CLASIFICADO

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.

Fondo de Prevención
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ESTUDIOS Y ASESORIAS
LTDA BOGOTÁ,COLOMBIA

ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL SECTOR NORTE DE LA LOCALIDAD DE SUBA

INFORME FINAL, RESUMEN EJECUTIVO

MAYO DE 1999

UPES-FOPAE

CONTRATO DE CONSULTORIA No G-898-122/98

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL SECTOR NORTE DE LA LOCALIDAD DE SUBA

INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

ESTUDIOS Y ASESORÍAS
Ingenieros Consultores Ltda.

Santafé de Bogotá, Mayo de 1999

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL SECTOR NORTE DE LA LOCALIDAD DE SUBA

INFORME EJECUTIVO

CONTENIDO

1. INTRODUCCION 3

1.1 ANTECEDENTES 3
1.2 OBJETIVOS 3
1.3 METODOLOGIA DEL ESTUDIO 4

2. ESTUDIOS BASICOS 6

2.1 GENERALIDADES 6
2.2 GEOLOGIA 7
2.3 GEOMORFOLOGIA 8
2.4 HIDROLOGIA 10
2.5 HIDRAULICA 10
2.6 GEOTECNIA 15

3. ZONIFICACION DE AMENAZAS POR INUNDACION 17

3.1 CRITERIOS DE ZONIFICACION 17
3.2 AMENAZA 17
3.3 CRITERIO HIDROLOGICO 17
3.4 CRITERIO GEOMORFOLOGICO 18
3.5 CRITERIOS DE INTENSIDAD DE LA AMENAZA 18
3.6 DETERMINACION DE AMENAZA EN LA LOCALIDAD DE SUBA 19

4. EVALUACION DE MITIGABILIDAD 20

4.1 MEDIDAS ESTRUCTURALES 20
4.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES 20
4.3 RECOMENDACIONES 21

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Columna Estratigráfica Generalizada del Área
Tabla 2. Sistema de Drenaje del Río Bogotá.
Tabla 3. Caudales y Niveles Máximos del Río Bogotá-Avenida de 10 años
Tabla 4. Caudales y Niveles Máximos del Río Bogotá-Avenida de 100 años
Tabla 5. Listado de Sectores Críticos Según el Abscisado del Río Bogotá
Tabla 6. Niveles y caudales en el canal Guaymaral

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio. Localización de estaciones hidrométricas.
Figura 2. Perfil Río Bogotá. Sector Conejera - Canal Guaymaral. Condición del flujo.

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL SECTOR NORTE DE LA LOCALIDAD DE SUBA

INFORME FINAL EJECUTIVO

1. INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

El Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias de Santafé de Bogotá - FOPAE, a través de la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias-UPES, contrató a ESTUDIOS Y ASESORIAS Ingenieros Consultores Ltda., para elaborar el Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en el Sector Norte de la Localidad de Suba.

El presente informe contiene la información mas relevante del informe final que se ha entregado por separado, asi como las principales conclusiones y recomendaciones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del estudio es la revisión y actualización de la información hidrológica, hidráulica, geológica, geomorfológica y de dinámica fluvial del río Bogotá y del canal de Torca, en el sector norte de la localidad de Suba, al norte de la coordenada 118,000 N, del catastro de Bogotá y entre la autopista norte y el río Bogotá, para determinar las zonas de amenaza por inundación y proponer las medidas para prevenir y mitigar sus efectos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificación y caracterización de aspectos hidrológicos del área de estudio.
- Análisis de características hidráulicas del río Bogotá y el canal de Torca o Guaymaral.
- Preparar un plano geológico y geomorfológico del área.
- Definir y delimitar zonas de amenaza por inundación por desbordamiento del río Bogotá y del canal de Torca en el área.
- Determinar y evaluar diferentes alternativas de prevención y mitigación del fenómeno.

1.3 METODOLOGIA DEL ESTUDIO

1.3.1 RECOPILACION Y ANALISIS DE INFORMACIÓN

Se consultó la información cartográfica y bibliográfica disponible en los archivos técnicos de la UPES, del DANE y del IGAC.

1.3.2 TOPOGRAFÍA

Se recopiló la información más actualizada disponible sobre secciones transversales del río Bogotá y del canal de Torca. Estos levantamientos, disponibles en estudios anteriores, sirvieron para realizar los cálculos hidráulicos necesarios para determinar los niveles de inundación en el sector de estudio. Además de esto, los Consultores levantaron en campo algunas secciones adicionales, las cuales sirvieron para verificación de los niveles en las vecindades de los cauces, dado que la información topográfica no es muy completa.

1.3.3 HIDROMETEOROLOGIA

Se establecieron las condiciones de distribución, extensión, estacionalidad, frecuencia, duración e intensidad de la precipitación en el área de estudio, mediante los análisis de la información hidrometeorológica disponible en las estaciones operadas por la CAR y la EAAB. Se utilizó principalmente la información secundaria de estudios anteriores, como los ya citados.

El estudio realizado por Hidroestudios Ltda - Black & Veatch, sirvió de base para determinar la recurrencia de los niveles, caudales medios y máximos, eventos históricos extraordinarios, etc. La generación de caudales extremos se revisó y evaluó aplicando métodos hidrológicos, estadísticos y sintéticos, así como hidrogramas para periodos de recurrencia de 10 y 100 años. Estos periodos de recurrencia se definiron como límite para la zonificación de amenaza.

1.3.4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Se elaboraron planos geológicos, geomorfológicos y de dinámica fluvial, con base en la fotointerpretación de vuelos históricos y la comprobación de campo. Estos planos fueron definitivos en la zonificación de amenaza por inundación, al marcar los niveles de divagación de las corrientes y niveles de terraza de la planicie aluvial, que constituyen un control a la expansión del flujo en evento de avenidas.

1.3.5 ANÁLISIS HIDRÁULICO

Se estudió el comportamiento hidráulico del sistema río Bogotá - Canal Guaymaral - Río Frío - Humedal de La Conejera, partiendo de los caudales y niveles calculados en los estudios anteriores, que comprenden la totalidad de la cuenca del río Bogotá, y se comprobaron con cálculos específicos para las estaciones de La Balsa y Vuelta Grande, sobre el río Bogotá, y corridas del programa HEC-RAS para todos los sectores de interés.

1.3.6 GEOTÉCNIA Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se identificaron y describieron los procesos que actualmente están modificando los jarillones para control del río Bogotá en la zona de estudio, marcando puntos críticos y agentes que inciden directamente en estos; se plantearon algunas soluciones y recomendaciones que favorezcan el funcionamiento de los jarillones y los sistemas de drenaje pluvial de la localidad.

1.3.7 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN

Se identificó la probabilidad de ocurrencia de los eventos hidrológicos causantes de amenaza por inundación, específicamente para eventos de 10 y 100 años de periodo de recurrencia; se delimitaron las extensiones de las áreas involucradas, correlacionando los niveles de análisis : Alto, Medio y Bajo, con líneas específicas de inundación menores de 10 años, entre 10 y 100 años y mayores de 100 años, respectivamente. Se analizaron y compatibilizaron los criterios hidrológicos y geomorfológicos y se estudiaron algunos criterios de severidad de la amenaza a fin de subdividir las zonas de amenaza alta y media de acuerdo con el criterio de intensidad.

Se investigaron las lluvias locales como fenómeno que coadyuva a la severidad de la amenaza, pero se concluyó que no hay diferencia desde el punto de vista de la zonificación, excepto tal vez en áreas no inundables normalmente por los ríos, donde no hay alcantarillados o los alcantarillados son deficientes. Se concluyó que el nivel de información requerido para estudios de anegamiento por deficiencia en los alcantarillados locales es demasiado detallado para poderlo incluir en el estudio que se adelantó, dado que no existe información topográfica suficientemente precisa para este tipo de análisis y dado que los daños esperados por este tipo de fenómeno son de una naturaleza y magnitud muy diferente a la esperada para fenómenos de inundación causados por flujos de avenida en los ríos principales del sistema.

1.3.8 MITIGACIÓN DE AMENAZAS

Se establecieron las políticas generales de manejo de amenaza por inundación, tanto de tipo estructural como de tipo no-estructural, específicamente apropiadas para el sector de estudio. Se concluyó que las entidades de control han realizado varios estudios y diseños de mejoramiento del canal principal del río Bogotá y que nunca los han ejecutado porque hay un consenso entre esas entidades y sus Consultores respecto a que cualquier intento de mitigación tendría poco impacto en esta localidad, pero en cambio podría incrementar gravemente la amenaza en la zona más densamente poblada del suroccidente de Bogotá. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-ESP, EAAB está adelantando dentro de su programa Santafe I los diseños definitivos de mejoramiento del alcantarillado urbano en la cuenca de Torca y especialmente de los Canales Torca y Guaymaral; estos trabajos mucho más detallados y están a pocos meses de convertirse en realidad, por lo que deben ser los que se utilicen para mitigación de amenaza de tipo estructural en esta zona. Finalmente se discuten las características de un plan de manejo de emergencias de inundación a nivel de zonificación y planeamiento urbano.

2. ESTUDIOS BASICOS

2.1 GENERALIDADES

La localidad de Suba ocupa el extremo noroccidental del Distrito Capital, en una extensión de 4.372,23 Has, de las cuales se han desarrollado 2.901,90 Has. Sus límites son : por el norte, hasta el Mpio. de Chía y su prolongación en el río Bogotá; por el sur, con la Calle 100 y el río Juan Amarillo; por el occidente con el río Bogotá y por el oriente, con la Autopista Norte. Su altura promedio sobre el nivel del mar es de 2.615 m y su centro urbano se encuentra hacia la ladera occidental del cerro de Suba. El presente estudio corresponde a la zona norte de la localidad, de la coordenada 118.000N del sistema Catastral de Bogotá, hacia el norte. (Fig. 1).

2.1.1 DEMOGRAFIA

Según el DANE, (1993), la localidad tenía una población de 563.625 habitantes. Para el censo de 1985 se calculaba una población en condiciones de pobreza del 22.5% y en miseria absoluta del 5.6%; esta población en su gran mayoría está ubicada al occidente de la localidad, contra el río Bogotá. La división territorial de Suba comprende unas áreas definidas como urbanas, donde el estrato oscila de 1 a 6; áreas suburbanas, (Guaymaral), con actividades institucionales y recreativas), y áreas rurales y zonas de reserva agrícola.

2.1.2 SALUD

La primera causa de morbilidad reportada es la infección respiratoria aguda, a consecuencia de la contaminación ambiental. Entre las principales causas de mortalidad se reportan las lesiones accidentales o intencionales, los homicidios y los accidentes de tránsito. El Sistema Local de Salud, SILOS, es la organización administrativa de planeación y control de la salud, que coordina las diferentes unidades de atención para la localidad, según la siguiente estructura :

- Centro de Atención Médica - Inmediata (CAMI).
- Unidad Primaria de Atención (UPA).
- Unidad Básica de Atención (UBA).

Dentro del recurso institucional es importante resaltar la existencia de la Clínica Shaio de carácter privado, y especializada en cardiología; la Clínica Fray Bartolomé de las Casas, para empleados del Distrito Capital, y la Clínica Juan N. Corpas con su facultad de medicina.

2.1.3 EDUCACIÓN

Suba cuenta con 321 establecimientos educativos, de los cuales el 71% son privados y el 29% son oficiales. Para educación primaria se encuentran 34 escuelas y para educación secundaria 11 colegios oficiales. Se encuentran cerca de 17 colegios de carácter privado que ofrecen educación desde preescolar hasta secundaria. A nivel de educación superior, se encuentra la Universidad Escuela de Medicina Juan N. Corpas y la Escuela de Ingeniería. A nivel técnico profesional se encuentra la Fundación Luis Amigó de carácter privado, y en capacitación laboral, microempresarial, artesanal y de educación comunitaria se cuenta con el SENA.

2.1.4 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La actividad económica se divide en comercial, (52.3 %), Servicios, (32.5 %), Industria (incluye agro industrial), (2.8 %), y Otros, (2.4 %).

2.2 GEOLOGIA

2.2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio se encuentra en la Cordillera Oriental, la principal unidad física del Oriente Andino; su diferencia con las otras cordilleras radica en la presencia de enormes depósitos sedimentarios de tipo marino y continental, producto de las diferentes fases del ciclo andino oriental, comenzando en la fase de inmersión total de la cordillera bajo el mar, con depositación de gran cantidad de sedimentos marinos, (Cretácico-Eoceno); fase de pre-emersión del Terciario Superior, o de retiro del mar hacia el norte, a la que sucedieron eventos tectónicos que dieron origen al levantamiento de la cordillera y a una intensa erosión de carácter continental a finales del Terciario, terminando con la fase de nuevos periodos de erosión y depositación continental y lacustre del Cuaternario. La estratigrafía incluye capas de cenizas volcánicas de la Cordillera Central y de los focos volcánicos ubicados en Boyacá.

2.2.2 ESTRATIGRAFÍA

En cercanías de Suba afloran rocas cuyas edades van desde el Cretácico Superior, con las rocas competentes que forman los cerros de Suba, hasta los depósitos recientes, no consolidados, que rellenan la Sabana. Dentro de las rocas sedimentarias más antiguas expuestas en superficie se tienen las del Grupo Guadalupe, constituido por las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna; y Las Formaciones Guaduas, Arenisca del Cacho, Bogotá, Arenisca de la Regadera, y Usme.

Tabla 1. Columna Estratigráfica Generalizada del Area[1]

UNIDAD	EDAD	ESPESOR	LITOLOGÍA	AMBIENTE	CORRELACIÓN
Rellenos (Mr)	Actual	Variable	Desechos de construcción, residuos industriales, basuras, que rellenan bajos inundable, y cauces aluviales	Actividad Antrópica	-
Aluvión (Qal)	Holoceno	Variable	Riberas de ríos y quebradas de la parte plana, cantos, limo y arcilla, generalmente en zonas inundables	Piedemonte y planicie	-
Formación Chía (Qch)	Holoceno	1a 2 m	Depósitos paludales de arcillas de inundación en áreas pantanosas,	Lagunar paludal lacustre	Aluvión
Formación Sabana (Qs)	Plioceno-Pleistoceno Holoceno	Máximo 320 m en Funza	Capas poco consolidadas de arcillas plásticas gris y verde, lentes y capas de arcilla turbosa, turba, limo, arena fina a gruesa, arcilla, restos de madera, capas de diatomita y ceniza volcánica	Lacustre	Sogamoso
Formación Tilatá (Qt)	Plioceno	100 a 300 m	Gravas y gravilla fina, arena, limo arcilla, turba, y numerosos niveles de piroclastos finos en capas lenticulares, poco consolidadas	Continental, transicional	Depósitos Aluviales

2.2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Sabana de Bogotá es una cuenca intra-continental de fracturas, deformada por cabalgamiento y plegamiento cordillerano, con influencia menor de diapiros salinos; forma un sinclinorio de rumbo NE, limitado al oriente y occidente por fallas de cabalgamiento de alto ángulo.

[1] La relación estratigráfica de la tabla se representa en el plano geológico contenido en el informe principal.

En el caso particular del norte de Bogotá, la serranía que bordea la ciudad por el oriente es el anticlinal de Bogotá-Usaquén, debajo de la ciudad se encuentra el sinclinal de Bogotá, continuación norte del sinclinal de Usme y el cerro de Suba, que forma una estructura anticlinal fallada..

2.3 GEOMORFOLOGIA

Las diferentes geoformas presentes en el área del valle aluvial del río Bogotá y zonas aledañas a la localidad de Suba, son el resultado no sólo del tipo de roca sino también de los eventos tectónicos y de los fenómenos erosivos que han actuado en el pasado.

2.3.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Desde el punto de vista morfológico y teniendo en cuenta los procesos modulares del paisaje, regionalmente en la Sabana de Bogotá se presentan seis unidades geomorfológicas.

Zona Geomorfológica 1 : Presenta una morfología abrupta y en algunos sectores escarpada como consecuencia del predominio de niveles arenosos. Los cerros de Suba presentan alternancia de niveles blandos importantes y generan una geomorfología escalonada. La pendiente varía entre 20 y 70 grados. Dada la importancia industrial de las rocas que afloran en esta zona, allí se han ubicado algunas canteras, donde se han generado fenómenos de remoción en masa.

Zona Geomorfológica 2 : Corresponde al piedemonte en los cerros de Suba, donde afloran depósitos de coluvión y torrenciales, cuya pendiente varía entre 5 y 10 grados. Esta zona presenta precarias condiciones de estabilidad, en algunos sectores con reptación.

Zona Geomorfológica 3 : Corresponde a la terraza alta y presenta una topografía plana a ligeramente ondulada y disectada tanto por el río Bogotá, como por sus afluentes. En general presenta suelos blandos muy compresibles y de baja resistencia.

Zona Geomorfológica 4 : Comprende las terrazas bajas de morfología principalmente plana, sin evidencias importantes de disección. Se encuentran principalmente al sur del área y en la cuenca del canal de Torca y representan la reactivación de las cuencas del río Bogotá y sus tributarios, donde la migración de cauces y erosión lateral han destruido parte esta unidad.

Zona Geomorfológica 5 : Comprende la parte más baja e incluye la llanura aluvial y lacustre de los ríos Bogotá, Juan Amarillo y Frío y se caracteriza por ser completamente plana. Presenta principalmente material lacustre, donde varios sectores están siendo cubiertos por rellenos sanitarios. Esta zona no presenta grandes procesos erosivos; sin embargo, es propensa a ser inundada por desborde; permanece inundada o como pantano.

2.3.1.1 ZONAS HOMOGENEAS

El proceso de recopilación de información, fotointerpretación, la investigación de campo en aspectos geológicos, estructurales, geomorfológicos y topográficos conlleva a una separación de zonas con características similares denominados zonas homogéneas, las cuales se definen como un área con propiedades y comportamiento de estabilidad similares.

Zona corregida de los ríos Bogotá, Torca, Frío y Juan Amarillo, Zona homogenea 1 : Corresponde al sector topográficamente plano y con predominio de puntos con alta humedad. Es una zona de susceptibilidad alta a la inundación.

Zona de terraza baja, Zona homogenea II: Está dominada básicamente por sedimentos aluviales principalmente asociados a depósitos aluviales bajos del río Juan Amarillo en sectores hoy altamente urbanizados. Zona de susceptibilidad media a la inundación.

Zona de terraza Alta, Zona homogénea III: Conformada por las formaciones Tilatá y Sabana sin diferenciar, donde la susceptibilidad a la inundación es muy baja a nula.

Zona estructural plegada, Zona homogénea IV: Conformada por la Serranía de Suba, zona Colinada no inundable.

2.3.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE PAISAJE

Se delimitaron dos unidades morfológicas principales : La Serranía de Suba y la planicie de la Sabana de Bogotá. La primera corresponde es una unidad Colinada Estructural Plegada, y la segunda una unidad de tipo Agradacional, donde se incluye el relleno lacustre de la Sabana y los depósitos de pendiente tipo coluvión, sobre las laderas de la Serranía. Estas unidades se han delimitado en el plano geomorfológico del informe principal.

2.3.3 SECTORIZACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ

Con base en las características geomorfológicas regionales del valle aluvial del río Bogotá desde el puente del Común hasta Alicahín, el valle aluvial del río Bogotá se puede dividir morfológicamente en tres segmentos; la localidad de Suba se encuentra en el sector alto.

- ***Sector Alto***

Desde el puente del común hasta la carretera central de occidente, el río presenta un valle de cerca de 1 km. de ancho promedio, bien definido entre la terraza alta, que lo limita a ambos lados. El río Bogotá desarrolló allí su cauce, dando origen a formas meándricas angulares muy agudas. Se presenta dentro del valle una alternancia de llanuras aluviales antiguas de inundación y llanuras de inundación activas, haciéndose estas últimas más frecuentes en dirección aguas abajo. Los afluentes de la vertiente occidental: ríos Frío y Chicú, que drenan parcialmente el valle de Tenjo, Cucua, Palo Blanco y Pantano tres Esquinas. De la vertiente oriental desembocan el río Juan amarillo y el canal de Torca.

- ***Sector Medio***

De la carretera central de occidente a la unión del R. Subachoque; desaparece el confinamiento lateral de la terraza alta, al entrar en una zona amplia en que predomina la llanura aluvial y las zonas de inundación activas en una franja que sobrepasa los 6 km. de ancho. El desarrollo del cauce muestra formas meandrinosas homogéneas y circulares, siguiendo una orientación mas constante que en el segmento anterior. Por el costado oriental existe control por la prolongación del cono del Tunjuelo, mientras que al oeste la llanura aluvial, esporádicamente inundable, se prolonga a lo largo del río Subachoque hasta la laguna de la Herrera.

- ***Sector Bajo***

Esta comprendido entre la desembocadura del río Subachoque o Balsillas y la compuerta de Alicachín; en este sector se nota nuevamente el valle como unidad geomorfológica, excavado en la terraza, que a su vez disminuye su extensión debido al cierre paulatino de la estructura conformada por el basamento de rocas. El cauce tiene en este trayecto las mismas características de angulosidad e irregularidad de las formas meandrinosas observadas en el sector alto, en un valle que tiene un ancho medio de unos 7.000 metros. Se presenta una serie de cerros testigos aguas arriba de Pte. Canoas, que controlan la trayectoria del río.

2.4 HIDROLOGIA

La zona de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del río Bogotá, uno de los afluentes principales del río Magdalena en Colombia. La cuenca, de 5955 Km^2, discurre en su porción media sobre una extensa Sabana a 2600 msnm. La especial morfología de la altiplanicie Andina divide en dos su cuenca hidrográfica mediante la barrera de Alicachín : una parte alta, de 4341 Km^2 hasta el Salto del Tequendama, con una zona montañosa de unos 3031 Km^2, y un valle aluvial muy uniforme y plano de 1280 Km^2, (la Sabana de Bogotá); más una parte baja de 1614 Km^2, hasta su desembocadura en el río Magdalena.

2.4.1 REGIMEN DE PRECIPITACION

La zona de interés tiene clima húmedo tropical, con una distribución temporal del régimen de lluvias de tipo bimodal, que presenta dos periodos de invierno bien marcados en los meses de abril a mayo, y octubre a noviembre. El análisis del régimen pluviométrico de la zona se basó en la revisión del registro histórico de 2 estaciones dentro de la zona de estudio y 5 muy cercanas, (Figura 1). La precipitación mensual de la estación Aeropuerto Guaymaral, que representa el comportamiento general de las lluvias en la zona de estudio, registra valores de 762 mm/año, con valores mensuales desde 0 mm hasta 258 mm. El comportamiento regional de la precipitación se analizó mediante el método de las Isoyetas, y la precipitación total se calculó por construcción de los polígonos de Thiessen.

2.4.2 PRECIPITACION MÁXIMA EN 24 HORAS

Para cada una de las estaciones se realizó un análisis de frecuencias de precipitación máxima en 24 horas, a fin de determinar valores para diferentes periodos de retorno. Con los valores obtenidos para 10 y 100 años se determinaron las isoyetas de precipitación máxima en 24 horas que muestran una correlación adecuada con los datos de la zonificación de precipitación generada en el Estudio de Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá, realizado por la firma consultora Ingeniería y Recursos Hídricos IRH, para la EAAB, en 1994. En general esta zona tiene una precipitación de tipo medio a alto con respecto al resto de la Sabana, y de acuerdo con el estudio de IHR Ltda., se encuentra localizada casi en su totalidad en la zona pluviográfica dos, para la cual se encontraron las curvas de intensidad-duración-frecuencia

2.5 HIDRAULICA

2.5.1 EL SISTEMA DE DRENAJE DEL RIO BOGOTA

El río Bogotá bordea la zona de estudio en su extremo occidental, en una longitud de 31 Km. y con una pendiente promedio de $8x10^{-3}$. La cuenca del río Bogotá cuenta con 4341 Km^2 de área, hasta el Salto del Tequendama, de los cuales 2060 Km^2 corresponden al área de la cuenca hasta el Puente de la Balsa, dentro de la zona de estudio. En este sitio se encuentra ubicada la estación fluviográfica La Balsa, de la CAR, cuyo registro de 56 años se utilizó para el análisis de frecuencias de caudales máximos en el río. El caudal promedio es de 13 m^3/s, lo que indica que el rendimiento hídrico aproximado hasta este punto es de 6.31 Lps/Km^2.

La red hidrográfica incluye el río Bogotá y las quebradas de Torca y La Conejera. La quebrada de Torca, o Guaymaral, corre paralela a la Autopista Norte y drena el extremo norte hacia el río Bogotá, a la altura de Chía; esta corriente, así como su sistema tributario de zanjas y vallados, recibe vertimientos de aguas negras de los sectores aledaños. Al sur de la carretera al aeropuerto de Guaymaral, al oeste del perímetro urbano, se encuentra la Chucua de Guaymaral, la cual prácticamente ha desaparecido por procesos de rellenos.

El canal de La Conejera corre a lo largo de la calle 153, desde el cerro de La Conejera hasta el río Bogotá y drena el sector sur de la cuenca del mismo nombre. En la actualidad ha sido cubierto en gran parte por rellenos destinados al loteo para vivienda. De esta cuenca forma parte la Chucua de La Conejera, la cual ha sido también parcialmente rellenada y corresponde a la zona más baja y pantanosa, al noroccidente de Suba.

Tabla 2. Sistema de Drenaje del Río Bogotá (*)

AFLUENTE	PENDIENTE R. BOGOTA	ABSCISA R. BOGOTA	COTA (msnm) CONFLUENCIA	COTA (msnm) R. BOGOTA	Q medio (mcs)
Puente. Del Común	0.0000875	K81+825	---------	2571.56	11.0
Canal Torca	0.0000875	K73+100	2572.00	2570.43	4.0
Río Frío	0.0000875	K65+990	2570.20	2569.50	10.0
Canal La Conejera	0.0000700	K46+680	2571.00	2566.99	0.3
Río Juan Amarillo	0.0000700	K41+300	2570.00	2566.30	13.0
Canal Jaboque	0.0000700	K37+515	2568.00	2565.80	0.3
Río Fucha	0.0000700	K25+785	2567.00	2564.28	16.0
Canal Tintal	0.0000700	K15+166	2568.00	2563.03	1.3
Río Tunjuelo	0.0000700	K15+499	2565.00	2562.94	10.0
Río Balsillas	0.0000700	K10+415	2565.00	2562.28	10.0
Canal Soacha	0.0000700	K08+000	2566.00	2562.17	4.2
Canal Canoas	0.0000700	K05+125	2566.00	2562.03	0.0
Alicachín	0.0000700	K01+210	---------	2561.84	33.0
Salto del Tequendama	0.0000700	K00+000	---------	2561.80	33.0

(*) Tomado de Hidroestudios - Black & Veatch, 1985. Cotas en el sistema de la EAAB-ESP = Cota IGAC + 29.86 m

2.5.2 ESTUDIOS ANTERIORES DE CONTROL DE INUNDACIONES

La cuenca del río Bogotá ha sido estudiada en múltiples ocasiones con fines de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, dado que contiene una de las mayores concentraciones de población del país, la ciudad capital de Santafe de Bogotá. La mayoría de los estudios extensos de la cuenca han sido tradicionalmente realizados por la EEAAB, a fin de resolver los problemas de drenaje que afectan la red de alcantarillado que ella maneja y que posee serios problemas debido al relieve excesivamente plano de la Sabana.

Los primeros estudios sobre las deficiencias del drenaje urbano y las condiciones de amenaza por inundaciones fueron realizados en el contexto del primer Plan Maestro de Alcantarillado de los años sesenta, por el Consorcio Camp Dresser & McKee-CEI-Planhidro, para la EAAB, y en ellos se reconoció por primera vez la magnitud del problema de inundaciones en el sur de la ciudad, y las necesidades de acondicionamiento hidráulico del río para su prevención.

Después de numerosas incidencias oficiales y privadas de acondicionamiento del río, complementadas por la labor de la CAR, en 1979, con los estudios de adecuación Hidráulica de los sectores Alicachín - Juan Amarillo, (Gómez Cajiao & Asociados), y Juan Amarillo - Pte. Vargas, (Hidroestudios), la EAAB desarrolló en los años 1983-85 un nuevo estudio y plan de manejo hidráulico del río por el Consorcio Hidroestudios-Black & Veatch, que fue finalmente presentado en 1985, aunque las obras mismas nunca fueron realizadas.

Para conocer el estado actual de las obras del río, los Consultores sostuvieron reuniones con personal de la CAR y de Hidroestudios, y encontraron que la última información hidrológica disponible para el cauce en su condición actual corresponde a los trabajos de Hidroestudios para el sector Pte. Vargas - Juan Amarillo, (1982), y Gómez Cajiao, (1982), para el sector Juan Amarillo - Alicachín, ambos estudios fueron realizados a partir del estudio hidrológico realizado para la CAR por el Consultor Jaime Saldarriaga, en 1980, [3].

Se confirmó además, que la CAR sólo llevó a construcción algunas partes del trabajo de Gómez Cajiao en la porción baja de la cuenca del Bogotá, y que la parte alta no ha sido mejorada dado que se ha considerado que la mitigación de la amenaza en esa zona, donde no están afectadas las zonas urbanas, aumentaría la amenaza en los barrios sur-occidentales de la ciudad. Hidroestudios retomó el trabajo de Gómez Cajiao en 1983, y produjo niveles para condición actual en el sector Juan Amarillo-Alicachín en su informe con Black & Veatch en 1985.

2.5.3 VERIFICACION DE LA CONDICION ACTUAL

La CAR ordenó un levantamiento topográfico general del cauce y de los diques en 1989, para todo el sector del río Bogotá entre Pte. del Común y Alicachín, que revela el último estado conocido del canal del río Bogotá. Este perfil ha sido comprobado con las secciones de control tomadas por los Consultores y con las obtenidas de los estudios más recientes.

Actualmente, la EAAB viene realizando nuevos trabajos relacionados con los Planes de Alcantarillado de la ciudad, entre los que se encuentran el estudio de control de inundaciones de la cuenca del río Tunjuelo, recientemente entregado por la firma CEI Ltda. Los estudios del sistema Torca, el drenaje de las Chucuas o Humedales de Bogotá, y el Proyecto Troncal Salitre que actualmente se construye, todos los cuales repercuten sobre la problemática de inundaciones de la ciudad. Por su parte, INGETEC realizó recientemente para la UPES los estudios de riesgo del sector del río entre La Conejera al norte y el río Fucha al sur, y tomó para ello algunas secciones del río Bogotá en la zona.

En virtud de la dificultad de realizar un trabajo más comprensivo que los mencionados dentro del presupuesto y tiempo del presente estudio, y de la naturaleza reciente y de buena calidad de los trabajos que se relatan, los Consultores optaron por hacer uso directo de esos trabajos con sólo una labor de revisión y síntesis de los mismos, y algunas comprobaciones referentes a las cotas indicadas en los diferentes estudios y su correspondencia. Se verificaron los niveles del levantamiento de la CAR con los conocidos de los trabajos de Hidroestudios, y con secciones transversales tomadas por ellos mismos y por la firma INGETEC, en los últimos dos años, y encontraron que refleja bien las condiciones actuales del cauce del río Bogotá.

2.5.4 CAUDALES Y NIVELES DE INUNDACIÓN EN EL RIO BOGOTA

Hidroestudios y Gómez Cajiao utilizaron caudales calculados a lo largo del río Bogotá con base en el estudio hidrológico del consultor Jaime Saldarriaga, después de las desastrosas inundaciones de 1979. En esos estudios se calcularon caudales y niveles para frecuencias de 5 a 25 años por un métodos de tránsito de avenidas, con base en patrones simétricos de isoyetas de tormenta. Se utilizaron varios centros diferentes para esas tormentas, y se calcularon hidrogramas para todos los ríos afluentes y para el cauce principal del Bogotá a todo lo largo de su recorrido. Los resultados de la posición más crítica para el centro de tormentas, para 10 y 100 años, se presentan en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Caudales y Niveles Máximos del Río Bogotá-Avenida de 10 años

AFLUENTE	Q medio (mcs)	Q máx Bogotá (mcs)	Nivel máx (msnm) Río Bogotá	Q máx (mcs) Afluente	Nivel máx (msnm) Afluente
Puente Del Común	11.0	50.0	2577.50	-------	---------
Canal Guaymaral	4.0	70.0	2576.80	25,0	2576.80
Est. La Balsa	11.0	75.0	2576.48	-------	---------
Río Frío	10.0	75.0	2576.40	10.0	2576.40
Canal La Conejera	0.3	75.0	2574.60	2.0	2574.60
Río Juan Amarillo	11.0	100.0	2574.10	150.0	2574.70

Niveles según sistema de Cotas de la EAAB = Cota IGAC + 29.86m

Tabla 4. Caudales y Niveles Máximos del Río Bogotá-Avenida de 100 años

AFLUENTE	Q medio (mcs)	Q máx Bogotá (mcs)	Nivel máx (msnm) Río Bogotá	Q máx (mcs) Afluente	Nivel máx (msnm) Afluente
Fuente Del Común	30.0	70.0	2578.50	------	-------
Canal Guaymaral	4.0	100.0	2578.20	45.0	2578.20
Est. La Balsa	11.0	120.0	2576.65	-------	--------
Río Frío	10.0	120.0	2577.50	20.0	2577.50
Canal La Conejera	0.3	120.0	2575.70	5.0	2575.70
Río Juan Amarillo	13.0	140.0	2575.30	240.0	2575.3

Niveles según sistema de Cotas de la EAAB = Cota IGAC + 29.86m

Para unificar criterios, se utilizó únicamente la información de Hidroestudios, después de comprobar que es compatible con la información de Gómez Cajiao y CEI-Essere para la porción Juan Amarillo - Alicachín. Los caudales se calcularon a partir de los datos de los informes de Hidroestudios para la CAR, y de Hidroestudios-Black & Veatch, para la EAAB. Los caudales de 10 años están directamente tomados del trabajo de Hidroestudios; los caudales de 100 años se extrapolaron conociendo los caudales estimados por Hidroestudios para 5, 10 y 25 años, y dieron sensiblemente iguales a los recomendados para diseño, (condiciones año 2000), por el Consultor Jaime Saldarriaga[1], por lo cual se aceptaron finalmente estos últimos.

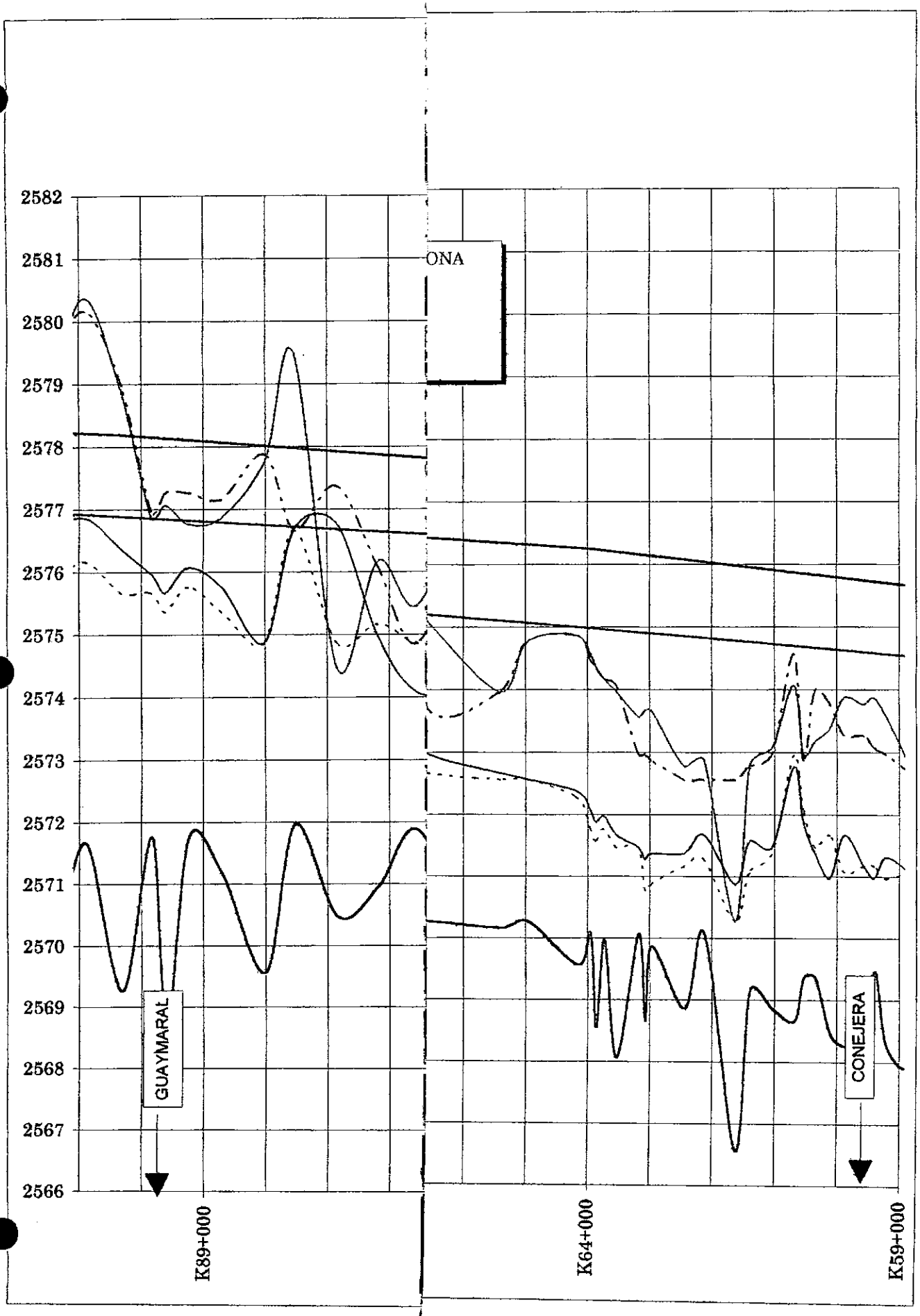
Para el cálculo de niveles no fue posible aceptar los valores de Hidroestudios directamente, debido a que en su cálculo de las condiciones naturales esta firma supuso que todo el flujo queda contenido en la zona central del canal, entre diques extendidos arbitrariamente en forma vertical, lo cual produce niveles entre 0.70m y 1.0m mas altos que los que se producirían al permitir flujo sobre la Planicie Inundable.

Este análisis, que es adecuado desde el punto de vista del trabajo realizado por Hidroestudios, no aplica al presente caso, por lo cual los Consultores realizaron, como estaba previsto, corridas de computador en flujo no-uniforme mediante el programa HEC-RAS, utilizando los caudales aprobados para cada sector, con las secciones de los estudios anteriores, en especial, del trabajo de Hidroestudios, y con coeficientes de Manning tomados también de esos trabajos, (0.035 para el canal principal, y 0.055 para la Planicie Inundable), los cuales son adecuados para las condiciones del estudio. Los resultados fueron similares y se prefirió este sistema para definir un perfil longitudinal completo del sector, como aparece en la figura 2.

En el Análisis, no fue considerada la existencia de los diques, puesto que estos no mantienen su continuidad a todo lo largo del río en el sector estudiado, como se indica claramente en el perfil hidráulico de la figura 2, por lo cual se considera que aunque los diques son estables, como aparentan serlo, no contienen ni la avenida de 10 años, ni la de 100 años, que además desborda el tope de los sectores más altos. Si se consideran los diques en el análisis, como si fueran continuos, los niveles serían del orden de los obtenidos por Hidroestudios o más altos, y los desbordamientos serían mayores. Desde el punto de vista hidráulico, los sectores donde el dique es discontinuo se consideran como críticos, según se anota en la tabla 5.

Tabla 5. Listado de Sectores Críticos Según el Abscisado del Río Bogotá

SECTOR CRÍTICO	KILOMETRAJE	NIVEL DE 10 AÑOS	NIVEL MÍN TOPE DIQUE
La Conejera	K59+000 - K67+000	2574.50 - 2575.20	2570.50
Pte. La Virgen - La Conejera	K68+750 - K70+500	2575.40	2575.00
Río Frío - Pte. La Virgen	K72+500 - K73+500	2575.7	2575.50
Río Frío - Pte. La Virgen	K75+500 - K77+250	2576.0	2575.00
Río Frío - Pte. La Virgen	K78+000 - K78+750	2576.10	2575.80
Río Frío	K80+000 - K84+500	2576.35 - 2576.50	2571.50
La Balsa	K84+750 - K87+250	2576.60 - 2576.70	2574.50


2582
2581
2580
2579
2578
2577
2576
2575
2574
2573
2572
2571
2570
2569
2568
2567
2566
ONA
GUAYMARAL
CONEJERA
K89+000
K64+000
K59+000

2.5.5 EFECTO REGULADOR DE LOS EMBALSES DE LA SABANA

El efecto regulador de los embalses de la Sabana de Bogotá ha sido considerado por los estudios de Hidroestudios Black & Veatch en el cálculo de los caudales, y por lo tanto está incluido en el cálculo de los niveles de inundación que se incluyen en el presente informe. Es indudable, que estos embalses disminuyen considerablemente los caudales en el río Bogotá, particularmente para la avenida de 10 años. A pesar de lo anterior, es necesario anotar que desde el punto de vista de amenaza por inundación, la falla de una de las presas de esos embalses no está estudiada, y dada su edad seguramente debería ser estudiada por la UPES.

2.5.6 CAUDALES Y NIVELES MAXIMOS EN EL CANAL GUAYMARAL

El Canal Guaymaral es la porción inferior del Canal de Torca, que recoge las aguas lluvias de la porción nororiental de Bogotá. El sistema Torca-Guaymaral drena la zona a partir de la calle 153, corre por la margen oriental de la Autopista Norte y desemboca en el Humedal de Torca, delimitado por las calles 200 y 220. El Canal de Torca fluye hacia el norte, paralelo a la Autopista Norte hasta el Humedal de Guaymaral, donde descarga sus aguas. El Humedal está siendo estudiado por la EAAB para acondicionarlo, y tendrá pronto una estructura de descarga que garantizará un Hidrograma reducido a su salida.

Los estudios de acondicionamiento del Humedal, indican que los caudales máximos de salida son de 30 mcs para un periodo de retorno de 10 años, y de 43 mcs, para 100 años. Estos caudales son similares a los de las tablas 3 y 4, y por ser los mas recientes, se utilizaron en combinación con la topografía de secciones de la EAAB, para calcular los niveles probables en el canal, con base en el programa de curvas de remanso HEC-RAS, adoptando como condición crítica los niveles de 10 y 100 años del río Bogotá, en la desembocadura del canal.

El levantamiento detallado de secciones transversales realizado por la EAAB muestra diques bien conformados a ambos lados del canal, pero insuficientes para contener por el momento los niveles de las avenidas consideradas; de otro lado, la planicie no se puede considerar como área efectiva de flujo, ya que no existe topografía de la misma, y según lo observado en campo, está altamente invadida y las zonas aledañas no cuentan con alcantarillado pluvial. Por estas razones, los niveles calculados para el canal principal se extendieron a lo largo y ancho de la planicie para estimar las zonas actuales de amenaza. Los resultados se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Niveles y caudales en el canal Guaymaral de Bogotá

ABSCISA	Cota Fondo (msnm)	Nivel 10 años* (msnm)	Nivel 100 años** (msnm)
Desemb. K0+000	2572.13	2576.80	2578.20
K0+304	2572.38	2576.84	2578.22
K1+755	2573.50	2576.91	2578.25
K2+727	2574.00	2577.39	2578.51
K3+697	2574.84	2578.19	2578.88
K4+802	2575.58	2578.59	2579.16

** Caudal 10 años = 30 mcs* ***Caudal 100 años = 43 mcs*

2.5.7 CAUDALES Y NIVELES MAXIMOS EN EL HUMEDAL DE LA CONEJERA

Los procesos de invasión y relleno sobre el cuerpo del humedal han eliminado los efectos amortiguadores que este podría producir. Por esta razón los niveles que se generan en el río Bogotá controlan el funcionamiento del humedal y su descarga, por lo que para los análisis de determinación de las zonas de inundación se mantuvieron los mismos niveles del río.

2.6 GEOTECNIA

Dentro de los estudios de amenaza por inundaciones en la zona de Suba, es necesario evaluar el estado actual de los diques que se han construido a lo largo del río Bogotá, a fin de decidir si ellos constituyen un nivel real de protección contra las inundaciones o si se deben considerar como inexistentes en el momento de calcular niveles de inundación. Para evaluar la condición de los diques, se realizaron varias visitas con el especialista en geotecnia, a fin de recorrerlos, determinar sus puntos críticos o vulnerables, y analizar los criterios de estabilidad aplicables.

2.6.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se tomó como base la información contenida en los siguientes informes :

- I 350/95. Informe sobre el estudio de suelos de las principales estructuras del Condominio San Jacinto en el municipio de Chía. Interplan S.A.
- I 401/95. Informe sobre el estudio de suelos del lote ubicado en predios del Club Guaymaral, (Chía), donde se construirá un puente sobre un meandro cortado del río Bogotá.
- I 438/98. Informe sobre el estudio de suelos y de permeabilidades de los lagos para el nuevo campo de Golf que se construirá en predios del Club Guaymaral.
- I 614/98. Informe sobre el estudio geotécnico de diagnóstico y formulación de soluciones a los agrietamientos y desniveles de la casa La Balsa en Chía.

2.6.2 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Con base en los resultados de perforaciones realizadas para otros estudios, y en las visitas efectuadas, se caracterizó el perfil estratigráfico del terreno. Teniendo en cuenta las secciones topográficas y los parámetros de suelo se procedió a generar modelos para evaluar la estabilidad de los jarillones. Se analizó la posibilidad de falla rotacional con el programa STABL5, mediante el método de Bishop modificado. Se tomaron secciones típicas y perfiles típicos del suelo con características de resistencia mínimas, según los sondeos disponibles.

2.6.3 MECANISMOS DE FALLA

De la caracterización se encontró que los principales problemas que afectan los diques a lo largo del río Bogotá están asociados a alguna de las siguientes causas :

- Vertimientos de agua : Está asociado a las entregas piratas de aguas negras, sin control ni protección de los taludes, y a la falta de control de excesos de aguas de las fincas, que provocan erosión progresiva en los taludes del jarillón, generando inestabilidad.
- Rellenos : En zonas aledañas al cauce se observa que se han ido generando rellenos, con el fin de recuperar zonas bajas inundables, estos añaden sobrepeso y empuje a los taludes.
- Socavación lateral de la pata del jarillón : Se asocian al efecto de las fluctuaciones del nivel de las aguas, con proceso de saturación y desecación de los materiales.

2.6.4 PUNTOS CRÍTICOS

La inspección visual y los chequeos realizados con información secundaria descartaron la existencia de puntos críticos desde el punto de vista geotécnico. La observación de los levantamientos topográficos realizados de la CAR, permite sin embargo detectar numerosos puntos donde el jarillón es discontinuo, o carece de la elevación suficiente para contener las avenidas de 10 años en adelante. Estos sectores críticos desde el punto de vista hidráulico, se registran en la tabla 5.

2.6.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se tomaron 5 perfiles típicos de estratigrafía del suelo, con parámetros de resistencia tomados con base en sondeos existentes en esta zona y se realizaron análisis de estabilidad variando la posición del nivel freático. Los factores de seguridad obtenidos varían entre 1,6 y 3,1. Se analizó además la estabilidad considerando el jarillón, (estrato 1), como una sobrecarga impuesta al terreno natural. Para este análisis se tomó como peso del jarillón 2,0 ton/m^3 x 2,7 m = 5,4 ton/m^2. Con el perfil típico #1 se obtuvieron valores de 1,2 para el nivel freático a -3,9 metros (nivel actual del agua) y factor de seguridad 1,1 para el nivel freático a 0 metros, (Nivel de aguas máximo).

Se concluyó que con el perfil de terreno y nivel freático actual, los jarillones son estables al sismo, y alcanzan la condición de colapso para sismos entre 0.10g y 0.15 g. En general las secciones estudiadas con un nivel freático alto, (nivel excepcional que podría presentarse en el evento de inundación del lote por lluvias o comunicación del río con el lote), no son estables sin sismo o colapsarían con sismos de aceleraciones horizontales menores a 0.05g.

2.6.6 CONCLUSIONES

- Según la microzonificación sísmica de Bogotá, la zona en estudio se localiza en la zona de rondas de ríos y humedales, conformada por los cuerpos de agua de la ciudad, y según la zonificación geotécnica del Ingeominas en la zona de suelos blandos, (Zona IIIP).
- Los jarillones han sido conformados mediante rellenos de arcillas limosas arenosas dragadas con paladraga del fondo del río y colocadas sin compactación en las orillas. En la zona de suelos blandos se localizan los depósitos más compresibles de la Sabana; arcillas de alta plasticidad en proceso de consolidación.
- En las perforaciones analizadas, se encontró que los rellenos superficiales tienen un espesor de 2 a 4 metros, con resistencia al ensayo de penetración estándar de 4 a 11 golpes/pie, y a la compresión inconfinada in situ de 2.0 a 4.5 Kg/cm^2.
- A estos suelos le subyacen los suelos naturales compuestos por intercalaciones de limos arcillosos, arcillas, y arcillas arenosas de consistencia blanda a muy dura. También aparecen intercalados estratos de arena gris medio densa a muy densa.

2.6.7 RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista geotécnico se recomienda :

- Planificación y manejo de las estructuras de entrega de los alcantarillados y drenajes.
- Controlar la continua invasión de las zonas de ronda con rellenos y construcciones.
- Dragar periodicamente el cauce, para mantener una adecuada sección hidráulica.
- Dar continuidad a los jarillones donde no la tienen para evitar desbordes.
- Levantamiento topográfico detallado de los diques actuales y realizar análisis específico de estabilidad geotécnica de los mismos, a fin de poder verificar los existentes y darles continuidad mediante diseños adecuados.
- Revisar el diseño de los diques de manera que se puedan considerar como obras de ingeniería de adecuada resistencia.
- Verificar los efectos hidráulicos del realce de los diques sobre las inundaciones aguas abajo en las zonas mas pobladas de la ciudad, para definir factibilidad de las obras.
- Verificar mediante la toma de una topografía muy detallada de la planicie aluvial, las necesidades de drenaje de la misma antes y después de realzar los diques.

3. ZONIFICACION DE AMENAZAS POR INUNDACION

3.1 CRITERIOS DE ZONIFICACION

Las metodologías para la evaluación de amenaza y riesgo por inundaciones, involucran aspectos secuenciales que incluyen : Determinación y evaluación de la amenaza o peligro, análisis de vulnerabilidad o susceptibilidad, y determinación y cuantificación del riesgo. A continuación se hace una descripción de la fundamentación teórica de cada uno de esos aspectos, introduciendo el criterio desarrollado específicamente para la Localidad de Suba.

3.2 AMENAZA

Amenaza específicamente es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, ya sea de origen natural o antrópico, que tiene una cierta probabilidad de ocurrencia en el tiempo y en el espacio y que puede afectar nociva o desastrosamente grupos humanos, su estudio consiste en cuantificar su extensión geográfica, su localización y su magnitud.

Son muchos los fenómenos naturales que representan amenaza al hombre y al medio ambiente, y que son de cierta manera los que más preocupan, por la incapacidad de predecir su exacta ocurrencia o evitar que se presenten; entre ellos se pueden mencionar los de origen sísmico, volcánico, hidrológico, climatológico, geológico, geotécnico, etc. En el caso de amenaza por inundación se deben tener en cuenta los siguientes criterios :

3.3 CRITERIO HIDROLOGICO

Dado que la amenaza se define como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en estudio, el criterio hidrológico de cálculo de avenidas, mediante la determinación del periodo de recurrencia de caudales y niveles en estaciones hidrométricas, es internacionalmente aceptado para normalizar los estudios de inundaciones, lo que proporciona una base teórica aceptable. El éxito de los resultados depende de la calidad de la información histórica de registros de precipitación, caudales o niveles que se tenga para la cuenca hidrográfica analizada.

El periodo de retorno se define como el tiempo promedio, en años, en que el valor de caudal pico de una corriente es igualado o superado por lo menos una vez; el inverso del periodo de retorno, se entiende como una medida de la probabilidad del fenómeno. El cálculo de una creciente extraordinaria, se hace por extrapolación de los datos históricos de una estación de medición, para las condiciones críticas. En el presente estudio se define la amenaza así :

AMENAZA GENERAL	PERIODO DE RETORNO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
ALTA	10 AÑOS O MENOR	0.10
MEDIA	ENTRE 10 Y 100 AÑOS	0.1 A 0.01
BAJA	MAS DE 100 AÑOS	0.01

Una vez obtenidos los caudales, se deben obtener los niveles correspondientes en el cauce del río, mediante la utilización de un método hidrodinámico adecuado y construir así el perfil de la inundación a lo largo del río. La proyección de estos niveles a la planicie inundable, de acuerdo con la topología del terreno, permite obtener zonas de igual probabilidad de ocurrencia de niveles de inundación.

3.4 CRITERIO GEOMORFOLOGICO

La delimitación de las unidades morfológicas en un valle aluvial permite visualizar las diferentes zonas de ocupación del cauce a lo largo de la historia geológica de la cuenca; así mismo permite observar qué zonas han sido ocupadas, trabajadas, depositadas y abandonadas, "recientemente" por el río. Si bien este criterio no es un criterio de probabilidad, permite la localización cierta de todas las áreas que han sido sujetas a inundación en el pasado reciente, lo mismo que de aquellas que no lo han sido, y que por la dinámica del río están fuera del alcance de las aguas de inundación; como consecuencia, este criterio ofrece un marco de referencia que puede interpretarse de esta manera :

AMENAZA GENERAL	UNIDAD GEOMORFOLOGICA	ZONA HIDROLOGICA
NULA	TERRAZA ALTA	INFERIOR A 0.01
MEDIA	TERRAZA BAJA	ENTRE 0.01 Y 0.10
ALTA	PLANICIE DE INUNDACION	0.10 O MAYOR

3.5 CRITERIOS DE INTENSIDAD DE LA AMENAZA

Con el objeto de involucrar la intensidad del fenómeno dentro de la clasificación de amenaza, introduciendo una graduación de la misma según las condiciones físicas locales de la planicie inundable, se pueden estudiar en los siguientes parámetros :

3.5.1 CARACTER DE LA INUNDACION

Tiene relación con la forma como se desarrolla la creciente en una cuenca torrencial y en una cuenca de planicie, su carácter súbito, (de ocurrencia rápida), o lento, (de ocurrencia prolongada); tiene también relación con la direccionalidad del flujo o la zona donde se concentra el flujo y la zona donde éste se extiende.

3.5.2 PROFUNDIDAD DE LA LAMINA DE AGUA

Depende de la configuración topográfica del área inundada y se puede determinar mediante el análisis de los intervalos de las curvas de nivel.

3.5.3 VELOCIDAD DEL FLUJO

Introduce una diferenciación que depende de la proximidad del área inundada al canal principal y por tanto a la zona de mayor concentración del flujo y velocidad de la corriente.

3.5.4 DURACION DE LA INUNDACION

El tiempo de permanencia del agua en la cubeta de inundación sirve también para calificar la situación de amenaza. Su determinación depende de la capacidad de infiltración de los suelos, de los valores promedio de evaporación del agua y de la infraestructura de drenaje de la zona.

Se propone utilizar la siguiente subdivisión :

AMENAZA	CRITERIO DE SEVERIDAD	LOCALIZACION	ZONA HIDROLOGICA
MUY ALTA	Velocidad, Profundidad y Duración altas	Cauce y zona de meandros	ALTA
ALTA	Profundidad y Duración alta	hasta nivel de 10 años	ALTA
MEDIA ALTA	Profundidad media a alta	de 10 a 100 años lamina >0.5m	MEDIA
MEDIA	Profundidad media a baja	Mayor 100 años lamina de 0.5m	MEDIA
BAJA	Extensión Total Planicie Inundable	Límite morfológico Qal	BAJA
NULA	Terrazas, encima del nivel de 100 años.	Límite morfológico Qta, Qtb	NULA

3.6 DETERMINACION DE AMENAZA EN LA LOCALIDAD DE SUBA

3.6.1 AMENAZA ALTA

Se prescindió de la subzona de amenaza muy alta, y se demarcó únicamente la zona de *AMENAZA ALTA*, que incluye el cinturón de meandros y la zona hasta la cual llegaría la avenida de diez años. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada como mínimo una vez cada diez años, hasta ese nivel, (probabilidad de anegamiento = 0.1). En promedio para el sector, los niveles corresponden a la cota 2575.70 msnm, con extremos a la cota 2574.60 msnm en la zona de La Conejera, y de 2576.80 msnm en la zona de Guaymaral.

3.6.2 AMENAZA MEDIA

Se determinó para una franja localizada entre el final de la línea que define la intersección del nivel de la avenida de 10 años con la topografía de la zona, y la que define la intersección de la línea de la creciente de 100 años de periodo de recurrencia con la misma topografía. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada entre una vez cada diez años, y una vez cada 100 años, (probabilidad de anegamiento $0.01 \leq p \leq 0.1$). En promedio para el sector de estudio, los niveles corresponden a la cota 2577.00 msnm, con extremos a la cota 2575.3 msnm en la zona de La Conejera, y de 2578.2 msnm en la zona de Guaymaral. En la zona de estudio no parece relevante introducir diferenciación dentro de la zona de amenaza media, dado que ella tiene un ancho muy reducido; por esta razón, y para ser consistente con los demás estudios realizados por la UPES, se eliminó la zona de *AMENAZA MEDIA ALTA*.

3.6.3 AMENAZA BAJA

Es la franja entre el límite de amenaza media y la línea que delimita la planicie inundable del río. La franja tiene una probabilidad de ser inundada inferior a 0.01, pero representa zonas que han sido inundadas en la historia geológica del río. Muchas de estas áreas en la localidad carecen hoy día de alcantarillado, a pesar de que están en vía de solución definitiva por parte de la EAAB-ESP; la posibilidad de anegamiento en estas áreas debido a las lluvias locales es muy alta, como lo comprueba la observación de los planos de Isoyetas, por lo cual los Consultores han decidido marcar toda el área hasta la cota 2580 como zona de baja amenaza.

3.6.4 AMENAZA NULA

Se considera que las zonas morfológicas de terraza están libres de amenaza, cuando además de su conformación geomorfológica, están por encima del nivel máximo dinámico de la avenida de 100 años y poseen alcantarillado pluvial adecuado; esas zonas se han determinado como libres de inundación en la parte mas reciente del pasado geológico del río, y tienen posibilidad de anegamiento por lluvias locales solo bajo condiciones de falla del alcantarillado local.

4. EVALUACION DE MITIGABILIDAD

El sector norte de la localidad de Suba, tiene una ocupación preferencial de tipo institucional y recreativo, colegios, clubes, granjas y fincas de cultivos, y una ocupación urbana moderada o de densidad media, con estratos sociales variados entre 1 y 6; no existen zonas urbanas extensas, y estos usos de la tierra son en general poco vulnerables a las inundaciones y libres de riesgo mayor; sin embargo, es siempre posible realizar obras de protección para mitigar la amenaza; las acciones que se pueden tomar son de dos tipos : estructurales y no-estructurales.

Es necesario recalcar, que cualquier medida estructural, o no estructural que se tome, debe estudiarse en conjunto con la margen derecha del río, y con los sectores mas poblados aguas *abajo* del río Bogotá; es necesario considerar la unidad hidrográfica de la cuenca alta del río Bogotá, y unificar los criterios de mitigación de la amenaza. No es lógico desconocer que los sistemas hidrográficos funcionan como una unidad física y geográfica, y no de acuerdo a una arbitraria delimitación politico-administrativa, y que cualquier acción de mitigación que se emprenda en un sector específico tiene repercusiones sobre la seguridad del resto de la cuenca.

4.1 MEDIDAS ESTRUCTURALES

Consisten en la implementación de una de las siguientes obras o una combinación de ellas :

- Dragar el cauce de los ríos y canales para mejorar la capacidad de su sección, profundizarla y regularizar la pendiente.
- Realzar y mejorar los diques de control. Involucra dar continuidad a los diques que son hoy en día irregulares y darles mayor elevación para mitigar los eventos de inundación.
- Levantar diques adicionales más alejados del canal, por ejemplo a lo largo de la línea del cinturón de meandros. Estos diques podrían ser más cortos y mas bajos, pero involucrarían evacuar y abandonar definitivamente el uso de las zonas de amenaza muy alta.
- Mejorar el drenaje general de la planicie de inundación, conformando las acequias y vallados de la zona, e instalando sumideros y estaciones de bombeo detrás del dique artificial, a fin de drenar las aguas apozadas después de un evento de desbordamiento.

4.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Consisten en medidas de manejo de la Planicie Inundable, Planeación del desarrollo del área, implementación de sistemas de alerta, etc. En general se pueden mencionar las siguientes :

- Zonificación de la Planicie aluvial y regulación de los usos de la tierra en cada una de las zonas de amenaza.
- Despeje de las zonas de ronda de los ríos y control estricto al uso de la tierra en esas zonas para evitar los rellenos y la intervención de las zonas que el río necesita para transitar sus hidrogramas de avenida sobre la Planicie Inundable.
- Reforma o mejoramiento de los tipos de construcción que deben permanecer en zonas de amenaza, haciéndolos más seguros contra la inundación.
- Establecimiento e implementación de planes de contingencia para el caso de inundaciones.
- Desarrollo de programas informativos y educativos a la comunidad asentada en áreas de amenaza, que no puedan ser evacuadas. Estos programas tienen por objeto concientizar a la comunidad sobre su situación de riesgo y capacitarlos en el manejo de las emergencias.

4.3 RECOMENDACIONES

4.3.1 ACCIONES A CORTO PLAZO

Las obras más efectivas a corto plazo son sin duda los dragados del fondo del canal y el realce y complementación de los diques de control. Cualquier acción sobre los diques existentes, requiere de un estudio geotécnico detallado, que permita realmente allegar información acerca de su funcionalidad y su capacidad de resistencia a los eventos de inundación del río Bogotá. Hasta la fecha, la ausencia de información geotécnica ayuda solamente a incrementar el grado de incertidumbre sobre el problema de amenaza por inundación.

La realización de estas acciones requiere de la elaboración previa de una serie de estudios así :

- Levantamiento topográfico detallado de los diques existentes a lo largo de la localidad y en un trayecto largo aguas abajo y aguas arriba de la misma, para asegurar que son continuos y están construidos hasta una elevación compatible con la protección de la zona.
- Levantamiento geotécnico detallado y verificación de la estabilidad de los diques a todo lo largo del recorrido de los mismos.
- Diseño de los nuevos diques o del realce de los existentes si se encuentran adecuados.
- Levantamiento batimétrico de las secciones del río para determinar puntos críticos a dragar, y elaboración de un plan formal de dragados.
- Verificación técnica de los efectos aguas abajo del mejoramiento del sistema de diques y de los dragados en este sector, sobre las inundaciones en las zonas mas pobladas, aguas abajo. Este paso es imprescindible antes de tomar la decisión de construir los diques.

4.3.2 ACCIONES A MEDIANO PLAZO

Una medida de interés a mediano plazo, es la implementación de estaciones de bombeo a lo largo del río Bogotá para permitir el drenaje de la Planicie inundable en caso de desborde, lo cual constituye una medida complementaria a la construcción de un sistema de diques de protección, dado que su emplazamiento afecta negativamente el drenaje de la planicie, prolongando el evento de inundación. Esta medida implica la implementación de una infraestructura adecuada de drenaje de las zonas de planicie aluvial hacia el sitio del bombeo, con canales abiertos o tuberías específicamente diseñadas, y requiere de un levantamiento previo y muy detallado de la topografía de la planicie, a fin de delimitar mejor la zona inundable y definir el sistema de drenaje. Se requieren varias acciones así :

- Levantamiento topográfico detallado de la planicie aluvial, curvas de nivel cada 30 a 50 cm.
- Coordinación con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, responsable del drenaje de las zonas edificadas del perímetro urbano.
- Adopción de un plan maestro de alcantarillado pluvial para la zona.

4.3.3 ACCIONES A LARGO PLAZO

Los Consultores consideran que las medidas más efectivas para la mitigación de la amenaza en estos sectores serían las no-estructurales, de manejo, especialmente la preservación de las rondas en la forma prevista por la ley Colombiana, como zonas ecológicas con servidumbre negativa de no construcción y no-relleno. Este tipo de acciones permitiría detener la continua intervención de la zona del lecho mayor del río, que va en fuerte detrimento de la calidad ambiental del mismo, así como del patrimonio económico de las gentes que habitan la cuenca en esta localidad y fuera de ella.

Solamente unas políticas claras y restrictivas de uso del suelo, unidas a lineamientos unificados de planeación del desarrollo urbano, pueden mitigar el problema hacia el futuro. Los elevadisimos costos que implica un proceso de reubicación o desalojo, unidos al problema social que estas acciones genera, no se consideran medidas viables a gran escala para el manejo de estos problemas.

La adecuada implementación de medidas de manejo requiere de un trabajo muy amplio de diagnóstico del problema de inundaciones en todo Bogotá, una coordinación muy efectiva entre las entidades de control del Distrito y las entidades del control nacional o regional que operan en la zona y un levantamiento topográfico muy detallado de la planicie aluvial del río Bogotá y la de sus afluentes a fin de delimitar en forma mas completa las zonas precisas de amenaza. Los Consultores consideran que a pesar de ser este el procedimiento mas adecuado para mitigar los problemas, es también el mas dificil y el mas complejo de obtener, por lo cual se incluye como medidas a largo plazo.

Las acciones a largo plazo que se recomiendan son :

- Unificación de criterios de mitigabilidad para toda la cuenca alta del río Bogotá.
- Estudio de amenaza por rompimiento de presas de regulación.
- Zonificación restrictiva de la planicie aluvial, incluyendo las zonas de ronda, manejo y protección ambiental de la misma, y criterios de recuperación del espacio público que ya existen para la ciudad de Bogotá en otros sectores.
- Planeamiento de un programa que facilite la aceptación de la zonificación por la comunidad, como por ejemplo un programa de seguro estatal subsidiado contra inundaciones y/o otros tipos de amenaza natural como el que existe desde hace mas de 25 años en los Estados Unidos de Norte America.