacretos, pero su funcionalidad no es la mejor, ya que localmente se observa inestable. Más hacia aguas abajo, en el sitio de entrega del Canal Boyacá existen barras de arena y basura que es necesario eliminar.

Del puente de la Avenida Ciudad de Cali, inmediatamente hacia aguas abajo del estribo izquierdo, se observa una tablestaca de unos 15m de longitud, construida con madera rolliza, para proteger la margen del río, ha funcionado, pero requiere mantenimiento. 20m más abajo, sobre la margen derecha hay otra tablestaca que viene cumpliendo su función de protección, pero requiere mantenimiento. 60m más abajo, sobre la margen izquierda, en terrenos de Frigorífico San Martín, hay un muro de gaviones en condición de estabilidad aceptable.

En el sector de la Planta de Bombeo de Aguas Negras de Fontibón se observan una serie de procesos de erosión en las márgenes del río. El primer sito está ubicado, 50m hacia aguas arriba del puente de acceso a la planta; allí, sobre la margen izquierda el río socava, en una longitud aproximada de 40m, afectando a las unidades Qsl y Qr; el espesor de las cuñas de terreno que se han desprendido es de menos de 1m. El otro sitio está ubicado hacia aguas abajo del puente, aproximadamente, desde los 20m hasta los 120m; allí la margen izquierda tiene una

altura de 5m y está afectada por socavamiento; la profundidad de socavamiento es inferior a 1m.

Del sitio anterior hacia aguas abajo, en las dos márgenes del río hay jarillones y la superficie del terreno es la del terreno in situ, que tiene la cota 2.541 msnm, aproximadamente, según el sistema IGAC. En este tramo la superficie freática está a la cota de la superficie del terreno, de manera que en épocas de invierno este tramo se mantiene en condición pantanosa, tal como se ilustra en el Plano 539-FCH-ACT-02. En este último tramo del cauce, en dirección hacia aguas arriba de la intersección del río Fucha con el Bogotá, en las curvas ubicadas a 100m, 460m y 1.000m, hay socavamiento sobre la margen sur en el primero y segundo sitios y sobre la margen norte en el último, pero el socavamiento tiene profundidad inferior a 1m.

3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y MORFODINÁNICAS GENERALES.

Desde los puntos de vista geomorfológico y morfodinámico, para cada uno de los tramos, se destacan los aspectos que se relacionan a continuación, anotando que la cuenca alta es la única que amerita una sectorización geomorfológica, el otro sector no, por cuanto se presenta una sola unidad geomorfológica.

3.3.1 Río San Cristóbal, tramo tanque de sedimentación-Carrera Séptima.

Características geomorfológicas. En el tramo comprendido entre el tanque de sedimentación y la desembocadura de la quebrada Aguas Claras o La Pichosa (K0+000 a K1+400), la evolución de las laderas que conforman el valle medio del río San Cristóbal están en buena medida influenciadas por la presencia de la Falla geológica que controla el cauce del río, en el sector (Planos 539-SCR-ACT-01 y 539-SCR-ACT-03). Sin embargo, la diferencia de las litologías que quedaron expuestas en la ladera sur con respecto a la ladera norte, genera contrastes en cuanto a resistencia a la erosión, y por ende en el modelado de cada una de ellas, lo cual se refleja en la asimetría de la sección transversal del valle, es decir en dirección norte-sur. De manera que la ladera norte, conformada por areniscas, posee un relieve alto y angular, está poco disectada y posee pendientes variables entre 35^0 y 60^0, con inclinación media de 38^0. Por el contrario, la ladera sur, constituida por arcillolitas parcialmente recubiertas por material fluviotorrencial, posee un relieve de altura moderada a baja, de formas onduladas, y está disectado por varias cañadas, algunas de las cuales son alimentadas por agua subterránea, las pendientes del terreno, aunque variables, oscilan entre 20^0 y 5^0, pero localmente pueden ser 45^0, con una pendiente media del orden de 18^0.

Sobre un tramo de la ladera sur están localizados los barrios Los Laureles, Gran Colombia y Montecarlo; el modelado es el resultado de eventos fluvio-torrenciales y de disección, cuyo resultado son las unidades geomorfológicas: flujos y terrazas, respectivamente. De ese sector específico se hace una evaluación detallada de los rasgos geomorfológicos que tienen incidencia sobre el factor geotécnico del estudio. Los rasgos destacables son: la cañada que limita el barrio Los Laureles, por el

costado sureste; las terrazas escalonadas y la parte media y alta de la ladera; y, la cañada del costado sureste de los Laureles.

Esta microcuenca está alimentada por agua subterránea, la cual aflora por fisuras existentes en las arcillolitas que por el humedecimiento permanente están plastificadas y poseen grados de meteorización IV-V (Dearman, 1974). Se hace notar que esta cañada, antes de 1990, era estable y poseía un pequeño lago con agua permanente; actualmente es un deslizamiento importante que genera amenaza por represamiento del río.

Ribera izquierda del río. Sobre esta margen del río, localmente en épocas de invierno, se presentaban socavamientos, pero el principal agente que genera problemas de estabilidad de tipo retrogresivo es el agua servida, que es vertida por las viviendas existentes en el sector, ante la ausencia de una red de alcantarillado.

Terrazas escalonadas. Están constituidas por material fluviotorrencial. Se cree que el origen de estas formas está relacionado con la acción erosiva que sobre la parte media y baja del relleno fluviotorrencial desarrolló a través del tiempo el río, hasta alcanzar la cota actual de su cauce. Existen cuatro niveles de terrazas, de las cuales las dos intermedias son las más extensas y mejor conservadas, y a su vez las más pobladas.

Parte media y alta de la ladera sur. Este sector, constituido por material fluviotorrencial, conserva en parte la geometría original de la gran avalancha que dio origen al relleno fluviotorrencial; por tanto, su morfología es de tendencia redondeada con desarrollo de pequeños tramos con pendientes del orden de 45^0 en aquellos sitios donde los procesos erosivos han estado más concentrados y han dejado al descubierto las arcillolitas de la Formación Guaduas. Este sector no presenta huellas de procesos naturales de inestabilidad reciente.

En las vecindades de la desembocadura de la quebrada La Pichosa, sobre la ladera sur, existe un relieve montañoso con orientación N-S, alto, angosto y de tendencia angular. En el sitio donde está en contacto con depósito fluviotorrencial (Qf), existen unas manifestaciones de inestabilidad en la ladera que generan amenaza sobre las viviendas ubicadas arriba y abajo del sitio inestable.

De la desembocadura de la quebrada La Pichosa, hacia aguas abajo hasta el puente de la Carrera Séptima, el río entra sobre el relleno del período cuaternario que conforma el relieve plano y de pendientes muy suave que se conoce como la Sabana de Bogotá. En este tramo del cauce, el valle del río es sumamente estrecho y normalmente hay viviendas a borde del cauce y sobre la ronda. Los procesos de inestabilidad están restringidos a socavamientos localizados y pueden fácilmente ser controlados y estabilizados.

3.3.2 Río Fucha, tramo comprendido entre la Avenida Boyacá y el Río Bogotá. Este tramo del río se desarrolla completamente sobre el relleno cuaternario que constituye la Formación Sabana. Su morfología es plana, con inclinación suave hacia el occidente. Se considera que el cauce está en una etapa de madurez temprana, por lo cual su perfil es en “U” y su dinámica característica es la erosión lateral del cauce. De acuerdo con la evaluación fotogeológica, en las vecindades de su entrega sobre el río Bogotá, el río Fucha ha tenido migraciones de

su cauce, ya que en el pasado estaba un poco más al sur y poseía algunos meandros, como se ilustra en el Plano 539-FCH-ACT-02; además, su valle de inundación era muy amplio.

Dentro de los procesos morfodinámicos destacables están:

- El valle de inundación fue reducido a su mínima expresión como consecuencia de la construcción de terraplenes y jarillones. Actualmente, hacia aguas abajo de la Planta de Bombeo de Fontibón, sobre la margen derecha, se avanza con un terraplén sobre la ronda del río.

- Sobre la franja de terreno definida como ronda de río en muchos tramos existen viviendas.

- La dinámica propia de evolución del cauce ocasiona la existencia de una serie de sitios donde se desarrolla socavamiento. En algunos de estos sitios se han hecho obras de control, como gaviones, tablaestacas y protecciones con bolsacreto, en tanto que en otros no hay obras de protección ya que la dinámica de los procesos no las ameritan. Es conveniente llamar la atención sobre el sector de Tejidos Lafayette e inmediatamente aguas abajo del puente de la Avenida Ciudad de Cali.

4. HIDROLOGÍA DE LOS SECTORES BAJO ESTUDIO

El estudio hidrológico básico que trata el río Fucha forma parte del proyecto Río Bogotá (Hidroestudios S.A. - Black & Veatch Intl., 1984), a través del cual se definieron los caudales de diseño de los canales de aguas lluvias del plan maestro de alcantarillado de la ciudad y las crecientes en los afluentes del río Bogotá. En éste se propone una zonificación pluviográfica de la ciudad, se generan las funciones intensidad-duración-frecuencia, (IDF) y se emplean métodos indirectos para la estimación de caudales de diseño. Posteriormente se modificó dicha zonificación y se actualizaron las funciones IDF (IRH LTDA., 1995), con lo cual se dispone de una herramienta básica para la definición de caudales por métodos indirectos, en razón de la baja densidad de estaciones hidrométricas en sitios de interés específico.

Dentro de la cuenca de interés de los dos sectores bajo estudio existen, para la cuenca alta, las estaciones pluviométricas de El Delirio y Vitelma, y la estación limnimétrica El Delirio; ésta tiene registros no continuos e incompletos de caudal, para los períodos 1982 a 1987 y 1991 a 1994.

En la cuenca baja del río Fucha existe la estación limnimétrica Fontibón, instalada en diciembre de 1971, de la cual la Empresa dispone de información de caudales basados en los registros de nivel para los años 1982 a 1986; existen también registros de nivel hasta el año 1991. En razón del remanso por la confluencia con el río Bogotá, se suspendieron las observaciones en esta estación, pero según informaciones de la Sección de Hidrología de la Empresa de Acueducto y

Alcantarillado de Bogotá – ESP, se está considerando su remplazo por una que se localizaría más aguas arriba.

Además, existe la estación limnimétrica Avenida Américas - Avenida 68, sobre el canal Fucha, instalada en septiembre de 1990, pero con registros disponibles únicamente para el período 1991 – 1994. Sobre el río Fucha, antes de su canalización, se localizaba la estación Avenida de Las Américas, con registros entre octubre de 1958 y enero de 1964. La información de estas estaciones no fue utilizada en el presente estudio.

Para lluvias, en la cuenca baja se cuenta con la estación climatológica ordinaria Fontibón, localizada en cercanías de la estación de bombeo del mismo nombre. Además, se cuenta con los registros de la estación sinóptica principal Aeropuerto El Dorado.

Debido a la importancia de la información hidrológica básica para fines del manejo de las cuencas y el diseño de obras, es recomendable considerar la instalación de estaciones para la medición de caudales en diversos sitios a lo largo del río Fucha; el puente sobre la carrera Séptima, algunos puentes en el sector canalizado, una sección de control antes de la confluencia del canal Boyacá o San Francisco y el puente cercano a la estación de bombeo de Fontibón pueden ser considerados para el efecto.

Recientes experiencias desastrosas sobre inundaciones en zonas urbanizadas (Grimm, 1998; Grigg et al, 1999), en las cuales se presentaron eventos de magnitud superior a recurrencias de 100 años, sugieren la conveniencia de revaluar este criterio para fines de diseño; por tal razón, en los estimativos de caudal que se presentan más adelante se incluyen los valores proyectados para frecuencias de 0,5%, equivalente a 200 años de período de retorno, en el entendido de que en estos su exactitud es cuestionable, por tratarse de proyecciones sobre la base de cortos períodos de registro. No obstante, es conveniente contemplar la probabilidad de ocurrencia de eventos similares.

4.1 CUENCA ALTA DEL RÍO SAN CRISTÓBAL

El estudio considera la cuenca del río San Cristóbal desde su nacimiento hasta el cruce de la carrera Séptima, sitio hasta el cual la cuenca hidrográfica tiene una extensión de 33,8 Km^2 y puede subdividirse en dos subcuencas: una desde el nacimiento hasta los tanques de decantación de la EAAB-ESP y la otra desde estos hasta la carrera Séptima (Figura 2).

Con base en la información pluviométrica de las estaciones Vitelma y El Delirio, la precipitación media anual multianual varía entre 1.036 mm y 1.206 mm; las precipitaciones máximas mensuales son, en cada caso, de 277,2 mm y 325,8 mm. El Anexo 2 contiene la serie de tiempo de valores mensuales de precipitación y los histogramas de la distribución media mensual de precipitación en estas estaciones.

Tal como se ha anotado, la información limnimétrica básica de la estación El Delirio para la determinación de caudales es incompleta y de corto período de registros, por

lo que se impone el empleo de métodos indirectos para la selección de caudales de diferentes frecuencias, como se hizo, en el caso particular del río San Cristóbal, para la delimitación de la zona de ronda y de manejo y preservación ambiental (Estudios y Asesorías Ltda., 1997) y para los diseños de obras de estabilización del barrio Laureles (Consorcio Civiles Ltda. – Hidroconsulta Ltda., 1999). En este último se efectuó una "calibración" del modelo de lluvia - caudal con base en la escasa información de la estación El Delirio; en el otro, por no existir estudios anteriores, no se realizaron comparaciones con valores previos de caudal.

Los caudales de escorrentía en pequeñas cuencas, como la del San Cristóbal hasta la carrera Séptima, están influenciados principalmente por las condiciones físicas del suelo y la cobertura vegetal, más que por las características hidrológicas e hidráulicas del cauce principal; por lo tanto, son muy sensibles, tanto a lluvias intensas de corta duración como a las condiciones de uso y manejo de los suelos, las cuales son independientes de las características del cauce. Por estas razones y dada la disponibilidad de las funciones IDF (IRH Ltda., 1995), se optó por utilizar el método de Chow (1964), el cual se describe en el Anexo 2. Se anota que existen notables diferencias con los caudales utilizados para la delimitación de las zonas de ronda (Estudios y Asesorías Ltda., 1997), siendo estos inferiores hasta en un 50% con respecto a los del presente estudio.

La cuenca alta del río San Cristóbal se ha subdividido además en varias subcuencas pequeñas (Figura 2) con el fin de establecer valores de caudal de diferentes frecuencias para el río San Cristóbal en seis sitios a lo largo de su cauce, algunos de los cuales coinciden con los de desembocadura de quebradas afluentes; estos valores se relacionan en la Tabla 1.

Por cuanto para los análisis hidráulicos posteriores se requieren valores de caudales extremos de diferentes frecuencias, no hay consideración alguna a los caudales derivados para la planta de Vitelma.

TABLA 1. Caudales de diseño de diferentes frecuencias en el río San Cristóbal, para seis sitios a lo largo de su cauce. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE - HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

T_R, años	CAUDALES DE DISEÑO, m^3/s					
	Frente al B. Laureles	Desemboc. Q. El Soche	Desemboc. Q. Aguas Claras	Frente a Inst. Niños Ciegos	Frente al Parque 1º de Mayo	En puente sobre la Cra. 7ª
2,33	3.88	4.29	5.58	6.80	9.76	10.52
5	6.51	7.13	9.11	10.82	14.97	15.96
10	10.20	11.00	13.64	16.07	21.29	22.50
25	17.25	18.50	22.49	25.88	32.92	34.39
50	25.12	26.70	31.74	36.10	44.37	46.09
100	35.53	37.50	43.87	49.30	58.52	60.53
200	48,78	51,15	59,10	65,75	76,60	78,48

4.2 CUENCA BAJA DEL RÍO FUCHA

Con base en la información pluviométrica de las estaciones Fontibón y Aeropuerto El Dorado, la precipitación media anual multianual varía entre 705 mm y 788 mm; las precipitaciones máximas mensuales son, en cada caso, de 218,1 mm y 262,6 mm. El Anexo 2 contiene la serie de tiempo de valores mensuales de precipitación y los histogramas de la distribución media mensual de precipitación en estas estaciones.

Los estudios de diseño conceptual de alcantarillados (Hidrotec Ltda., 1998) incluyen estimativos de caudales de aguas lluvias, basados en el estudio básico anterior (Hidroestudios S.A.- Black and Veatch Int., 1984) y de aguas negras, con fundamento en la sectorización para los diferentes colectores. Además, para la delimitación de las rondas (Estudios y Asesorías Ltda., 1997), se establecen los caudales de aguas lluvias, utilizando el modelo HEC-1. La Tabla 2 muestra los valores de caudal de aguas lluvias de ambos estudios y los proyectados para una frecuencia de 0,5%.

Tabla 2. Valores de caudal de aguas lluvias (m^3/s) para varias frecuencias, en diferentes sitios del río Fucha. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

Sitio	Hidrotec Ltda. (1998)[1]			Estudios y Asesorías Ltda. (1997)[1,2]		
	Recurrencia, años			Recurrencia, años		
	10	100	200	10	100	200
Av. Boyacá	121,0	168,0	182,2	74,0	165,5	193,0
Canal San Francisco	189,5	260,0	281,2	135,7	281,3	325,1
Canal de Oriente (Fontibón)	201,0	278,0	301,2	155,7	301,3	345,1

[1] Los caudales para 200 años son proyectados.
[2] Para el canal de Oriente se han adicionado los caudales del sistema de drenaje de Fontibón estimados por Hidrotec Ltda.(1998).

Con fundamento en los análisis de Hidrotec Ltda. (1998) se deduce que los caudales de aguas negras son bajos, comparativamente con los de aguas lluvias, por lo cual no se incluyen para fines de diseño. Esto también por la construcción proyectada del interceptor izquierdo del río Fucha (Hidrotec Ltda., 1998). Para los fines del presente estudio se adoptan los caudales estimados con base en la más reciente actualización de las funciones IDF (Estudios y Asesorías Ltda., 1999), con los ajustes anotados.

5. GEOTECNIA

Desde el punto de vista geotecnico, la condición actual de cada uno de los sectores de interés del estudio se describe a continuación, incluyendo algunas conclusiones y recomendaciones generales para las varias situaciones que se presentan.

5.1 PARTE ALTA DEL RÍO SAN CRISTÓBAL

La ronda del río San Cristóbal se encuentra afectada tanto por la historia geológica de la cuenca como por la intervención antrópica, la cual va desde el aprovechamiento de sus recursos hídricos hasta la ocurrencia de procesos de urbanización intensivos. Los factores mencionados, de forma separada o combinada, han generado procesos de inestabilidad del cauce del río en determinados puntos críticos. Esta corriente discurre en gran parte de su recorrido sobre depósitos de terraza aluvial y en algunos sectores sobre lecho rocoso. En el sector en estudio, correspondiente al tramo entre los Tanques Decantadores de la EAAB - ESP y la carrera 7ª, la corriente es de alta pendiente.

Los problemas más importantes observables en la zona de estudio están asociados a socavación y erosión de las márgenes del río, socavación de pilas de puentes e inestabilidad de taludes, asociado en mayor o menor grado a la socavación; en este orden de ideas, la forma en que se manifiestan esos problemas en los sitios más críticos se describe a continuación.

5.1.1 Inestabilidad de Taludes y Laderas. El primer sitio de interés es el de los tanques decantadores, de propiedad de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP, en donde se hace captación de aguas del río para suministro de agua potable. Estas instalaciones están construidas sobre terrazas formadas por el río sobre depósitos fluvio-torrenciales. Se considera que las fugas de agua de los tanques pueden ocasionar problemas de inestabilidad de taludes en la margen izquierda del cauce.

Se observa además la presencia de un fenómeno de socavación bajo un contrafuerte construido en la margen derecha del río, aguas abajo de los tanques, lo cual ha traído como consecuencia el desplazamiento y rotura de la estructura mencionada, a lo cual se asocia además un problema de inestabilidad de taludes. Adicionalmente, en la parte superior del cauce se encuentra una zona deslizada generada por filtraciones de la tubería de salida, la cual tiene un diámetro aproximado de 60 cm; actualmente, la tubería se encuentra expuesta en la zona deslizada (Anexo1: Fotografía 11). Es de anotar que los taludes, algunos metros aguas abajo de los tanques, son aproximadamente verticales y de unos 5 m de altura; hay algunos sectores que se encuentran protegidos con obras de canalización en concreto.

En este sitio es posible encontrar que la capacidad de arrastre del río es alta en época de crecientes, dado el tamaño de los bloques que se hallan depositados

sobre el lecho, por lo que se considera que, además de la socavación, las diferentes estructuras construidas dentro del cauce pueden verse afectadas por impacto.

Siguiendo la dirección de la corriente se encuentra el sector de Laureles; la característica fundamental del sitio es la heterogeneidad de los materiales que conforman las márgenes, toda vez que a la izquierda se encuentran depósitos fluvio-torrenciales sobre suelos residuales, que han sido dispuestos, en la parte alta, y sobre terrazas en la zona del río. A su vez, la margen derecha está conformada en su gran parte por material rocoso que hace parte de la formación Guadalupe (Anexo 1: Fotografía 12).

Las condiciones anteriores, a las cuales hay que añadir la presencia de viviendas sin servicio de alcantarillado, hacen que la margen izquierda del río sea la más vulnerable a problemas de inestabilidad de taludes producidos por diferentes causas. En este caso, es de sumo interés la dinámica que presentan los materiales fluvio-torrenciales presentes en la margen mencionada en una extensa área desde el cauce del río hasta unos doscientos cincuenta metros por fuera de este, en la parte alta, es posible encontrar evidencias de movimiento de la masa, las cuales van desde grietas de tracción en la parte más alta de los depósitos fluvio-torrenciales, hasta ondulaciones producidas por el flujo de los materiales; la característica fundamental de los depósitos es la gran cantidad de agua que almacenan, y que proviene tanto de las precipitaciones, de las zonas denudadas, y de los vertimientos de aguas negras de las viviendas presentes, lo cual sin duda es una de las fuentes de problemas de inestabilidad más importantes del sector, debido a que la presencia del agua reduce la resistencia al corte del material e incrementa el peso del suelo.

Es necesario tener en cuenta, además, que la zona puede verse afectada por socavación, en especial durante épocas de creciente, con lo cual se producirían problemas en la margen izquierda del cauce, dando lugar a una situación general de inestabilidad, de naturaleza retrogresiva, en la ladera. De producirse este fenómeno, habría un represamiento del río, lo cual tendría consecuencias difíciles de predecir tanto en Laureles, como aguas abajo de este sector.

Se considera que la ocurrencia de eventos sísmicos puede constituirse en uno de los detonantes de fenómenos de remoción en masa más importantes, dada la dinámica que presentan actualmente las laderas inestables; en este caso, es necesario tener en cuenta que las señales sísmicas pueden ser amplificadas por efecto de la topografía, y que la presencia de grandes cantidades de agua implica mayor peso de las masas inestables, con lo que la fuerza aplicada a éstas por el sismo es mayor.

Un tercer sitio de importancia es el localizado aguas arriba del barrio Laureles, hacia arriba del cerro (también conocido como la Cecilia), en el cual es posible encontrar material de origen fluvio-torrencial depositado como deslizamiento sobre las terrazas conformadas por materiales del río San Cristóbal, en la margen izquierda, mientras que en la margen derecha los materiales observables son predominantemente de terraza, en algunos casos presentando en la parte superior estratos de suelo residual. De nuevo, es la margen izquierda la que presenta mayores problemas de inestabilidad potencial y activa.

Los depósitos fluvio-torrenciales presentan altos contenidos de agua, debidos tanto a las precipitaciones como a vertimientos e infiltraciones producidas por acequias y canales no revestidos; las evidencias de movimiento de la masa de suelo, tales como ondulaciones del terreno, revelan procesos de inestabilidad latentes, los cuales, al ser detonados por socavación o sismo, entre otros, pueden producir represamiento de la corriente (Anexo 1: Fotografía 13). En la zona se encontró un muro de gaviones que ha sido deformado por el empuje del material inestable.

En este sector se encuentra que el cauce del río es más amplio y que la pendiente longitudinal se reduce, lo cual permitió la formación de una punta o barra, en la cual se ha desarrollado algo de vegetación, cuya edad revela que no se produce una creciente importante desde hace varios meses.

En el tramo comprendido entre la carrera 8ª Este y la carrera 3ª se observan problemas locales de inestabilidad de los taludes del cauce y de socavación en la cimentación de algunas de las viviendas; esta situación se debe a que en el tramo mencionado el río presenta un cauce sinuoso, en el cual los problemas más importantes se presentan en la parte externa de las curvas. En el tramo mencionado el cauce es amplio y se mantiene la alta capacidad de arrastre (Anexo 1: Fotografía 14). Es necesario indicar que en algunos sectores, como en el barrio Santa Ana, los taludes están conformados además por rellenos antrópicos, los cuales han sido afectados tanto por socavación como por erosión e infiltraciones de aguas lluvias y negras. La altura de los taludes afectados varía desde los 4 m en la zona del INCI, hasta los 10 m, en inmediaciones del parque 1º de Mayo, donde pese a que hay un muro de gaviones instalado en la margen derecha, es posible observar socavación bajo la estructura y erosión en la parte superior del talud.

Es de anotar que las obras de disipación de energía y retención de sedimentos que existen aguas abajo del puente de la carrera 1ª han proporcionado, en general, estabilidad a las paredes del cauce. Sin embargo, en el sector entre la carrera 3ª y la carrera 7ª hay evidencias de erosión lateral de las paredes del cauce a la salida de las estructuras de disipación (Anexo 1: Fotografía 15).

5.1.2 Puentes. A lo largo del recorrido de la corriente existen varios puentes, cada uno de los cuales presenta diferentes estados de afectación. En este caso, es importante mencionar el caso del puente localizado sobre la carrera 6ª Este, el cual es utilizado como paso vehicular. En el estribo suroriental del puente se observa un proceso de socavación avanzado, toda vez que dicho estribo se encuentra sobre la parte externa de una curva que el cauce describe en el sitio (Anexo 1: Fotografía. 16). Es posible considerar que el proceso de socavación se deba a dos factores: a la acción misma del agua y al impacto producido por material de tamaño importante que arrastra la corriente en épocas de creciente

En otros sectores donde el cauce es aproximadamente recto, no se presentan problemas evidentes de socavación, como en el caso del puente de la carrera 8ª Este, al lado del INCI; en este sitio se observa, sin embargo, gran cantidad de bloques de tamaño apreciable arrastrados por el río, lo cual evidencia una vez más que las estructuras pueden resultar afectadas por impacto.

En todos los casos, los puentes se encuentran cimentados sobre el material de terraza del río San Cristóbal.

5.1.3 Conclusiones. Toda vez que el río San Cristóbal presenta régimen torrencial y una gran capacidad de arrastre, las soluciones que deberán plantearse para estabilizar el cauce y reducir la probabilidad de represamientos y daño a estructuras deberán tener en cuenta el efecto que tiene la socavación y el impacto de bloques sobre taludes y sobre estructuras construidas.

Los procesos denudativos y de urbanización contribuyen significativamente a incrementar la probabilidad de deslizamiento de varias de las laderas que hacen parte de la cuenca y de la ronda del río, especialmente la red de alcantarillado es deficiente o no existe. Estas circunstancias incrementan el volumen de agua subterránea y por consiguiente el peso de la masa de suelo, además de reducir su resistencia al corte.

La ocurrencia de eventos sísmicos importantes o de regímenes de lluvia altos pueden detonar grandes procesos de remoción en masa en diferentes puntos y con diferente alcance a lo largo de la cuenca del río, generando posiblemente represamientos de la corriente.

5.1.4 Recomendaciones. Toda vez que se ha identificado la presencia de agua como uno de los factores de inestabilidad de laderas, será necesario considerar la posibilidad de la construcción de obras de subdrenaje, captación e intercepción de aguas lluvias y negras, así como la reubicación de algunas viviendas. Se considera que en muchos casos será necesaria la construcción de un sistema de alcantarillado en los barrios localizados en la zona de Laureles y La Cecilia.

Será necesaria la construcción de obras de protección contra la socavación en la zona de Laureles, las cuales consistirán en muros de gaviones o de concreto, con lo que se espera evitar la ocurrencia de un fenómeno de inestabilidad de taludes con tendencia retrogresiva en la margen izquierda del río.

Con respecto a la zona de los tanques, en la cual las infiltraciones de la tubería de salida causaron un deslizamiento dejando expuesta la línea de conducción, deberá considerarse la posibilidad de construir un viaducto o estructura que sirva de soporte a dicho tramo. Aguas abajo de la estructura de captación será necesaria la construcción de obras para disipación de energía e intercepción de sedimentos, con el propósito de reducir el efecto de la socavación sobre los taludes vecinos. El contrafuerte que fue socavado deberá ser anclado y recalzado, y las infiltraciones de agua desde los tanques al terreno deberán ser eliminadas.

En el sector comprendido entre la carrera 8ª Este y la carrera 1ª el cauce deberá ser ampliado y rectificado, con el propósito de reducir la pendiente longitudinal y la capacidad de socavación de la corriente, incluyendo la construcción de estructuras de disipación de energía e intercepción de sedimentos y bloques. Posteriormente, las zonas de puentes afectadas por socavación deberán ser recalzadas y reforzadas. Deberá considerarse la viabilidad de ejecutar una canalización para proteger las márgenes y prevenir la profundización de la sección transversal.

Finalmente, los sitios afectados por erosión local deberán ser reconformados y revegetalizados; para cada caso específico, deberá efectuarse una evaluación

geotécnica que permita establecer la necesidad de la construcción de estructuras de contención, tales como muros de concreto o de gaviones.

5.2 CUENCA BAJA DEL RÍO FUCHA.

La intervención antrópica, representada en un intenso proceso de urbanización e instalación de industrias en las zonas cercanas al río, en las que se han invadido las antiguas zonas de inundación o humedales del río, conformándolo a un estrecho corredor, es quizás el factor que más ha influido en la generación de problemas de inestabilidad y permanencia del cauce natural del Fucha. Además, se considera que los regímenes torrenciales que son manejados por el cauce generan problemas localizados, varios de los cuales ya han sido detectados y tratados mediante distintos tipos de obras.

En el sector de estudio, entre la Avenida Boyacá y la desembocadura del río Bogotá, el cauce está conformado por materiales arcillosos y limo-arcillosos de consistencia variable. La pendiente longitudinal del cauce es baja la topografía que atraviesa es plana. Los principales problemas que amenazan la estabilidad del cauce en este sector están asociados con socavación de las márgenes y de pilas de puentes; la descripción de estas circunstancias en los sitios más críticos se presenta a continuación.

5.2.1 Inestabilidad de Taludes y Laderas. Iniciando un recorrido en el sentido de flujo de la corriente, el primer sitio de interés es la entrega de aguas de dos canales al río Fucha en el sector de la Avenida Boyacá, en cercanías de los talleres del Expreso Bolivariano. Uno de los canales hace una entrega por la margen derecha, mediante una alcantarilla de cajón, el cual se encuentra trabajando a plena capacidad; precisamente en este sector, la margen izquierda del río Fucha está conformada por una pequeña isla, sobre la cual la corriente tributaria mencionada ha causado problemas de socavación local. La entrega se hace de frente al talud afectado.

Por su parte, el canal que hace entrega por la margen izquierda pasa al sur de la isla ya mencionada, desembocando precisamente en la primera curva del río aguas abajo de la Avenida Boyacá. En dicha curva se presentan problemas de inestabilidad de taludes, los cuales parecen ser el resultado del efecto combinado de la socavación lateral provocada por el río, y por el canal tributario, que hace su entrega de frente a las márgenes afectadas (Anexo 1: Fotografía 17). La socavación en la primera curva del río es quizás el fenómeno de inestabilidad más conspicuo en el sector de la Avenida Boyacá.

Un sitio de importancia en la observación de problemas de inestabilidad del cauce está en los alrededores de la fábrica de textiles Lafayette; aquí, el río presenta una curva relativamente cerrada, en cuya margen izquierda se observan antiguas obras de contención, consistentes en su mayoría en muros de gaviones, cuyo aspecto revela que han sido movidos por procesos de socavación y, posiblemente, por sobrecarga en los taludes (Anexo 1: Fotografía 18). En el inicio de la curva, se observa una entrega de aguas residuales provenientes de las industrias del sector.

Aguas abajo de la curva, y también sobre la margen izquierda, se están llevando a cabo obras de reconformación de taludes, las cuales incluyen la colocación de empalizadas dentro del cauce. Los materiales que están siendo depositados en esta margen son en su mayor parte escombros de construcción y basuras, cuyas propiedades de resistencia son reducidas, por lo que su exposición a crecientes generaría importantes problemas de socavación e inestabilidad de la margen (Anexo 1: Fotografía 19).

Aguas abajo de este talud, en el sector del barrio Visión de Colombia, se encuentra que las viviendas han invadido la ronda del río, por lo que se considera que pueden presentarse problemas de inestabilidad de taludes generados por vertimientos de aguas residuales al terreno. En esta zona, es posible observar la presencia de rellenos de basuras empleados en el proceso de urbanización de la zona. Actualmente, sin embargo, no es posible encontrar evidencia de problemas generalizados de inestabilidad en el cauce del río, el cual se amplía en esta zona.

El cruce del río Fucha con la Avenida Ciudad de Cali es uno de los sitios más críticos desde el punto de vista de inestabilidad de taludes; en efecto, y toda vez que los puentes existentes están cimentados sobre el cauce, la sección de éste se reduce y aguas abajo de las estructuras se han generado problemas de socavación lateral en ambas márgenes del río; en el lugar se han instalado empalizadas con el doble propósito de proteger los taludes contra la socavación y de hacer contención de los mismos (Anexo 1: Fotografía 20). La extensión de este problema es mayor en la margen izquierda, que conforma la parte externa de la primera curva del río aguas abajo de la Avenida.

A partir de este punto, aguas abajo, se encuentra de forma localizada evidencia de problemas de inestabilidad provocados por socavación lateral en la parte externa de las curvas del río (Anexo 1: Fotografía 21). Este fenómeno afecta de forma especial las diferentes estructuras de contención, básicamente jarillones, que han sido colocados en las riberas del río, así como los rellenos de basuras que han sido empleados en la desecación de los humedales, con propósitos urbanísticos o industriales. En cuanto a esto, es de importancia especial la zona en la que se encuentra la estación de bombeo de propiedad de la EAAB, la cual fue construida en una zona en la que el río describe varias curvas cerradas; en esta área se observan problemas de socavación de las márgenes, las cuales tienen una altura visible de 1,5 m aproximadamente, el contacto entre el terreno natural y los rellenos de basura, y la depositación de sedimentos en la parte interna de una de las curvas, formando una barra.

En referencia a los jarillones, estos se encuentran instalados en su mayor parte aguas abajo de la estación de bombeo de la EAAB, alcanzando una altura que varía entre los 2 m y los 3 m; si bien es cierto que no se observan evidencias visibles de deformaciones en dichas estructuras, sí hay problemas locales de socavación del terreno natural sobre el cual están colocados, aún donde el cauce presenta tramos rectos.

5.2.2 Puentes. A lo largo del cauce del río en el área de estudio se encuentran varios puentes, algunos para paso vehicular y otros de para uso peatonal.

De los primeros, se encuentra que el del cruce con la Avenida Boyacá no exhibe problemas observables de inestabilidad, pero bajo él se ha generado un depósito de sedimentos relativamente estable, toda vez que se ha permitido el crecimiento de vegetación. Por su parte, los puentes de la Avenida Ciudad de Cali presentan problemas de socavación en sus estribos, ya que, como se mencionó, sus cimientos interfieren directamente con el cauce, reduciendo su sección (Anexo 1: Fotografía 22). En el momento actual se observa además que el gálibo de los dos puentes es muy reducido.

Finalmente, el puente de acceso a la estación de bombeo de la EAAB presenta problemas de socavación local en la pila central y los estribos; es de anotar que la pila central de este puente es de sección rectangular, con lo que la acción erosiva del agua es mayor sobre la estructura misma (Anexo 1: Fotografía 23).

5.2.3 Conclusiones. Los principales problemas que afectan la estabilidad del cauce están relacionados con inestabilidad de los taludes de las márgenes, ocasionados ya sea por sobrecarga de los mismos, por socavación, o por una combinación de estas circunstancias.

La invasión de la ronda del río por proyecto urbanísticos o por expansión industrial puede ocasionar procesos de inestabilidad de las riberas del cauce, especialmente en zonas de relleno, dada su alta susceptibilidad a la acción de vertimiento de aguas residuales al terreno.

La colocación de pilas y estribos de puentes dentro del cauce del río han generado problemas de socavación en las estructuras que presentan dichas condiciones, haciendo de éstas una fuente importante de amenaza de represamiento de la corriente.

Los procesos más importantes de inestabilidad de taludes que pueden llevar a producir el represamiento de la corriente pueden ser detonados por eventos sísmicos o por la ocurrencia de una temporada intensa de lluvias.

5.2.4 Recomendaciones. En virtud a que se considera que la invasión de la ronda del río es uno de los factores que influyen en la generación de procesos de inestabilidad de las márgenes, es necesario hacer cumplir la prohibición de construir dentro de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental, será necesario limitar en lo posible la actividad urbanística e industrial dentro de ella.

Deberá considerarse la necesidad de establecer, en los puntos críticos de inestabilidad, obras de protección de las márgenes o de control de los regímenes de flujo del río y sus afluentes.

Se considera necesario evaluar la viabilidad de corregir las cimentaciones de puentes que interfieren con el cauce del río, y en los cuales se haya detectado problemas de socavación local y general.

Si bien es cierto que en general los jarillones no presentan problemas de inestabilidad salvo en algunos sitios, se considera necesario evaluar las condiciones bajo las cuales estas obras puedan verse afectadas por problemas de socavación o deterioro en su integridad, las cuales obedecen a la dinámica normal del río y evolución de orillas.

5.2.5 Uso actual del suelo. El uso actual del suelo en el tramo superior (Río San Cristóbal) es principalmente residencial, con la presencia de una zona institucional en las instalaciones de la escuela de Logística del Ejercito. Plano 539-SCR-ACT-08. En el tramo inferior, está conformado principalmente por zonas residenciales en el sector inicial hasta la avenida Ciudad de Cali, con algunas zonas industriales. La zona aguas abajo de dicha avenida, corresponde principalmente a zonas sin desarrollo, utilizadas en labores de agricultura y ganadería. Plano 539-FCH-ACT-09.

6. ANÁLISIS HIDRÁULICO

Con el propósito de establecer el comportamiento de los ríos San Cristóbal y Fucha, en términos de niveles y de posibles desbordamientos, se efectuó el análisis hidráulico para simular los cambios en el nivel de aguas entre secciones transversales adyacentes del canal natural de lecho fijo, mediante el empleo del modelo HEC-RAS, versión 2.2 (U.S. Army Corps of Engineers, 1998). Más allá de estimar las condiciones de funcionamiento del canal con respecto a las crecientes extremas de diversa magnitud, usualmente las correspondientes hasta 100 años de recurrencia, de acuerdo con las necesidades específicas del proyecto, se analiza la condición para crecientes proyectadas de 200 años, por las razones anteriormente expuestas (numeral 4), y las magnitudes de creciente que pueden generar desbordamiento definitivo; esto para los análisis de riesgo posteriores.

Análisis hidráulicos más rigurosos, a través de los cuales se represente en mejor forma la dinámica del fluido agua-sedimento y la autorregulación de los caudales en el río, por la variación en la morfología del cauce y de su planicie de inundación, conllevan la necesidad de mediciones y registros periódicos de sedimentos transportados por el río. Tales registros son inexistentes en este caso y, además, su obtención excede el alcance de los estudios contratados. Sin embargo, se considera que los resultados obtenidos por medio del modelo empleado son suficientes para inferir conclusiones con miras a establecer recomendaciones de orden práctico para contrarrestar el fenómeno de inundación. Además, las cotas del nivel de agua generadas con el modelo HEC-RAS deben ser superiores que las obtenibles a través de modelos matemáticos de lecho móvil.

Se acota que en el informe técnico final sobre la delimitación de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental (Estudios y Asesorías Ltda., 1999) se establece que la sección hidráulica de los ríos San Cristóbal y Fucha contiene una creciente de hasta 100 años de período de recurrencia, excepto en los siguientes sectores del río Fucha: 1) entre la desembocadura del canal San Francisco o Boyacá y la Avenida Ciudad de Cali, debido al remanso generado por el puente vial sobre dicha avenida; y, 2) hacia el final del tramo, alrededor de la entrega del Canal de Oriente, cerca de Fontibón, a través de cuyas márgenes se sucede desbordamiento. Los análisis entonces realizados se basan en el método de flujo uniforme de Manning, con coeficientes de fricción variables, entre 0,045 y 0,015, dependiendo del sector en consideración.

6.1 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Para los análisis hidráulicos se efectuaron levantamientos topográficos de detalle de cada uno de los dos sectores, identificados para el efecto como Tramo I y Tramo II, para lo cual se establecieron poligonales abiertas, empleadas como base para el levantamiento por radiación de un sin número de puntos, localizados en y alrededor del cauce, así como en secciones transversales convenientemente localizadas, según las necesidades del proyecto.

Las secciones transversales fueron espaciadas, aproximadamente entre 30m y 100m, dependiendo de la localización específica de cada una de ellas y de las necesidades particulares para los análisis hidráulicos posteriores. En total se levantaron, más o menos, 91 secciones en el Tramo I, del río San Cristóbal, y 72 secciones en el sector del río Fucha o Tramo II; con base en ellas se elaboraron planos topográficos en escala 1:2.500, incluidos como Planos 539-SCR-ACT-O4 y 539-FCH-ACT-O5. Las memorias de cálculo de las poligonales y de coordenadas de los puntos radiados se incluyen como Anexo 3, junto con la descripción de la metodología empleada en los levantamientos.

6.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL TRAMO I: RÍO SAN CRISTÓBAL

En el Tramo I, el río San Cristóbal se puede clasificar como un río de montaña, caracterizado por su pendiente general media mayor de 5,6%, con pendientes medias locales variables entre 3,8% y 7,7% (Anexo 4) y gran rugosidad, debida a la presencia de cantos y bloques de gran tamaño. El régimen de flujo que más se presenta comúnmente en tales circunstancias, con alta rugosidad, es el saltante, caracterizado por el vertido del flujo sobre los elementos rugosos o por su paso entre estos a manera de embudo; el flujo es acelerado a supercrítico y desacelerado posteriormente a subcrítico mediante un resalto hidráulico. Por la relativa alta pendiente, caudales grandes tienden a producir velocidades relativamente altas a bajas profundidades relativas de flujo, de manera que muy fácilmente se pueden producir números de Froude mayores de 1 (Bathurst, et al, 1979).

Hacia el extremo inferior del Tramo I, en cercanías del puente sobre la carrera Séptima, existen varios diques transversales construidos con la finalidad de retener sedimentos transportados por los caudales de creciente, que de otra manera accederían a la porción revestida del canal San Cristóbal después del puente. El efecto de tales diques es altamente favorable, pues se retienen sedimentos, al tiempo que se reduce sustancialmente la capacidad de transporte del río, por disminución local de su pendiente longitudinal.

Con las consideraciones anteriores, se hizo utilización del modelo HEC-RAS con el fin de obtener una aproximación a los niveles de agua en el cauce, para lo cual se seleccionaron 59 secciones transversales convenientemente localizadas para representar al máximo las condiciones reales existentes (Planos 539-SCR-ACT-04). Los resultados de la aplicación del modelo con los caudales de diferentes frecuencias (Tabla 1) permite concluir que la sección hidráulica es adecuada para contener los caudales de 100 y 200 años de período de recurrencia. Caudales extraordinarios de hasta 105,0 m^3/s, con períodos de frecuencia superiores a 1.000 años, pueden producir desbordamientos alrededor de las secciones identificadas con los números 33 y 25, según puede apreciarse en la información gráfica incluida en el Anexo 4.

En dicho anexo se incluyen también los listados de las carreras de computador de aplicación del modelo HEC-RAS y un listado resumen con los valores de caudal, nivel de agua, velocidades y número de Froude. Como puede observarse en esa información, para los caudales de diseño de 100 años de período de recurrencia pueden presentarse velocidades tan altas como 6,2 m/s, con números de Froude de 1,9, flujo evidentemente supercrítico. Alrededor de los puentes existentes se estiman los valores de velocidad consignados en la Tabla 3, valores que se consideran altos y socavantes.

Si bien es cierto que no se producen desbordamientos para una amplia gama de caudales, según lo anotado, es necesario tener en cuenta la ocurrencia del fenómeno de socavación en las orillas, por la alta energía de los flujos de gran caudal, y que los taludes en algunos sectores están afectados por la reptación del suelo y por la presencia de aguas de escorrentía y residuales provenientes de las laderas. Además, es evidente que el cauce está invadido por las viviendas construidas dentro de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental.

TABLA 3. Condiciones hidráulicas estimadas para las secciones bajo los puentes del sector, Tramo I: Cuenca alta del río San Cristóbal. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

PUENTE	T_R (años)	Q (m^3/s)	ELEVACIÓN	V (m/s)
Carrera 8 Este, Inst. Niños Ciegos	100	43,9	2.651,1	3,67
	200	59,1	2.651,4	4,05
	Extraordinaria	135,0	2.652,6	5,34
Carrera 6 Este	100	43,9	2,634,9	4,20
	200	59,1	2.635,3	4,53
	Extraordinaria	135,0	2.636,8	5,45
Carrera 1 Este, Parque 1^0 de Mayo	100	49,3	2.614,0	3,74
	200	65,7	2.614,3	4,17
	Extraordinaria	145,0	2.615,4	5,35
Carrera 7	100	60,5	2.585,1	6,46
	200	78,5	2.585,4	6,63
	Extraordinaria	175,0	2.587,7	6,28

De los análisis hidráulicos realizados se concluye que alrededor de las secciones 37 a 27, entre las cuales existe considerable invasión del cauce y de la zona de ronda, se presentan las condiciones hidráulicas que se muestran en la Tabla 4. Como se aprecia, las velocidades medias de flujo en la sección son relativamente altas, de gran incidencia sobre la socavación de los taludes del cauce en el sector. Se desconocen las condiciones de cimentación de las viviendas allí localizadas, pero puede anticiparse que no deben ser de tipo profundo.

TABLA 4. Condiciones hidráulicas extremas probables entre las secciones con mayor invasión de cauce y zona de ronda, Tramo I: Cuenca alta del río San Cristóbal. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

SECCIÓN	T_R (años)	Q (m^3/s)	ELEVACIÓN	V (m/s)	FROUDE
28	100	49,3	2.644,5	5,3	1,8
	200	65,7	2.643,7	4,1	1,7
	Extraordinario	145,0	2.644,9	4,8	1,7
37	100	43,9	2.666,4	3,4	1,0
	200	59,1	2.666,7	3,7	1,0
	Extraordinario	135,0	2.667,3	5,6	1,3

Los volúmenes de material producto de la erosión lateral del cauce son fácilmente transportados por los flujos de creciente, por lo que no se considera éste como un fenómeno preocupante bajo las condiciones normales del río con su zona de ronda libre. En la actualidad, tal fenómeno es localmente contrarrestado por los residentes invasores con recalces y revestimientos localizados alrededor de sus viviendas, con mayores invasión del cauce y concentración de los flujos, generando entonces velocidades superiores a las normales y, por ende, incrementando la capacidad erosiva de la corriente.

Debido a la erosión lateral de los taludes del cauce, por la gran energía de los flujos de creciente, se impone la necesidad de recuperar totalmente para el río, cuando menos, la zona de ronda establecida en la legislación Distrital vigente. La invasión actual de la zona de ronda, y del cauce en varios sectores, es altamente contraproducente para el adecuado comportamiento hidráulico del río bajo las condiciones de pendiente y la naturaleza misma del río como río de montaña.

6.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL TRAMO II: CUENCA BAJA DEL RÍO FUCHA

En el Tramo II, comprendido desde la Avenida Boyacá hasta la desembocadura en el río Bogotá, el río Fucha es de baja pendiente, con sección natural trapezoidal y realzados sus bordes, prácticamente a todo lo largo, mediante jarillones de material cuya cota de cresta es inexistente por sectores, debido al relleno de la planicie aluvial. La pendiente media del río Fucha en este tramo es de 0,1%.

Entre la Avenida Boyacá y la Avenida Ciudad de Cali es notorio el relleno de los terrenos de la margen izquierda hasta el nivel de cresta del jarillón, los cuales han sido urbanizados, en algunos casos hasta significar la invasión de la zona de ronda; es el caso de los barrios Visión Colombia y El Vergel. La margen derecha hasta la desembocadura del canal San Francisco o canal Boyacá está prácticamente libre de ocupación en una amplia zona, después de la cual existen algunas bodegas con acceso por la avenida Calle 13 o carretera de occidente. Aguas abajo, hasta la avenida Ciudad de Cali, la cota del jarillón coincide con la de los rellenos del sector, estando la zona de ronda ocupada por viviendas de bajas especificaciones, de personas dedicadas al reciclaje de desechos.

Ambas márgenes del río, entre la Avenida Ciudad de Cali y la desembocadura del río Fucha en el Bogotá están, en general, bordeadas por jarillones en buen estado y terrenos dedicados a labores agropecuarias, en especial por la izquierda. En algunos sectores de la margen derecha se han efectuado rellenos hasta el nivel de cresta del jarillón y se han instalado algunas construcciones para bodegas dentro de la zona de ronda; éstas han sido selladas por la Alcaldía Local de Fontibón. Muy cerca de la desembocadura del río, se ha iniciado recientemente la construcción de un futuro gran complejo habitacional de vivienda de interés social, para el cual se prevé la ocupación de zonas húmedas bajas, antiguamente ocupadas por el río.

Excepto por la presencia de los jarillones, el sector desde la Avenida Ciudad de Cali se conserva en su estado natural, afectado sin embargo por la sedimentación favorecida por las bajas pendientes, los remansos producidos por el río Bogotá y las consecuentes bajas velocidades de flujo. El río es en partes meándrico, con ataque erosivo sobre sus márgenes.

Los resultados de los análisis hidráulicos realizados por medio del modelo HEC-RAS demuestran que para caudales extremos de 100 años de período de recurrencia (Tabla 2, numeral 4.2) se suceden inundaciones en varios sectores así:

- Entre la Avenida Boyacá y la Avenida Ciudad de Cali, el río Fucha desborda por la margen izquierda, en los barrios Visión de Colombia, con inicio en el parque, y El Vergel, por los bajos niveles relativos del jarillón y la zona baja del puente peatonal cercano a la Transversal 78. También desborda por la margen derecha, aguas arriba del barrio Paraíso de Bavaria y frente al mismo. En esencia, prácticamente toda la margen izquierda de este sector se inunda, y la margen derecha en la zona occidental del barrio Paraíso de Bavaria. Es decir, la capacidad del cauce, en su condición actual, es insuficiente para contener los caudales de 100 años.

La delimitación de la extensión de la inundación en este primer sector del Tramo II tiene la dificultad de que, a pesar de haber realizado el levantamiento topográfico de secciones transversales extendidas hasta considerable longitud, no es posible establecer una clara diferenciación de cotas, dentro de la unidad geomorfológica allí identificada. Por lo tanto, se complementaron los análisis hidráulicos para determinar el nivel de inundación asumiendo la existencia de un dique a lo largo de la línea de ronda, aproximadamente a 30 m del borde, sin la presencia de las viviendas ubicadas en la zona. También, considerando que el límite de inundación puede ser fijado artificialmente, por la margen izquierda, hasta el extremo de los barrios Visión Colombia y El Vergel, y del barrio El Paraíso de Bavaria, por la derecha.

Según los análisis, en tales condiciones los niveles de la inundación para la condición actual no es diferenciable con los del caso del jarillón localizado a 30 m. Cuando el límite se fija en el extremo de los barrios, los niveles son inferiores a los primeros en 0,30 m para los barrios Visión Colombia y El Paraíso de Bavaria y de 0,10 m para el barrio El Vergel; los niveles de inundación para la condición actual son de 0,70 m, 0,30 m y 0,20 m, respectivamente. Quiere esto decir que los límites de ronda, en términos prácticos, debieran ser mucho más alejados que los propios límites de barrio. En este aspecto hay total coincidencia de criterio entre los

consultores y lo expuesto en el estudio de delimitación de la zona de ronda y zona de manejo y preservación ambiental (Estudios y Asesorías Ltda., 1997). De lo contrario, es indispensable realizar acciones para contrarrestar la gran extensión de la zona de inundación. El plano 539-FCH-AMZ-02 muestra los límites de inundación así definidos.

Con el propósito de evaluar la vulnerabilidad y el riesgo por exposición de este sector en los barrios localizados dentro de las zonas de inundación, se estableció un procedimiento de análisis que permite estimar el nivel que alcanza la inundación dentro de cada barrio por el acceso de las aguas de la onda de creciente a través de las bocacalles de barrio, y de las longitudes de jarillón susceptibles de desborde. Para esto se analiza el desborde por un vertedero lateral con cota del nivel de descarga igual a la del nivel de la creciente, cuyo ancho es igual a la suma de las longitudes anotadas; así, es posible estimar los caudales y los volúmenes unitarios de descarga que inundan un área igual a la de las calles del barrio hasta su extremos 250 m del borde del río. En el Anexo 4 se incluyen las memorias de cálculo correspondientes, con cuya base, para los desbordamientos frente a los barrios referidos y al puente peatonal de la Transversal 78, se estiman los valores que se consignan en la Tabla 5.

Los volúmenes resultantes de los caudales de desborde estimados permanecen en la zona, bien sea en los barrios mismos o las zonas bajas aledañas, las que sirven de amortiguación natural en beneficio de aquellos, por un tiempo igual a la duración de la onda de creciente en el sector, más el tiempo requerido para la evacuación de las aguas vía el sistema de alcantarillado de aguas lluvias (Tabla 5); este tiempo se incrementa en el caso de simultaneidad de la creciente del río con la presencia de lluvias directas en el área. Los estimativos de la inundación por el procedimiento adoptado, el cual se propone como un método sencillo de estimar las condiciones de inundación local por desbordamiento, requieren de las necesarias actividades posteriores de verificación.

TABLA 5. Volúmenes y altura de la lámina de inundación en algunos sectores por desbordamiento del río Fucha. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

SECTOR	DESBORDE, m	CRECIENTE, hr:	CAUDAL, m^3/s	VOLUMEN, m^3	ALTURA LÁMINA, m	INUNDACIÓN, hr.
B. El Vergel	0.77	3,0	0.353	3815	0.12	1.39
		6,0	0.353	7630	0.24	2.77
B. Visión Colombia	0.88	3,0	0.784	8472	0.16	3.20
		6,0	0.784	16945	0.31	6.39
B. Paraíso de Bavaria	0.61	3,0	0.104	1120	0.09	0.90
		6,0	0.104	2240	0.19	1.79

- A partir de la Avenida Ciudad de Cali hasta la desembocadura en el río Bogotá, las inundaciones se suceden por la margen izquierda en la zona baja del

Frigorífico San Martín hasta el Club de Empleados de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP. El límite de la inundación está definido por los niveles de relleno actualmente en curso. Más aguas abajo, desde la Hacienda San Luis hasta la sección 8, aproximadamente a 700 m de la desembocadura, también se suceden inundaciones a lo largo de la margen derecha. Alrededor de estas últimas, las bodegas del parque industrial ocupan actualmente la zona de ronda, hasta el punto que un mojón de la ronda establecida por el Distrito se localiza dentro de una de ellas.

En general, los últimos 700 m del río antes de su desembocadura cuenta con jarillones de muy buena factura y dimensiones que impiden el desbordamiento en este sector. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, la existencia de zonas bajas pantanosas anteriormente ocupadas por el río, las cuales deben ser preservadas por consideraciones ambientales. No obstante, a pesar de su deficiente condición de drenaje superficial e interno, las zonas bajas de la margen derecha están siendo desarrolladas para una urbanización de vivienda de interés social.

Los resultados de los análisis hidráulicos obtenidos por el modelo fueron ajustados para el sector desde la Avenida Ciudad de Cali, con información cartográfica especialmente elaborada para el proyecto por el sistema de ortofotografía, lo que permitió determinar las cotas topográficas en secciones transversales extendidas para mayor definición de los límites de la inundación. Este procedimiento es altamente recomendable, por su efectividad y menor tiempo requerido, para estudios similares, en cualquier zona con información aerofotográfica disponible.

Considerando la ocurrencia de las inundaciones en la forma descrita, se realizaron análisis hidráulicos adicionales con el propósito de evaluar el efecto de diferentes acciones tendientes a mitigar el fenómeno. Para el efecto, se evaluaron las opciones mostradas en la Figura 3, cuya descripción es la siguiente: 1) dragado y reconformación del cauce, para establecer una cota de fondo 0,70 m, aproximadamente, por debajo del nivel actual, estimado como el espesor del sedimento existente; 2) ampliación de la capacidad hidráulica del canal, mediante la construcción de jarillones de baja altura, a unos 30 m, aproximadamente, de cada borde del río y excavación del material de relleno (Qr) y/o de los limos de inundación, en promedio 1,50 m; 3) ampliación de la capacidad, mediante el desplazamiento de los jarillones en longitud de hasta 250 m a partir de su ubicación actual, como complemento de la opción anterior; 4) la prolongación de la canalización del cauce desde la Avenida Boyacá hasta la desembocadura, con sección trapezoidal, revestida en concreto.

La cuarta de las alternativas se evalúa en razón de la información recientemente suministrada por un alto funcionario de la EAAB-ESP en el sentido de que tal obra sería realizada definitivamente en muy corto plazo. La sección empleada en el análisis realizado a través del presente estudio, y que puede no corresponder a la finalmente adoptada para dicho trabajo por la Empresa, tiene un ancho de base variable desde 20 m en el origen, hasta 40 m en la desembocadura, con taludes de 1,5: 1,0, aproximadamente, pues la sección fue localizada directamente gracias a un editor gráfico del modelo HEC-RAS.

A pesar de haber evaluado la opción del dragado, con la cual aún se suceden inundaciones por la izquierda, alrededor del Frigorífico San Martín, y otros sectores de la margen derecha, se considera como no recomendable desde el punto de vista

ambiental, por la necesidad de tratar los lodos del dragado a alto costo y los malos olores que tal actividad ocasiona.

Los resultados de los análisis de la ampliación y reconformación del cauce en aquellas zonas que así lo permiten, por no estar actualmente ocupadas con viviendas o industrias, demuestran la bondad de esta opción, con lo cual se da cabida total a los caudales de diseño de 100 años. Es necesario, sin embargo, el realce del jarillón en algunos pocos sitios.

En todos los casos analizados el flujo es de régimen subcrítico, con bajas velocidades y bajos números de Froude. El Anexo 4 contiene las memorias de cálculo respectivas.

7. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y DE RIESGO

7.1 MARCO CONCEPTUAL

Se entiende por AMENAZA (Portilla, 1.999), el peligro o la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno físico, (natural o antrópico), cuya evaluación implica la delimitación específica de un lugar geográfico donde se pueden manifestar los efectos del fenómeno y un tiempo determinado en el que se espera se materialice la amenaza. La VULNERABILIDAD, se refiere al nivel de incapacidad de un elemento expuesto, de resistir adecuadamente la intensidad del evento amenazante, el cual representa la materialización de la amenaza. La vulnerabilidad se analiza con el propósito de definir el nivel de daño esperado para el elemento expuesto, como consecuencia de su afectación.

Una vez definidos estos dos componentes fundamentales: Amenaza y Vulnerabilidad, mediante su convolución (en su acepción más sencilla: la multiplicación) se podrá entonces calcular el Riesgo, entendido como el nivel de pérdidas esperado para el elemento expuesto. Conociendo el valor del Riesgo específico, de acuerdo a las medidas tanto estructurales como no estructurales que se lleguen a recomendar, los economistas deben realizar el estudio de la viabilidad técnico - económica de su mitigación, teniendo como base, en el análisis de la relación costo/beneficio, el período de vida útil de los elementos expuestos y su valor de reposición.

Todos estos procesos, incluyendo recomendaciones claras, precisas y entendibles, deberán ser comunicadas a los planificadores del desarrollo y del ordenamiento territorial, para que sea la base del análisis en la toma de decisiones finales en cuanto a la apropiación de recursos presupuestales y definición de prioridades en el cronograma de inversiones a realizarse, para una efectiva y coherente mitigación del Riesgo; de tal forma que sea posible evitar la ocurrencia de hechos desastrosos, que conlleven al atraso en el nivel de desarrollo de una región y en el general de un país.

Cuando se hace referencia a la evaluación de la amenaza por inundación su objetivo será la cuantificación de la magnitud de eventos hidrológicos amenazantes que representen potencial de afectación a elementos expuestos y que se presenta con una determinada probabilidad de ocurrencia, en un sitio específico y en un período de tiempo determinado. La zonificación de la amenaza por inundación, se entiende como la de limitación del espacio geográfico hasta donde el nivel del agua de un río desborde y llegue generando interacción con el entorno afectado.

Debido a que los fenómenos hidrológicos naturales, como lo es una inundación, son de naturaleza estocástica, son adecuados para la interpretación estadística y el análisis probabilístico. El parámetro estadístico aplicado a la zonificación de la amenaza por inundación, es el período de retorno (inverso de la frecuencia), entendido como el intervalo promedio de tiempo, medido en años, en el que se espera que un valor determinado de una variable específica sea igualado o excedido.

7.2 METODOLOGÍA

La metodología para la realización de la zonificación de la amenaza por inundación, contempla los siguientes pasos:

1) Selección del tramo de interés.

2) Caracterización geológica y geomorfológica de la cuenca hidrográfica de influencia del tramo de interés.

3) Caracterización geotécnica de la zona de influencia del tramo de interés y de las márgenes del cauce fluvial en el respectivo tramo.

4) Caracterización de la cobertura y uso del suelo, en la zona de influencia del tramo de interés.

5) Caracterización de los procesos antropogénicos en la zona del tramo en interés.

6) Caracterización hidrológica de las cuencas de los tributarios al tramo de interés.

7) Caracterización hidráulica del tramo.

8) Tránsito de crecientes en el tramo de interés.

9) Determinación de niveles máximos a lo largo del tramo para diferentes períodos de retorno.

10) Mapificación de las zonas de amenaza.

En lo referente a la Vulnerabilidad y de acuerdo con los términos de referencia, se harán al nivel de exposición; es decir, elementos expuestos que se hallen dentro del área involucrada de acuerdo a la mapificación de las zonas de amenaza.

Para tipificar las viviendas y poder determinar las consecuencias físicas y económicas asociadas a la probable ocurrencia del evento amenazante, se utilizará el criterio de Leone (UPES-INGEOCIM LTDA, 1998), el cual se resume en la tabla 6.

TABLA 6. Tipificación de viviendas según el criterio de Leone. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

TIPO DE VIVIENDA	DESCRIPCIÓN
B1	Tugurios (ranchos)
B2	Casa en mampostería o prefabricadas
B3	Casas de hasta dos niveles, de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Casas de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura)
* B5	Industriales.

** Modificado para el presente estudio.*

En cuanto al Riesgo, se aclara que técnicamente no es correcto hablar de zonificación de riesgo y menos de categorizarlo en alto, medio y bajo. Esto se hace en la zonificación de la amenaza y tal vez con el grado de exposición de los elementos expuestos (vulnerabilidad); pero cuando se refiere al riesgo, se hace para cuantificar las pérdidas de vidas humanas, bienes y servicios y relaciones socioculturales de una comunidad afectada por un evento amenazante específico.

Por lo tanto, el riesgo se evaluará indicando el área que se verá afectada por la inundación de un determinado período de retorno y la cuantificación areal de elementos expuestos (específicamente construcciones y obras civiles).

7.3 ANÁLISIS DE LA AMENAZA, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO POR INUNDACIÓN

7.3.1 Amenaza. Técnicamente la amenaza por inundación, se define como la probabilidad de que el nivel de la lámina de agua de un río supere el nivel topográfico de sus diques naturales, en un período de tiempo determinado y que se materialice en un espacio geográfico definido (sitio de interés).

Una inundación físicamente se presenta en un espacio geográfico, cuando la cantidad de agua que fluye en una cuenca de drenaje, excede la capacidad de conducción de agua del cauce del río.

En general, para el estudio del mecanismo generador, se deben contemplar el análisis de los siguientes factores:

- Geología. Procesos endogenéticos (estructura interna, litología, estratigrafía); procesos exogenéticos (erosión, transporte y depositación; y por lo tanto la geomorfología).

- **Geotecnia.** Caracterización del comportamiento geomecánico de los materiales térreos involucrados y existentes en la zona de interés y sus alrededores. Igualmente, procesos de meteorización y fenómenos de remoción en masa.

- Hidrología. Volumen de agua generado a partir de las precipitaciones (lluvias), volumen de sedimentos transportado y características del cauce del río.

- **Hidráulica.** Condiciones del flujo y mecánica del transporte.

- **Condiciones Ambientales**. Cobertura y uso del suelo y procesos antrópicos. Mediante un análisis sistémico de estos factores y su evolución temporal, se llega a la determinación de la respuesta del río, que es la que va a definir si se presenta o no la superación del umbral representado por los diques naturales del río.

Para caracterizar la respuesta del río, se deben determinar los siguientes parámetros asociados con la amenaza por inundación.

- **Profundidades del agua.** Por cuanto los elementos expuestos presentan diferentes niveles de tolerancia a la inundación.

- **Duración.** El grado de daño esperado para los elementos expuestos, esta directamente relacionado con el tiempo que dure la inundación. Está última condicionará la seguridad estructural, funcionalidad de los servicios públicos y de las actividades socioeconómicas de la comunidad afectada.

- **Velocidad.** Asociado con el poder erosivo del agua y con la fuerza de impacto sobre el elemento expuesto.

- **Tasa de ascenso del nivel del agua o del caudal.** Este aspecto es fundamental en las etapas de prevención, evacuación y acción durante la presentación del evento amenazante.

- **Frecuencia de ocurrencia y período de retorno.** Es el período de tiempo "promedio" en el que se espera que la intensidad y/o magnitud del evento amenazante sea igualada o superada. Es el parámetro más importante y está definido en términos del nivel o profundidad del agua, la duración de la inundación y la velocidad que alcance el evento amenazante.

- **Características del agua**. Composición física, química y biológico del agua involucrada en la inundación, porque de ello va a depender su interacción con el elemento expuesto.

Para determinar el nivel de amenaza, al cual está expuesto un sitio de interés específico, aquel se debería jerarquizar de acuerdo al rango de probabilidad de

materialización del evento amenazante. Tal probabilidad, al ser función del período de retorno del evento y del período de interés de análisis (normalmente estipulado de acuerdo con el período de vida útil del elemento expuesto), se constituye en el parámetro representativo, teniendo en cuenta además que el Tr esta definido en función de los otros parámetros básicos: nivel de agua, duración de la inundación y velocidad que alcance el evento amenazante.

Teniendo en cuenta, que la expresión que determina la probabilidad de que se tenga por lo menos una vez la ocurrencia de un evento de magnitud y/o intensidad i:

$$P(X_i \geq 1) = 1 - \left[1 - \frac{1}{Tr}\right]^t$$

Donde:

Tr = período de retorno
t = período de interés o de análisis

Asumiendo que Tr = 10, 25, 50 y 100 años y t = 25, 50 y 100 años, se tiene la siguiente Tabla 7.

TABLA 7. Valores de probabilidad para diferentes combinaciones de período de interés y período de retorno. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

t	Tr	P ($X_i \geq 1$)
25	10	0.93
	25	0.64
	50	0.40
	100	0.22
50	10	0.99
	25	0.87
	50	0.64
	100	0.39
100	10	~1
	25	0.98
	50	0.87
	100	0.64

A partir de lo anterior se podría definir una jerarquización del nivel de amenaza, así:

- **Amenaza alta.** Aquel evento amenazante que presente una probabilidad de excedencia P ($X_i \geq 1$) > 0,61.

- **Amenaza media.** Aquel evento amenazante que presente una probabilidad de excedencia P ($X_i \geq 1$) = 0,25 – 0,60.

- **Amenaza baja.** Aquel evento amenazante que presente una probabilidad de excedencia P ($X_i \geq 1$) < 0,25.

Estos tres niveles se toman únicamente por conveniencia para hacerlos compatibles matricialmente con la jerarquización de la vulnerabilidad por exposición y poder calcular coherentemente el riesgo.

No obstante lo anterior, para el presente trabajo y de acuerdo a lo convenido con la Interventoría y el FOPAE, se jerarquizará la amenaza por inundación, teniendo en cuenta el nivel alcanzado por la lámina de agua, la duración de la inundación y la velocidad de la corriente, de la siguiente manera presentada en la Tabla 8.

TABLA 8. Determinación del grado amenaza por inundación. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

Nivel (cm)	Duración (días)	Velocidad (m/s)	Grado de amenaza
<20	0,5	<0,5	Bajo
		0,6 – 1,5	Bajo
		>1,5	Medio
21 – 40	0,6 – 1	<0,5	Medio
		0,6 – 1,5	Medio
		>1,5	Medio
>40	>1	<0,5	Medio
		0,6 – 1,5	Alto
		>1,5	Alto

Los anteriores valores para el nivel, duración y velocidad, fueron obtenidos a través de información personal de expertos en el tema y deben asumirse como una cuantificación de valor lingüísticos.

7.3.2 Vulnerabilidad. Como ya se indicó la vulnerabilidad es función de dos factores: grado de exposición (definido por la distancia del elemento expuesto al paso del evento amenazante) y capacidad de resistencia (características constitutivas del elemento expuesto).

Dado que el alcance del presente trabajo es el análisis de la vulnerabilidad por exposición, se deberían definir los siguientes criterios para la jerarquización del grado de vulnerabilidad:

- **Vulnerabilidad alta.** Los elementos expuestos que se hallen ubicados a una distancia definida por límites de demarcación de la zona de ronda y zona de protección y manejo ambiental (es decir entre 0 y 30 m, desde el borde del canal del río).

- **Vulnerabilidad media.** Los elementos expuestos que se hallen ubicados en la zona comprendida entre el límite externo de la zona de ronda y la zona de protección y manejo ambiental y la línea hasta donde llegaría la inundación cuyo período de retorno Tr=100 años; es decir, entre 30 m desde el borde del canal del río y la distancia correspondiente a Tr = 100 años.

- **Vulnerabilidad baja.** Los elementos que se hallen expuestos en la zona externa del límite hasta donde llegaría la inundación correspondiente a Tr=100 años. Esto es, la zona que posiblemente se llegaría a ver afectada por la materialización de eventos amenazantes con períodos de retorno extraordinario (Tr>100 años).

Necesariamente un análisis completo de la vulnerabilidad tiene que contemplar, igualmente, una jerarquización del grado de vulnerabilidad por resistencia del elemento expuesto y mediante su convolución con la vulnerabilidad por exposición obtener la vulnerabilidad global, con la que se debería operar la amenaza para llegar a calcular el riesgo.

7.3.3 Riesgo. Entendiéndose el riesgo como el valor esperado para las pérdidas por los daños ocurridos en el elemento expuesto, como consecuencia de la probable materialización del evento amenazante (inundación) que afecta al elemento por exposición, al nivel del estudio objeto del contrato, se tendría el riesgo presentado en la Tabla 9.

TABLA 9. Determinación del nivel de riesgo. Zonificación de amenaza por inundación del río Fucha en las localidades de San Cristóbal, Kennedy y Fontibón, FOPAE-HIDROCONSULTA LTDA., 2000.

Amenaza / *Vulnerabilidad*	**Bajo**	**Moderado**	**Alto**
Baja	MB	B	M
Media	B	M	A
Alta	M	A	MA

Donde la calificación de riesgo tiene una interpretación lingüística así:

MB : corresponde al riesgo “el más bajo”
B : el riesgo es “bajo”
M : el riesgo es “medio”
A : el riesgo es “alto”
MA : corresponde al riesgo “el más alto”

7.4 ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN PARA EL CASO DE ESTUDIO

De acuerdo a la metodología para la zonificación de la amenaza, y a partir de los trabajos o pasos metodológicos ya realizados se tienen las siguientes observaciones fundamentales en la obtención de la mapificación:

7.4.1 Tramo de la cuenca media del río San Cristóbal.

1. En lo que corresponde al cauce y al valle de inundación del río, las rocas del sustrato están recubiertas por depósitos no litificados de origen fluviotorrencial, terrazas conos aluviales y masas coluviales inestables.

2. Los depósitos fluviotorrenciales (Qtf), por su naturaleza granulométrica y pendiente topográfica, son de alta permeabilidad y susceptibilidad a la erosión interna y superficial. Además, en su superficie de contacto con las arcillolitas de la Formación Guaduas (de baja permeabilidad), se presentan líneas de flujo de aguas subterráneas, con las respectivas consecuencias geotécnicas: incremento de la presión de poros, incremento del peso unitario del material, ablandamiento y fuerzas de infiltración. Esto conlleva a una disminución de la resistencia al corte del material fluviotorrencial.

   En épocas de lluvia, lo anterior puede dar origen a fenómenos de remoción en masa, que a su vez generarían la obstrucción del cauce y el represamiento del río, dando lugar a la probable ocurrencia de avalanchas.

3. La presencia de fallas locales, da origen a zonas de rocas altamente fracturadas que facilitan la acción de los agentes y procesos de meteorización, que dan lugar a zonas altamente susceptibles a los fenómenos de remoción en masa.

4. En la zona de los tanques de captación y decantación, se presentan fugas de agua, que con el tiempo generarían inestabilidad de los depósitos ni litificados sobre los que están construidos y por lo tanto la probabilidad de avalancha.

5. La cañada que limita al Barrio Los Laureles por su costado sureste, constituye una microcuenca alimentada por aguas subterráneas que afloran por las fisuras de las arcillolitas, que por tal razón se hallan en estado de plastificación y grado de meteorización IV-V (Dearman 1974). "Antes de 1.990 esta cañada era estable y poseía un pequeño lago permanente, actualmente es un deslizamiento importante que genera amenaza por un potencial represamiento del río".

6. De acuerdo a los estudios geológicos y geotécnicos y partiendo desde los tanques de captación y decantación, aguas abajo hasta la carrera 7ª se tienen los siguientes sitios con problemas, que incidirían en la probable generación de avalanchas:

   KM 0+330 A KM 0+450: Sobre la margen izquierda del río San Cristóbal, deslizamiento activo, complejo y retrogresivo que involucra arcillolitas meteorizadas de la Formación Guaduas y materiales fluviotorrenciales.

KM 0+450 A KM 1+100: Inestabilidad de la margen izquierda generada por la saturación y erosión de los materiales por vertimiento de aguas antrópicas (Fotografías 1 y 2).

KM 1+200 A KM 1+230: Margen izquierda del río, hay un deslizamiento activo generado por el vertimiento de aguas antrópicas (Fotografía 3).

KM 1+400 A KM 3+250: En la desembocadura de la quebrada la Pichosa (aguas arriba), otro deslizamiento activo sobre el fluviotorrencial (Fotografía 4). En todo este trayecto se presentan procesos morfodinámicos de erosión hídrica sobre el material del cono aluvial del río San Cristóbal (Qs)

7. Las huellas de las crecientes normales (anuales) alcanzan los 2 m con respecto al nivel actual del agua. Esta observación coincide con la versión del habitante de la casa de los tanques de decantación: "en épocas de lluvias el nivel del agua sube unos 2 a 3 metros, sobrepasando las compuertas de entrada".

7.3.2 Tramo de la Cuenca baja del Río Fucha.

1. Inmediatamente abajo de la Avenida Boyacá, en la salida de las dos alcantarillas de cajón, se aprecian barras de arena y acumulación de residuos sólidos y erosión lateral de la margen derecha del cauce del río Fucha.

2. A 300 m abajo del cruce con la Avenida Boyacá se presentan desprendimientos de cuñas de terreno, que obstruyen el cauce del río.

3. En la confluencia del Canal Boyacá o desembocadura del río San Francisco en el río Fucha se presentan barras de arena en el canal y residuos sólidos.

4. La principal característica morfodinámica de este trayecto es la erosión lateral del cauce del río, además de la socavación alrededor de las pilas de los puentes e inestabilidad geotécnica por sobrecarga generada por los rellenos antrópicos y construcciones de obras civiles.

5. Algunos rellenos en estas obras civiles, como muros de contención, gaviones y tablestacas, se están realizando con materiales de construcción y residuos sólidos, que presentan baja resistencia al corte y en caso de crecientes serían fácilmente removidos, ocasionando obstrucción del cauce y represamientos del río (Fotografía 19).

6. Cruce de la Avenida Ciudad de Cali con el Río Fucha, el puente tiene un gálibo muy reducido (2m), que obstruye el flujo de agua en épocas de crecientes (Fotografía 22).

7. En las cercanías de la confluencia del Río Fucha en el Río Bogotá, según el análisis geomorfológico, el río Fucha muestra que ha tenido migraciones de su cauce: ya que en el pasado estaba un poco más al sur y poseía algunos meandros hoy abandonados y valle de inundación muy amplio" (Ver mapa geológico, Plano 539-FCH-ACT-02.

8. El gálibo del puente sobre el río Fucha, en la entrada al Club del Acueducto, es de 2m. En este sector el Jarillón derecho tiene una altura de 3 a 4 m y el izquierdo 7 m; los 3 m superiores corresponden a relleno con materiales de construcción.

9. En el tramo desde la Avenida Boyacá hasta la Avenida Ciudad de Cali, el nivel de sedimentación es alto en el fondo del cauce; en algunos sitios cerca al puente sobre la Avenida Ciudad de Cali, la sedimentación alcanza los 0,8 m, de acuerdo a lo determinado en los levantamientos topográficos. Lo anterior se explica por el cambio de rugosidad del cauce al pasar de canalizado (menor rugosidad y mayor velocidad de la corriente) a cauce natural (mayor rugosidad y menor velocidad de la corriente).

10. Las huellas de las crecientes normales ("anuales") sobre los bordes de las márgenes del cauce, en este tramo presentan una altura promedio con respecto al nivel actual de la lámina de agua, de 1.5 m. Estas huellas se observan a simple vista en el trayecto entre el puente que da acceso al club de Acueducto hasta la desembocadura del río Fucha en el río Bogotá, donde las crecientes han removido la capa vegetal y han dejado al descubierto el material limo-arcillosos que constituyen las márgenes del río.

    Entre la Avenida Boyacá y el puente de acceso al Club del Acueducto, el nivel de las crecientes normales se detecta por las huellas dejadas sobre la vegetación (impregnación con sedimentos) y cambios en el tipo y estado de la vegetación o por la sedimentación en los bordes del fondo del cauce, que igualmente alcanza los 1,5 - 2,0 m de altura.

11. La altura del puente peatonal de la carrera 77A con calle 16, en el barrio Visión de Colombia, con respecto al nivel de la lámina de agua actual es el indicativo del nivel que alcanza las crecientes de un Tr=5 años, por cuanto, según los habitantes antiguos en esta zona, el río ha sobrepasado el entablado del puente unas tres veces en 17 años, tiempo que llevan viviendo en el barrio. En este mismo período de tiempo el nivel de las aguas del río no ha alcanzado a tocar el entablado del peatonal ubicado inmediatamente aguas arriba, sobre la carrera 76 con calle 14B.

7.5 ANALISIS DE VULNERABILIDAD

En lo referente al análisis de la vulnerabilidad, se hace mención de la problemática existente en los dos tramos de interés y se hace una primera delimitación de las zonas de mayor grado de exposición, localizadas prácticamente sobre la margen del río.

7.5.1 Problemática existente. Las principales razones que generan susceptibilidad a ser afectado por las probables inundaciones se pueden resumir así:

1. Alto índice de ocupación de la zona de ronda y de preservación y manejo del río Fucha (15m y 30m respectivamente, al lado y lado de las márgenes del río).

2. Vertimiento indiscriminado y antitécnico de residuos sólidos y líquidos, producto de la actividad antrópica, que conlleva a la obstrucción del flujo normal del agua y a la inestabilización de las márgenes de su cauce. Este aspecto, además, genera contaminación del agua y deterioro ambiental general.

3. Construcción de obras civiles para el control de la socavación y erosión lateral, que en ocasiones generan la obstrucción del cauce (reducción de su sección transversal).

4. Puentes de poca luz y con estribos dentro del cauce, así como de pilas intermedias, que generan la retención de escombros, la formación de barreras de arena y en general la obstrucción del flujo de agua en el caso de crecientes extremas; como sucede con el puente del cruce de la Avenida Ciudad de Cali.

5. Efecto de remanso en la confluencia de tributarios y en la desembocadura del río Fucha en el río Bogotá. Además del remanso de las aguas, al perder energía se produce la sedimentación y formación de barras de canal, que tienen como último efecto un mayor nivel de la lámina de agua.

7.5.2 Tramo de la cuenca media del Río San Cristóbal.

1. El trayecto comprendido por los barrios: Los Laureles suroriental, La Cecilia y la Gran Colombia, no presentan grado de exposición al río, por cuanto el cauce es profundo, de 5m a 10m, o los barios están retirados de sus márgenes. Los principales problemas son de remoción en masa y vertimiento indiscriminado de aguas antrópicas.

2. En el Barrio Montecarlo, en el trayecto entre la entrada a la Escuela de Logística del Ejército (carrera 14 este) y el Instituto de Niños Ciegos (Carrera 11 este), en una longitud de aproximadamente 300 metros se han construido unas 30 casas de 2-3 pisos (B3) prácticamente sobre el cauce del río San Cristóbal, por la margen izquierda. Las casa son de uso residencial.

3. Desde el Instituto de Niños Ciegos hasta la carrera 6 este (Escuela Distrital Juan XXIII), desde la margen izquierda del río San Cristóbal hasta la calle 12 sur, se han construido alrededor de 40 casas de 4-5 pisos (B4), cuyos muros invaden el cauce del río. El uso de las casas es comercial preferiblemente.

4. En el barrio Santa Ana Sur, las viviendas (B3) ubicadas en el costado norte del río San Cristóbal alrededor de la Carrera 1ª, presentan alto grado de exposición en caso de ocurrir una avalancha, por el recodo que forma el transcurso del río en este sitio.

7.5.3 Tramo de la cuenca baja del río Fucha.

1. El sector comprendido entre la fábrica de Textiles Lafayette y la avenida Ciudad de Cali, que incluye la totalidad del costado norte de los barrios Visión de Colombia y el Vergel, se halla en un alto grado de exposición, desde el borde izquierdo del río Fucha hasta las primeras casas, las cuales reciben el impacto

de la onda de inundación. Las viviendas del barrio Visión de Colombia son del tipo B4; las del barrio el Vergel del tipo B2. Además, estas viviendas están construidas sobre la zona de ronda y ZPMA del río Fucha.

2. El trayecto comprendido entre la transversal 86D y la Avenida Ciudad de Cali, en el barrio el Vergel, sobre la margen derecha del río Fucha, se encuentran seis casas (B2) en alto grado de exposición.

3. En el trayecto comprendido entre el sitio de la antigua estación limnimétrica del acueducto, estación Fontibón, hasta la Transversal 96A con calle 14, en la margen derecha del río Fucha se ha construido una serie de bodegas (B5) dentro de la zona de ronda y ZPMA, por lo que se encuentran en un alto grado de exposición.

4. En el sitio donde se está construyendo la urbanización Sabana Grande, por parte de la compañía Conconcreto S.A., al finalizar el carreteable a unos 5m del jarillón se estaba vertiendo material de relleno, posiblemente para continuar construyendo. Este sitio, como es obvio, se encuentra en un alto nivel de exposición invadiendo la zona de ronda y ZPMA del río Fucha, así como la zona de humedales del mismo río.

7.6 ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

En el caso particular del estudio, y luego de las diversas reuniones con la interventoría y con los funcionarios de la unidad de Riesgo del FOPAE, se determinó que la única zona con posibilidad de riesgo es la comprendida entre la Avenida Boyacá y la Avenida Ciudad de Cali, más específicamente en los barrios Visión de Colombia, El vergel y Paraíso de Bavaria.

7.6.1 Mapa por amenaza de inundación: tramo específico. Se determinaron los siguientes criterios para su determinación: deficiencias de drenaje, que implica mayor duración; la velocidad y el nivel que se alcanzará con la inundación.

Con respecto a la amenaza propiamente dicha para el evento de inundación con probabilidad de una vez en 100 años, en el Plano 539-FCH-AMZ-01, se representan los sectores amenazados y la clasificación por grados e amenaza, según la información contenida en la Tabla 8, así: en el sector comprendido entre la fábrica de textiles Lafayette y la transversal 78, los niveles de inundación serían mayores de 0,40 m, por lo cual la amenaza es de grado alto. La amenaza alta se extiende a lo largo de la calle localizada al extremo de la fábrica, hasta un sitio en el cual se considera que la lámina de inundación inicia su reducción a valores menores de 0,40 m. Posteriormente, la inundación con una lámina entre 0,20 m y 0,40 m se desarrolla a lo largo de las calles que alinderan el barrio, con velocidades estimadas menores de 1,50 m/s, por lo que se clasifica con un grado de amenaza medio.

Tal como se indica en el plano, se sucede un cambio de amenaza alta a amenaza baja, pues a pesar de que el nivel de la lámina de agua, a lo largo de las calles del barrio Visión de Colombia, alcanza valores de 0,40 m, la altura de los andenes con

respecto al nivel de la calle es de 0,15 m y el nivel de las entradas a las casas con respecto al andén es entre 0,10 m y 0,15 m; es decir, la diferencia entre el nivel de agua de inundación y el nivel de entrada a las casas es efectivamente de entre 0,10 m y 0,15 m. Entonces, teniendo en cuenta que la velocidad sería inferior a 1,50 m/s el grado de amenaza es bajo. Además, esta zona de amenaza baja presenta una topografía elevada relativamente con respecto a las zonas aledañas.

El límite entre los varios grados de amenaza es lineal recto, por cuento esa es la forma geométrica de la calles en el sector.

En la margen izquierda aguas abajo de la transversal 78A hasta la carrera 84B, se clasifica la amenaza como de grado alto en razón de que la lámina de inundación sería superior a 0,40 m, la duración de la inundación mayor a un día y la velocidad superior a 0,60 m/s. La topografía en el sector es baja. Por la margen derecha hasta la desembocadura del canal Boyacá, la amenaza se clasifica como media porque la lámina de inundación sería menor de 0,40 m.

Por la margen izquierda, entre la carrera 84B y la avenida Ciudad de Cali, l amenaza se clasifica como media, en razón a que la lámina de inundación sería menor de 0,40 m y por las condiciones locales de drenaje, de mayor permeabilidad que los sectores anteriores, las duraciones de inundación serían entre 0,60 días y un día.

7.6.2 Mapa de Vulnerabilidad: Tramo específico. En cuanto a la vulnerabilidad ante el evento de inundación con período de recurrencia de 100 años, exclusivamente, para las zonas amenazadas se determinó que, por exposición, aquellas construcciones que reciben directamente el impacto del avance de la onda de inundación, sin que haya un trayecto de amortiguación, están en un grado alto de vulnerabilidad. Con un grado medio de vulnerabilidad se clasificaron las zonas protegidas por las construcciones que reciben el impacto directo de la onda y, además, aquellas zonas donde la onda de inundación cuenta con un cierto grado de amortiguación como en el caso de parques y áreas no construidas.

Las zonas de vulnerabilidad baja corresponden a aquellas que se encuentran a suficiente distancia del cauce del río, de tal forma que en caso de presentarse la inundación el nivel de afectación sería muy bajo, bien sea porque están protegidas por áreas libres de construcciones o por las mismas construcciones que recibirían el impacto directo de la onda.

Con los criterios anteriores, el plano 539-FCH-VUL-02 presenta la zonificación de la vulnerabilidad en el sector.

7.6.3 Mapa de Riesgos: Tramo específico. Para la elaboración del mapa de riesgos se utilizó la convolución entre amenaza y vulnerabilidad, utilizando la matriz propuesta anteriormente como Tabla 9. En la zona donde o la amenaza o la vulnerabilidad no existen, el riesgo será nulo.

Realizando la determinación de riesgo, se encontró que no existe el riesgo bajo; sin embargo, debido a que en la zona de parques, aunque la amenaza es alta y la

vulnerabilidad es baja, el riesgo que por la matriz debería ser medio, se degrada a bajo por no existir elementos de primera necesidad expuestos.

Los resultados del análisis de riesgo se presentan en el plano 539-FCH-RSG-01.

8. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

8.1 PREVENCIÓN

Hay varias formas para prevenir la ocurrencia de eventos amenazantes relacionados con la amenaza por inundación, (medidas estructurales y no estructurales); sin embargo, es de aclarar que entre mayor protección se desee, mayor será el costo. Cada método tiene sus beneficios y limitaciones, y en general todos los métodos son costosos. El nivel más común de protección usado es contra los eventos cuyo período de retorno es 100 años.

Dentro de las medidas no estructuras y conociendo la frecuencia de las diferentes descargas y la topografía del área alrededor del río, la extensión de la inundación para el Tr =100 años podrá ser definida, el método más indicado es la delimitación de la llanura de inundación, donde se tendría que restringir la construcción a lo largo del área del río que sería inundado por el evento con período de retorno de 100 años, o el escogido para tal efecto de acuerdo a las características del sito de interés. Características tales como: geología, geomorfología, topografía, comportamiento geomecánico de los materiales térreos del sustrato, cobertura y uso potencial del suelo.

Dentro de las medidas estructurales, uno de los métodos usados, es la canalización, mejorando el canal de la corriente de tal forma que resista grandes descargas sin que se genere el desbordamiento del río. Esto puede ser acompañado por el dragado del canal. El canal también puede ser delimitado por muros de contención en las zonas meandriformes a lo largo de zonas urbanizadas. La canalización, también puede ser acompañada por la construcción de diques más altos que aquellos que el río ha creado naturalmente. Sin embargo, la canalización tiene el inconveniente de restringir el flujo natural del río y puede llevar a que el periodo de retorno del evento de inundación se disminuya a Tr = 50 - 80 años, lo cual induce un mayor nivel de amenaza para el sector canalizado. La canalización, también incrementa la velocidad de la corriente aguas abajo y genera una intensificación del fenómeno de socavación y erosión lateral del cauce, además de los efectos ecológicos tanto aguas arriba como aguas abajo del sector canalizado.

Otra medida estructural para protegerse contra inundaciones, es la construcción de pequeñas represas o diques transversales a lo largo del cauce del río, de tal forma que sirva de colchón de amortiguamiento para el tránsito de crecientes. Sin embargo, en estas obras se genera un proceso de sedimentación y colmatación; estos sedimentos deben ser dragados y servirían en este caso como materiales de construcción al sector afectado.

8.2 MITIGACIÓN

Varios pasos se pueden dar para disminuir los efectos de una inundación que se materialice en un lugar específico, especialmente para mitigar su acción sobre la población humana. El paso más importante es la educación del público acerca de la frecuencia de materialización de la inundación y del peligro al que están expuestos; igualmente importante, es la capacitación de la comunidad para que estén preparados para actuar eficaz y eficientemente en caso de presentarse el evento amenazante (inundación), y, esto se logra mediante la formulación de verdaderos planes de contingencia superando adecuadamente los tradicionales planes de emergencia.

Sin un efectivo plan de educación y capacitación de la comunidad involucrada, esta podrá no dar los pasos adecuados y necesarios para protegerse de tal forma que se minimice al máximo las pérdidas de vidas, número de afectados y daños a sus propiedades y servicios.

Estas últimas medidas de mitigación deben necesariamente generarse en la comunidad ubicada o influenciada en ambos trayectos del río Fucha (cuenca media del río San Cristóbal y cuenca baja del río Fucha).

En general, el éxito efectivo de las medidas de prevención y mitigación, dependen del grado de concertación y legitimación que de ellas se logre con la comunidad afectada. Las leyes de zonificación, deben ir acompañadas por códigos y normas de construcción en los sitios especificados, así como la toma de seguros con Compañías constituidas para tal fin y los incentivos vía reducción de impuestos para aquellos que inviertan en su propia protección y mitigación contra inundaciones.

8.3 TRAMO I: CUENCA ALTA DEL RÍO SAN CRISTÓBAL

A través de los análisis hidráulicos presentados en el numeral 6, se ha demostrado que el fenómeno de inundación es inexistente en el Tramo I, o cuenca alta del río San Cristóbal, inclusive para caudales extraordinarios del orden de 150 m3/s, los cuales superan ampliamente los períodos de recurrencia de uso corriente en el diseño de obras hidráulicas. No obstante, los caudales de creciente correspondientes a frecuencias de 2% y de 1%, por su alta energía, dadas la pendiente y la naturaleza del río en este tramo, se asocian con fenómenos de socavación de los taludes del cauce, que amenazan de manera directa un conjunto de viviendas invasoras del cauce y de la zona de ronda del río. Además, en la porción alta de la cuenca, dentro de la zona de estudio, existen fenómenos potenciales de remoción de masas descritos en los numerales 3 y 5, para los cuales es conveniente establecer, de inmediato, medidas preventivas tendientes a disminuir el riesgo ante posibles deslizamientos incontrolados, con origen en la recarga de aguas provenientes de escorrentía y del vertido de aguas negras locales.

8.3.1 Remoción en masa. Con relación a la eventual remoción en masa del talud izquierdo aguas arriba del barrio Laureles (Plano 539-SCR-ACT-01), como medida preventiva se recomienda realizar la instalación de drenes subsuperficiales, para

aliviar las presiones internas generadas por la sobresaturación actual de la masa, y la construcción de diques transversales en el cauce, acompañados de un muro de contención en gaviones, para permitir el drenaje y, al mismo tiempo, proporcionar la contención general del talud con base en la retención localizada de sedimentos transportados. De otra parte, con base en los prediseños anteriores de obras y medidas para el control de la inestabilidad del barrio Laureles (Consorcio Civiles Ltda. – Hidroconsulta Ltda., 1999), se recomienda la construcción de los diques transversales allí enunciados. Para estos efectos, en el plano 539-SCR-RSG-01 se presentan los esquemas de los diques transversales recomendados, para los cuales se han realizado los ajustes respectivos a los prediseñados contenidos en el estudio anterior.

Las obras para la captación, el manejo y la disposición de las aguas de escorrentía recomendadas en ese entonces (Consorcio Civiles Ltda. – Hidroconsulta Ltda., 1999) deben construirse sin modificación alguna. No así las relacionadas con el manejo, tratamiento primario y disposición de las aguas negras del sector, por cuanto se conoce de la realización reciente de los diseños definitivos y próxima construcción del sistema de alcantarillado para el sector, por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – ESP.

Es conveniente aclarar que el conjunto de estructuras acá recomendadas para establecer en el cauce, principalmente los dos diques localizados más aguas arriba, tienen un carácter preventivo, ya que se hace indispensable efectuar un estudio detallado profundo para controlar el movimiento incipiente de la masa del talud, aparentemente en un equilibrio inestable actualmente.

Además, para el caso de la zona de deslizamiento ubicada en proximidades del barrio Gran Colombia, dada la magnitud de la zona afectada, se prevé que de no acometerse medidas específicas para su manejo y estabilización, puede dar lugar a un evento que afecte las edificaciones cercanas e incluso llegar a obstruir el cauce del río. En la actualidad el sector aparece con grandes deformaciones superficiales a manera de barrigas u ondulaciones y grietas, las cuales se ha generado a raíz del desgarre de la masa inestabilizada. Como detonante del fenómeno y agravante de la situación actual, se tiene la constante presencia de aguas servidas provenientes de las viviendas ubicadas arriba del deslizamiento, las cuales mantienen saturada la masa del deslizamiento, aumentando la sobrecarga y afectando la resistencia del material por reblandecimiento. Esta situación que se da frecuentemente sobre la margen izquierda de la cuenca, especialmente en aquellos tramos donde aflora la unidad geológica definida como depósito fluvio-torrencial Qf.

Para la solución de este fenómeno y el deslizamiento aguas arriba del barrio Laureles, es imprescindible adelantar un estudio de estabilización, el cual debe tener como mínimo el siguiente alcance:

- Exploración geotécnica detallada, determinando la conformación estratigráfica, espesor de la masa deslizada, posición del nivel freático y resistencia de los materiales.
- Caracterización geo-mecánica de los materiales mediante pruebas de laboratorio.

- Levantamiento topográfico de la zona afectada, identificando los principales rasgos de inestabilidad y la ubicación de las viviendas cercanas. Se deberán dejar mojones o referencias para el control del avance del deslizamiento.
- Análisis de estabilidad de la ladera, para la condición actual y la proyectada de acuerdo con las obras para la estabilización. Para tal efecto se deberá tener en cuenta la incidencia de fuertes temporadas de lluvias y la ocurrencia de eventos sísmicos.
- Diseño de las obras y definición de su ubicación en el terreno.

8.3.2 Socavaciones en el cauce. Como quiera que la socavación de los taludes del cauce del río en esta parte alta de la cuenca es un fenómeno natural, dadas su pendiente y su condición de río de montaña, es absolutamente indispensable la recuperación total, dentro del menor plazo posible, del cauce y de la zona de ronda actualmente invadidos, en los sectores indicados en el plano 539-SCR-AMZ-01, so pena de lamentaciones futuras, por la pérdida de vidas humanas y materiales, no deseables.

Las altas velocidades de los flujos de creciente alrededor de los puentes son causa de niveles importantes de socavación de la fundación de estas estructuras, para lo cual se recomienda construir solados de protección del lecho, los cuales deben cubrir toda el área entre los extremos de las aletas de cada puente. Es conveniente, eso sí, considerar solados con menor pendiente que la natural en el sector, dado el incremento de las velocidades de flujo en razón de los menores coeficientes de fricción resultantes, y adecuadas medidas para contrarrestar la socavación aguas abajo del solado. Su construcción requiere del necesario manejo del río. Esta medida es prioritaria para los puentes de la carrera 8 Este, frente al Instituto de Niños Ciegos, y el de la carrera 6 Este; en especial el último.

8.3.3 Medidas no estructurales. Si bien es cierto no es previsible la ocurrencia de inundaciones en esta parte alta de la cuenca del río San Cristóbal, el vertido incontrolado de residuos sólidos al cauce por parte de los residentes de los sectores próximos al río es algo que debe impedirse completamente, para evitar el incremento inconveniente de la carga sólida, cuyo transporte implica el desequilibrio constante, más allá del natural, en las condiciones de transporte de sedimentos por el río. Localmente puede generarse el represamiento de los caudales hasta niveles inadecuados, con desarrollo eventual de pequeñas avalanchas de efecto impredecible sobre la estabilidad de los taludes del cauce. Por lo tanto, se recomienda la realización de campañas educativas permanentes, a través de los colegios y escuelas y de las Juntas de Acción Comunal de la zona.

8.4 TRAMO II: CUENCA BAJA DEL RÍO FUCHA

Los análisis hidráulicos realizados con respecto al río Fucha en su parte baja, desde la Avenida Boyacá hasta su desembocadura, fueron realizados en el entendido de que, por razones ambientales, no se canalizaría el río en este tramo. Como según se ha conocido, la canalización será un hecho en relativo corto plazo, se considera innecesaria la formulación de medidas de mitigación de los fenómenos de inundación, los cuales deberán ser solucionados en su totalidad con la canalización prevista. Se hace referencia, sin embargo, a la necesidad de recuperar totalmente y

en breve plazo, las zonas de ronda del río actualmente invadidas. Además, es conveniente que por razones ambientales se impida la ocupación para vivienda, como actualmente procede, de las zonas bajas del río localizadas en cercanías de la desembocadura del río Fucha en el Bogotá.

La canalización prevista debe conllevar las necesarias consideraciones hidráulicas para el diseño de nuevos puentes peatonales y viales, en sitios donde los actuales generan obstrucciones inconvenientes a los flujos de creciente y, por la tanto, favorecen la inundación de varios sectores, principalmente los localizados aguas arriba de la Avenida Ciudad de Cali.

Mientras se realiza la referida canalización del río Fucha, como medida preventiva mitigante de probables inundaciones de los barrios El Vergel, Visión de Colombia y Paraíso de Bavaria, se deben realzar un metro los jarillones allí localizados. Para los dos primeros barrios se tiene una longitud total de 650m; para el Paraíso de Bavaria una longitud de 190m.

9. REFERENCIAS

Bathurst, J. C., R.M. Li and D.B. Simons, " Hydraulics of Mountain Rivers", Colorado State University Experiment Station, Engineering Research Center, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, May, 1979.

Chow, V.T., "Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins", University of Illionois Engg. Exp. Station, Bulletin 462, Champaign – Urbana, 1962.

ESTUDIOS Y ASESORÍAS LTDA., "Delimitación de la zona de ronda y de manejo y preservación ambiental de los ríos Tunjuelo, Fucha y Salitre", Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Santa Fe de Bogotá, 1997.

Grigg, N.S., Doesken, N. J., et al, "Fort Collins Flood 1997: Comprehensive view of an extreme event", Jour. Water Resour. Plng. And Mgmnt, ASCE, Vol. 125, No. 5, September/October, 1999.

Grimm, M, "Floodplain Management", Civil Engineering, ASCE, March, 1998.

HIDROESTUDIOS S.A. – BLACK AND VEATCH Int., "Proyecto Río Bogotá", Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Santa Fe de Bogotá, 1984.

HIDROTEC LTDA., "Diseños conceptuales de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial del sector occidental de la ciudad", Informe Final, Tomo 1 de 2, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Santa Fe de Bogotá, EAAB, junio, 1998.

IDEA-UN, "Agenda local ambiental, Localidad 9, Fontibón", Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, DAMA, Instituto de Estudios

Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., julio,1993.

IGAC, “Planchas 246-II-B-2, 247-I-A-1, 247-I-A-3, Esc.:1:10.000, Fotografías 1985, 1987”, Santa Fe de Bogotá, 1989.

IGAC, “Planchas 227-II-B-2, 227-IV-D-1, Esc.:1:10.000, Fotografías 1985, 1987”, Santa Fe de Bogotá, 1989.

IGAC, “Plancha 247, Esc.:1:100.000, Fotografías 1975”, Santa Fe de Bogotá, 1990.

INGEOCIM LTDA., “Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá”. 1997.

INGETEC S.A., “Zonificación de riesgos por inundación, Localidad de Fontibón, Margen izquierda del río Bogotá”, Unidad de Prevención y Atención de Emergencias, UPES – Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias, FOPAE, Santa Fe de Bogotá, D.C., febrero de 1999.

IRH LTDA., “Estudio para el análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá”, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Santa Fe de Bogotá, 1995.

Portilla G., M. E., “Evaluación de la amenaza por deslizamiento en Málaga, Santander, aplicando la metodología de los conjuntos difusos: un tema de geología ambiental” – Geología Colombiana, 24, Pgs 159-176. Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, Noviembre 1999.

Salas, J. D., J. W. Delleur, V. Yevjevich and W.L. Lane, “Applied modeling of hydrologic time series”, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 80161, USA, 1980.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, “HEC-RAS, River Analysis System”, User´s Manual, versión 2,2, Hydrologic Engineering Center, september, 1998.

Santafé de Bogotá, 12 de abril de 2000.