

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ

**ELABORACIÓN DE DISEÑOS DETALLADOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS CRÍTICOS DE RIESGO INMINENTE POR
REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS JUAN JOSÉ RONDÓN Y EL TRIUNFO EN LA
CUENCA DE LA QUEBRADA DE LIMAS, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR, EN
LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C.**

Contrato de consultoría CONS. 182 de 2004

Informe Final

**Trabajo No. 072
MOYA Y GARCÍA LTDA.
Ingenieros Consultores**

Bogotá D.C., Julio de 2004.

**ELABORACIÓN DE DISEÑOS DETALLADOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS CRÍTICOS DE RIESGO INMINENTE POR
REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS JUAN JOSÉ RONDÓN Y EL TRIUNFO EN LA
CUENCA DE LA QUEBRADA DE LIMAS, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR, EN
LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C.**

Contrato de consultoría CONS. 182 de 2004

TABLA DE CONTENIDO

1	GENERALIDADES	1
1.1	Alcance del Estudio	1
1.2	Organización del informe	2
1.3	Descripción de actividades realizadas	2
1.4	Descripción de los problemas y sus posibles causas	2
1.5	Delimitación de las áreas de estudio	3
2	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	3
2.1	Criterios de diseño	3
2.2	Método de trabajo	3
3	ESTUDIO GEOTÉCNICO	4
3.1	Criterios de diseño	4
3.2	Método de trabajo	4
3.3	Geología Regional	5
3.4	Zanjón de limas	5
3.4.1	Geología Local	5
3.4.2	Estratigrafía	5
3.4.3	Geología Estructural	6
3.4.4	Geomorfología y Procesos	6
3.5	Quebrada trompética	7
3.5.1	Geología Local	7
3.5.2	Estratigrafía	7
3.5.3	Geología Estructural	8
3.5.4	Geomorfología y procesos	9
3.6	Investigación del Subsuelo y Caracterización Geotécnica	10
3.6.1	Perforaciones y apiques	10
3.6.2	Ensayos de laboratorio	11
3.6.3	Análisis de estabilidad.	12

4	ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA TROMPETICA Y EL ZANJON DE LIMAS	15
4.1	Generalidades	15
4.2	Información utilizada	15
4.3	Clima	16
4.4	Precipitación	16
4.5	Caudales	17
4.5.1	Caudales medios anuales	17
4.6	Crecientes	17
4.7	Características hidráulicas	19
5	ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN	21
5.1	Criterios aplicados	21
5.2	Método de estudio	21
5.3	Planteamiento de alternativas	21
5.3.1	Zanjón de Limas	21
5.3.2	Quebrada Trompetica	22
5.4	Análisis de alternativas	22
6	DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	24
6.1	Zanjón de Limas	24
6.2	Quebrada Trompetica	25
6.3	Talud del Barrio Juan José Rondón	26
7	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO	27
8	CRONOGRAMAS	28

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ**ELABORACIÓN DE DISEÑOS DETALLADOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS CRÍTICOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS JUAN JOSÉ RONDÓN Y EL TRIUNFO EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA DE LIMAS, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C.****Contrato de consultoría CONS. 182 de 2004****Informe Final****1 GENERALIDADES**

En éste informe se presentan los diseños de las obras recomendadas, para el tratamiento de los sitios críticos por procesos de remoción en masa en los barrios El Triunfo (Zanjón de Limas) y Juan José Rondón (Quebrada Trompetica), de acuerdo con los alcances de los Términos de Referencia de la Invitación pública para contratación directa No. 7302-24-2004 emitidos por la DPAE y los consignados en el contrato CONS.182 de 2004.

1.1 Alcance del Estudio

Los alcances de la “Elaboración de diseños detallados de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en los barrios Juan José Rondón y El Triunfo en la cuenca de la quebrada de Limas, de la Localidad de Ciudad Bolívar” son:

- a) Caracterizar cada uno de los sitios desde los puntos de vista geológico, geotécnico, hidráulico e identificar los procesos activos o potenciales que se presentan en la zona, así como sus agentes detonantes y contribuyentes.
- b) Efectuar la evaluación de estabilidad y socavación de las márgenes de las quebradas en cada uno de los sitios.
- c) Para cada uno de los sitios, plantear y evaluar diferentes alternativas de obras de estabilización, protección y control y seleccionar la que ofrezca las mejores condiciones desde el punto de vista técnico, ambiental, económico, urbanístico y social.
- d) En cada sitio, para la alternativa más favorable, realizar el diseño detallado, estableciendo las cantidades de obra, cronograma de ejecución, presupuesto y especificaciones técnicas de construcción.

1.2 Organización del informe

El informe se presenta en un ejemplar, con el texto, los planos, cuadros y figuras y anexos con muestras de los cálculos y análisis y una descripción fotográfica. Se incluye un CD con los archivos digitales correspondientes.

1.3 Descripción de actividades realizadas

Inicialmente se adelantó un reconocimiento general, en compañía de la Interventoría, que permitió definir las áreas donde se adelantaría la topografía y la exploración del subsuelo.

Posteriormente, durante las labores de exploración, se adelantó otro reconocimiento más detallado por parte de los especialistas en geotecnia y por el geólogo.

En el IGAC se adquirieron las planchas topográficas 246-II-B a escala 1:25000, L34, L35, L44, L45 y L54 a escala 1:2000 y se consultaron las fotografías aéreas de la zona, estas no se adquirieron debido a la baja escala de ellas. Se consultó información geológica y geotécnica sobre la ronda de las quebradas, en el Acueducto de Bogotá, además la Interventoría nos suministró el informe sobre la Ronda de la quebrada De Limas, obtenido en el Acueducto de Bogotá. En los archivos de Ingeniería y Geotecnia Ltda. se consultaron algunos informes geotécnicos de predios cercanos, especialmente el de la urbanización Marandú, elaborado para el Inscredial en 1983.

La exploración se adelantó con base en la ejecución de apiques, trincheras y perforaciones, que fueron dirigidas y supervisadas por un Ingeniero Civil y un Inspector Laboratorista.

Al terminar el levantamiento topográfico se hizo una primera interpretación y se produjo un plano preliminar, el cual fue revisado en campo antes de proceder al dibujo formal de la topografía.

El geólogo adelantó el levantamiento geológico detallado, a escala 1:500, que se complementó con la evaluación geomorfológica y de procesos a que está sometido el terreno en los sitios de estudio.

Durante las labores de exploración se tomaron muestras del terreno, las cuales fueron sometidas a ensayos de clasificación y resistencia al corte.

Con la información obtenida se adelantaron los análisis y diseños de los sitios y de las obras que se recomendarían para el control de los procesos de inestabilidad.

1.4 Descripción de los problemas y sus posibles causas

El sitio No 1, se encuentra en el barrio Juan José Rondón, sector La Laguna, donde se han presentado desbordamientos de la quebrada Trompetica, por la baja capacidad de la estructura de paso de la quebrada bajo la vía de acceso y por la invasión del cauce con basuras.

El sitio No 2, en el barrio Juan José Rondón, sector Alto de la Cruz, se tienen taludes remanentes de antiguas explotaciones de materiales de construcción, los cuales al ser

urbanizados en forma espontánea, recibieron tuberías de desagüe, que provocaron erosión de la cara de los taludes; además en la base de éstos existen materiales provenientes de las excavaciones del proceso de urbanización, que fueron tirados desde arriba.

El sitio No 3, en el barrio El Triunfo, sobre la ladera izquierda del Zanjón de Limas, se ha presentado el deslizamiento de algunos sectores y se han afectado algunas viviendas y amenazado otras. Sobre la ladera se han dispuesto los materiales provenientes de las excavaciones para la construcción de las viviendas del barrio y algunas basuras. Por efecto de la construcción de los sistemas de alcantarillado se realizaron excavaciones profundas, hasta penetrar en la roca subyacente, desafortunadamente el tapado de dichas excavaciones fue deficiente, haciendo que la ladera perdiera confinamiento, situación que se agravó por las fugas y desbordamientos de agua desde los pozos y tuberías del alcantarillado, lo cual produjo el reblandecimiento y erosión de los materiales, hasta llevar el terreno a la condición de deslizamiento en que se encuentra.

1.5 Delimitación de las áreas de estudio

En la figura 1, tomada de los Términos de Referencia de la Invitación Pública para Contratación Directa: FOPAE No 7302-24-2004, se muestra la localización de los sitios bajo estudio, los cuales se encuentran en las siguientes direcciones:

Sitio No 1: Transversal 20 C, con Calle 69 C,

Sitio No 2: Transversal 20 F, con Diagonal 69 N,

Sitio No 3: Diagonal 70 sur entre Calles 69 I bis sur y 70 sur.

2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

2.1 Criterios de diseño

Por la cercanía de los sitios 1 y 2, se preparó un plano para los dos y otro para el No 3, definiendo un área que abarcara cada sitio y las posibles obras de control.

En los sitios de Juan José Rondón, sectores La Laguna y Alto de la Cruz, en el valle de la quebrada Trompetica, afluente de la quebrada de Limas, se adelantó el levantamiento topográfico de un área de 220 m de largo y un ancho variable entre 90 y 120 m.

En el sitio del Zanjón de Limas, entre los barrios el Triunfo y Juan Pablo II, se adelantó el levantamiento topográfico de un área de 230 m de largo y de un ancho variable entre 50 y 80 m.

2.2 Método de trabajo

Los levantamientos se adelantaron con Estación Total de precisión angular al segundo y de distancia al milímetro; se amarraron las coordenadas al sistema IGAC para Bogotá, (con origen en el observatorio astronómico nacional, al que se le asignaron coordenadas planas

Norte: 100000 y Este: 100000), con ayuda de una poligonal que parte del CD-610: Norte 97808.095, Este 92999.952 a 2557.860 msnm y cierra en el CD-609-A: Norte 96837.527, Este 93234.329 a 2566.708 msnm; éstos vértices se encuentran materializados sobre la Avenida Boyacá. La poligonal cerró con una precisión de 1:74478.7, que se considera suficiente para el alcance del trabajo. En el anexo de topografía se muestran las certificaciones 0019551 y 020839 expedidas por el IGAC, donde se indican las coordenadas geodésicas y planas de los vértices utilizados; se incluyen también los datos primarios de la poligonal con la que se amarraron dichas coordenadas y una figura con la poligonal de amarre realizada.

Los levantamientos incluyeron una nube de puntos, en los cambios de nivel o de pendiente, bordes de vías y de viviendas, pozos de alcantarillado, postes, puentes y otras edificaciones; con base en la nube de puntos se generaron las curvas de nivel separadas 50 cm. Los resultados se presentan en los planos T2A, T2B, T2C, T2D, T2E, L2A, L2B, L2C, L2D, L2E y L2F a escala 1:100 y mapas índice T1 y L1 a escala 1:500 y en las carteras correspondientes.

Para facilitar el replanteo de las obras propuestas se materializaron 4 mojones en los sectores 1 y 2 de Juan José Rondón y 4 en sector del barrio El Triunfo, los cuales se muestran en los mapas índice, y en los planos topográficos.

3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

3.1 Criterios de diseño

Con el estudio geotécnico se busca determinar el espesor y características de los materiales potencialmente inestables, para lo cual se adelantaron reconocimientos geológicos y geotécnicos por parte de especialistas, que se complementaron con un programa de exploración con base en perforaciones con taladro mecánico y apiques o trincheras distribuidos de tal manera que se pudieran obtener los parámetros característicos del terreno en cada sitio.

3.2 Método de trabajo

Durante uno de los reconocimientos, por parte del Especialista en Geotecnia, se determinó la localización de los puntos de exploración y el procedimiento que se llevaría: las perforaciones fueron adelantadas con equipo mecánico de percusión-rotación y lavado y supervisadas por un ingeniero civil, los apiques y trincheras fueron dirigidos por un Inspector Laboratorista de geotecnia, quien tomó las muestras y realizó los ensayos.

Los levantamientos geológicos y geomorfológicos fueron adelantados por un geólogo especialista en geotecnia, quien hizo en campo la cartografía geológica sobre el plano topográfico, a escala 1:500, de la misma manera adelantó la determinación de los procesos que han afectado al terreno en cada sitio.

3.3 Geología Regional

La zona de estudio está localizada en los cerros surorientales de Bogotá, sobre el flanco occidental del Sinclinal de Usme-Tunjuelito, en donde se presenta la secuencia Cretácica y Terciaria afectada por una serie de fallas inversas. En esta zona afloran las Formaciones Guadalupe y Guaduas, las cuales presentan una serie de pliegues estrechos por efecto del tectonismo, el cual ha sido intenso en esta zona del sinclinal poniendo en contacto fallado estas dos unidades y afectando en muchos casos la calidad del macizo rocoso.

Las condiciones geológicas son similares para los dos sitios evaluados debido a la cercanía del sector del Zanjón de Limas con la Quebrada Trompetica, en ambos casos el contacto entre el Guaduas y el Guadalupe está cercano y es evidente la proximidad a fallas geológicas regionales dado el grado de fracturamiento de las rocas, sin embargo se desconoce si estratigráficamente las rocas aflorantes corresponden a la parte superior o inferior de la Formación Guaduas, al parecer y por el nivel de arenitas que se explotó en el pasado, se puede tratar de la Arenisca La Guía nivel localizado hacia la parte inferior de la unidad litológica. En la fotografía 15, tomada en 1980, se muestra la interpretación fotogeológica del sector del Zanjón de Limas.

3.4 Zanjón de limas

3.4.1 Geología Local

Toda la zona de estudio se encuentra ubicada sobre la Formación Guaduas, la cual presenta en este sector arenitas arcillosas de color blanco a habano, de grano fino, bien seleccionadas, dispuestas en capas medias, intercaladas con rocas lodolíticas de color gris y laminación planar paralela. La mayor parte de la roca se encuentra cubierta por una serie de depósitos antrópicos, no consolidados que conforman botaderos y rellenos. Cada una de las unidades cartografiadas se encuentra en el Plano L3: Geológico (escala 1:500) y su descripción se presenta a continuación.

3.4.2 Estratigrafía

- Rellenos de escombros (Qe): Corresponde a depósitos de sobrantes de construcción y de excavaciones realizadas para la construcción de viviendas. Estos materiales han sido vertidos desde las vías de acceso hacia las laderas que conforman el Zanjón de Limas.
- Depósito aluvial (Qal): Corresponde a algunos depósitos locales ubicados sobre las márgenes de la quebrada y que están conformados por arenas, limos y algunas gravas, con alto contenido de humedad.
- Botaderos (Qb): Constituidos por sobrantes de excavación y de construcción, embebidos en una matriz limoarcillosa de color café. Esta unidad predomina sobre el flanco derecho de la quebrada y en general en toda la zona de estudio, sin embargo se ha subdividido dadas las características del estudio y la escala de la cartografía geológica.
- Botaderos sobre roca (Qb/Tkg): Residuos de construcción en matriz limoarcillosa, dispuestos sin ninguna especificación técnica a media ladera. El material está cubriendo limolitas arenosas y lodolitas de color gris de la Formación Guaduas.

- Depósito fluvioglacial (Qfg/Qsr): Depósito matriz-soportado, conformado por gravas, guijos y bloques subangulares de cuarzoarenita de color blanco, embebidos en una matriz limoarenosa de color habano. El depósito está cubriendo el suelo residual de las rocas lodolíticas de la Formación Guaduas.
- Rellenos (Qr): Relleno de gravas, arena y limos, empleados para la construcción de vías.
- Suelo residual (Qsr/Tkg): Limos arcillosos de color habano producto de la meteorización y alteración de las limolitas y lodolitas de la Formación Guaduas. El suelo residual presenta un espesor variable entre 1 y 2 m.

3.4.3 Geología Estructural

Debido a la escasez de afloramientos en la zona de estudio no fue posible obtener datos de rumbo y buzamiento de los planos de estratificación, por lo cual no se pudo definir el estilo estructural de la zona. En el único afloramiento (que se localiza fuera del área de estudio) en donde se obtuvieron datos estructurales la roca presenta N10E de rumbo y 15 grados de buzamiento hacia el noroeste. Al parecer esta disposición de la roca es constante a todo lo largo de la zona estudiada y es favorable a la estabilidad de la ladra de la margen izquierda del Zanjón de Limas y desfavorable para la vertiente opuesta, sin embargo en campo se evidencia lo contrario debido a que la inestabilidad se presenta es en los materiales no consolidados (botaderos y rellenos) y no en la roca.

3.4.4 Geomorfología y Procesos

La forma actual del terreno y los procesos morfodinámicos están muy ligados a la actividad antrópica, ya que la urbanización de las laderas del Zanjón de Limas ha modificado el paisaje mediante la disposición de botaderos y rellenos, los cuales a su vez se han inestabilizado por el aporte de agua al terreno, la pendiente del mismo y las bajas propiedades geotécnicas de los depósitos. Se identificaron 8 unidades geomorfológicas cartografiadas a escala 1:500 en el Plano L4: Geomorfológico y de Procesos, cada una de estas unidades se describe a continuación:

- Li: Ladera con problemas de estabilidad a lo largo del flanco izquierdo del Zanjón de Limas, está conformada por el material botado a media ladera y cubierto actualmente por pasto. La pendiente del terreno es moderada a fuerte y es común apreciar reptamiento a lo largo de esta unidad.
- Le: Ladera con mejores condiciones de estabilidad que Li, aunque su génesis y composición es similar. Se trata de rellenos y material botado a media ladera, cubierto actualmente por pasto. Esta unidad se encuentra sobre la margen derecha del Zanjón de Limas, en donde la pendiente del terreno y la altura de la ladera es menor que la de la margen opuesta, lo que favorece las condiciones de estabilidad en este sector.
- Lsr: Ladera en suelo residual. Corresponde a un escarpe rocoso cubierto por suelo residual limoarcilloso producto de la meteorización de la roca.
- Qda: Deslizamientos antiguos sobre material botado, actualmente se encuentran cubiertos por pastos y se pueden reactivar ante un agente disparador.

- Qd: Representa un deslizamiento activo sobre el material botado en la margen izquierda del zanjón. La corona del movimiento alcanza a afectar algunas viviendas del Barrio El Triunfo y su pata alcanza a llegar hasta el cauce del Zanjón.
- Qft: Flujo de tierras activo sobre suelo residual limoarcillosos de la Formación Guaduas. Hay un aporte importante de agua hacia el talud que favorece la formación del flujo y la inestabilidad de la ladera.
- Zp: Zonas planas y estables conformadas por los depósitos aluviales del zanjón y que actualmente se encuentran cubiertos por pastos.
- Zr: Zonas de rellenos pero con mejores propiedades geotécnicas que Li y Le. Presenta pendiente moderada a suave donde se han construido viviendas y vías, actualmente no hay evidencias de inestabilidad del terreno.

3.5 Quebrada trompetica

3.5.1 Geología Local

Toda la zona de estudio se encuentra sobre la Formación Guaduas, cerca al contacto fallado con el Grupo Guadalupe. Debido a la explotación de material que se adelantó en el pasado en este sector, hay buena exposición de la roca y se puede apreciar la composición litológica del macizo rocoso. Las rocas del Guaduas en varios sectores se encuentran cubiertas por depósitos Cuaternarios y rellenos antrópicos asociados estos últimos con la urbanización del barrio Juan José Rondón sector La Laguna y en ocasiones por material botado o sobrante de la actividad minera. En el plano T3 se muestra la geología local.

3.5.2 Estratigrafía

Para efectos del presente estudio, la Formación Guaduas se dividió en dos unidades litológicas debido a la diferencia composicional que presenta en los afloramientos en donde está expuesta, y se identificaron nueve (9) depósitos Cuaternarios de acuerdo con su génesis y composición. Cada una de las unidades cartografiadas están consignadas en el Plano T3: Geológico (escala 1:500) y a continuación se describen de manera abreviada.

- Rellenos de basuras (Qba / Qcl): Vertido libre de basuras y sobrantes de construcción a media ladera, dispuestos sin ninguna especificación técnica, en medio de una matriz limoarcillosa café. El material botado se encuentra sobre un depósito coluvial con bloques de cuarzoarenita en medio de una matriz limo-arenosa.
- Relleno arcilloso (Qba / Tkg2): Corresponde al mismo relleno descrito anteriormente, pero se diferencia de éste por tener un menor contenido de basura y encontrarse cubriendo la roca (Tkg2) hacia la base del escarpe rocoso. Es posible que parte de este depósito sea producto de la remoción desde la parte alta del cerro de los materiales de Qba/Qcl y que posteriormente formaron la acumulación sobre la base de la ladera.
- Relleno de escombros (Qe): Botado de escombros de construcción, presenta una composición heterogénea de bloques de ladrillo, cemento y material común.

- Botado (Qb / Tkg2): Botaderos de bloques y gravas angulares de cuarzoarenita y limolita, en medio de una matriz limoarenosa de color habano, presenta en ocasiones basuras. Este depósito está localizado a media ladera, es de poco espesor y se encuentra cubriendo rocas predominantemente arenosas de la Formación Guaduas (TKg2).
- Rellenos de minería (Qrm): Rellenos de bloques y gravas angulares de lodolitas y ocasionalmente de cuarzoarenitas, en medio de una matriz limosa de color habano. Corresponde a antiguos botados de desperdicios o sobrantes de la actividad minera que existió en la zona. En general presentan densidad media a alta y bajo contenido de humedad por lo que presenta buenas condiciones de estabilidad en comparación con los demás depósitos Cuaternarios.
- Relleno limoarenoso (Qb): Acumulación de materiales botados compuesto por fragmentos de roca y sobrantes de construcción en medio de una matriz limoarcillosa de color café, plástica y húmeda. Este depósito se encuentra sobre la ronda de la quebrada Trompetica.
- Ceniza volcánica (Qcv): Capa de ceniza volcánica, color gris, porosa, de bajo peso unitario, meteorizada, producto de acumulación de ceniza durante la antigua actividad volcánica de la Cordillera Central. Esta capa se encuentra a manera de relictos o zonas aisladas en donde no ha habido actividad antrópica y permite conocer la columna estratigráfica completa de la zona de estudio. La acumulación de ceniza puede estar sobre un antiguo paleosuelo (Qcv/Qn) denominado por los geotecnistas como “neme”, o puede encontrarse cubriendo un depósito coluvial (Qcv/Qcl)
- Depósito fluvio-glaciar (Qfg): Depósito matriz-soportado conformado por gravas y bloques de diferente tamaño (hasta 2.5m de lado) de cuarzoarenitas de grano fino, color blanco, en medio de una matriz limoarenosa de color café. Los bloques provienen del Grupo Guadalupe, el cual aflora en la parte alta de la quebrada Trompetica, fuera del área de estudio.
- Formación Guaduas lodolítico (TKg1): Arcillolitas limosas de color café, macizas y meteorizadas, intercaladas con lodolitas grises laminadas, dispuestas en capas delgadas a medias. Esta unidad aflora sobre el costado derecho de la quebrada Trompetica y está cubierta por un extenso depósito fluvio-glaciar.
- Formación Guaduas arenoso (TKg2): Cuarzoarenitas de grano medio a grueso, color blanco, competentes, macizas, en capas gruesas a muy gruesas y de geometría lenticular, con algunos niveles de limolitas silíceas y lodolitas laminadas de color gris, en capas delgadas. Esta unidad se encuentra sobre el antiguo frente de explotación de la cantera y conforma un escarpe rocoso sobre la margen izquierda de la quebrada Trompetica.

3.5.3 Geología Estructural

Aunque no se evidenció la presencia de una falla geológica a nivel de afloramiento en la zona de estudio, la variación constante en el rumbo y buzamiento de las capas a lo largo de los afloramientos permite inferir la presencia de una falla que esté afectando a las rocas de la Formación Guaduas. Lo más posible es que estos cambios estén asociados con la cercanía

del área con el trazo de la falla que pone en contacto a las Formaciones Labor y Tierna con el Guaduas.

Los cambios en la estratificación de la roca sobre ambos márgenes de la quebrada Trompetica no definen claramente una estructura geológica, tampoco hay una correspondencia estratigráfica para interpretar los datos colectados en campo. Debido a lo anterior y al grado de fracturamiento del macizo rocoso, se puede inferir que la cercanía de la falla mencionada anteriormente o un ramal de la misma, ha afectado las rocas que se encuentran en el área de estudio.

3.5.4 Geomorfología y procesos

Las formas del paisaje y los diferentes procesos que las generaron y que actualmente se observan en la zona, están determinados en gran medida por la actividad antrópica, específicamente la explotación de materiales pétreos en el pasado y posteriormente por la urbanización. La primera actividad dejó taludes de corte en roca, con pendiente fuerte y de 8 a 10m de altura, además de zonas planas correspondientes a patios de la cantera y algunos sectores de botado y relleno. La segunda actividad modifica nuevamente el paisaje porque se hacen rellenos para la construcción de viviendas y se conforman botaderos a media ladera sobre el antiguo frente de explotación.

Se cartografiaron algunos procesos de remoción en masa antiguos, estas unidades se pueden apreciar en el Plano T4: Geomorfológico y de Procesos, a escala 1:500. A continuación se describe cada una de las unidades:

- Ld: Ladera depositacional conformada por un depósito fluvio-glaciar, acumulado sobre una ladera de pendiente moderada, cubierta actualmente por pasto y con buenas condiciones de estabilidad.
- Tc: Talud de corte producto de la antigua extracción de materiales pétreos. Define un escarpe rocoso de alta pendiente y sometido a procesos de erosión por encontrarse desprovisto de cobertura vegetal.
- Lc: Ladera en ceniza volcánica acumulada sobre la antigua topografía del terreno. Se encuentra sobre una ladera de pendiente suave con surcos incipientes por efecto de la erosión concentrada.
- Rm: Rellenos mineros, zonas definidas por la antigua explotación de la cantera, conforma botaderos, zonas de acopio y vertido libre de los materiales extraídos en la mina.
- Qf: Flujos de tierra antiguos formados sobre botados de basura a media ladera. Actualmente están cubiertos por pasto y es posible que se reactiven durante una temporada invernal fuerte o ante un movimiento sísmico. Estos flujos representan los únicos movimientos en masa relevantes en la zona de estudio.
- Lb: Botaderos. Depósitos de basuras y escombros sin compactar, dispuestos a media ladera y sin ninguna especificación técnica. Debido a las condiciones geológicas y topográficas y a la ausencia de obras geotécnicas y de drenaje, esta zona conforma un terreno susceptible a la reptación o flujo de tierras.

Ra: Rellenos antrópicos. Rellenos para construcción de viviendas, botaderos con sobrantes de construcción y residuos de excavaciones, dispuestos a media ladera o sobre la ronda de la quebrada Trompetica. En general presentan mejores condiciones de estabilidad que Lb.

3.6 Investigación del Subsuelo y Caracterización Geotécnica

El valle del Zanjón de Limas está conformado por rocas terciarias, cubiertas parcialmente por depósitos de materiales botados por la ladera; por efecto de la construcción del alcantarillado fue necesario realizar grandes excavaciones que debilitaron el material que conforma la ladera, posteriormente por efecto de la obstrucción de algunos tubos del alcantarillado se han presentado vertimientos de agua por la ladera, que han incrementado la inestabilidad, e incluso han afectado la continuidad del sistema de alcantarillado.

En el sector de la quebrada Trompetita se tienen dos procesos: uno de desbordamiento de la quebrada, que afecta unas 6 viviendas y el otro de erosión de los taludes de una antigua explotación de materiales de construcción, que amenaza la estabilidad de la transversal 29F y eventualmente de las viviendas vecinas.

El talud está conformado por estratos de areniscas y lodolitas, cubierto parcialmente por depósitos de talus y algunos vertimientos de materiales, provenientes de las explanaciones para las viviendas, así como por depósitos de basuras y escombros. En general los procesos de erosión están asociados a vertimientos de agua desde la parte superior, sin embargo con la construcción del sistema de alcantarillado esta situación fue controlada.

Las inundaciones se presentan cuando se supera la capacidad de una alcantarilla de 70 cm de diámetro, por caudales excesivos o por obstrucción de la misma con basuras, también por obstrucción del cauce con basuras o por obstrucción del sistema de captación y conducción de aguas lluvias.

3.6.1 Perforaciones y apiques

La determinación de las características y propiedades geotécnicas del subsuelo se realizó mediante la ejecución del siguiente programa de exploración:

Zanjón de Limas

En el sitio del zanjón de Limas se efectuaron ocho (8) perforaciones, distribuidas a lo largo del tramo en estudio y principalmente sobre la margen izquierda donde se han presentado los mayores problemas de inestabilidad. Las profundidades variaron entre 1.20 y 4.75 m, encontrando rechazo sobre material tipo arcillosita arenosa y limo-arenosa de consistencia firme. Adicionalmente se efectuaron cinco (5) apiques, de los cuales tres se avanzaron con el sistema de trinchera para lograr una mayor exposición de los materiales involucrados. La localización del programa de exploración del subsuelo se presenta en el plano L5.

Quebrada Trompetica

En el sitio de la Quebrada Trompetita (barrio Juan José Rondón) las perforaciones se localizaron frente a las zonas que han presentado movimientos del terreno, localizados sobre la margen izquierda. Se efectuaron tres (3) sondeos con profundidades entre 1.35 y 2.80 m que corresponden a donde se obtuvo rechazo sobre material de arenisca. Las perforaciones

P-1 y P-2 sobre el eje del principal desprendimiento de material y la P-3 en las zonas donde se han presentado movimientos del terreno. La información se complementó con tres apiques en la zona baja, para estimar los espesores de relleno en la pata de los movimientos.

En la parte más alta de la Quebrada Trompetica se efectuaron dos (2) apiques, ambos sobre la margen izquierda. La localización del programa de exploración del subsuelo se presenta en el plano T5.

Las perforaciones se realizaron con equipo mecánico de percusión, rotación y lavado y en cada una de ellas se determinó la estratigrafía del subsuelo y las condiciones del agua subterránea. Considerando el tipo de materiales presentes en todas las perforaciones se realizó el ensayo de penetración estándar (SPT) en forma continua y se obtuvieron muestras alteradas con el tubo partido en los suelos granulares; en suelos cohesivos de consistencia blanda a media se tomaron ocasionalmente muestras inalteradas con tubos de pared delgada; el muestreo se efectuó cada 0.50 m en promedio y cada vez que se registró un cambio en la estratificación.

3.6.2 Ensayos de laboratorio

Las muestras obtenidas durante la exploración se identificaron en campo y laboratorio y para evaluar con precisión los parámetros necesarios para el análisis y diseño de soluciones y la efectividad de las alternativas de mitigación propuestas, se seleccionaron muestras representativas de los diferentes estratos, sobre las cuales se realizó el siguiente programa de ensayos:

Ensayos para clasificación

Humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario, contenido de finos (lavado sobre tamiz No. 200), granulometrías y contenido de materia orgánica, para la determinación de las propiedades índice del suelo, a diferentes profundidades.

Ensayos cuantitativos de resistencia

Los parámetros de resistencia al corte no drenada en suelos cohesivos se determinaron mediante la ejecución de ensayos de penetrómetro manual, veleta de laboratorio y compresión inconfiada. Los parámetros de resistencia de los mantos granulares se evaluaron con base en los resultados de las pruebas de campo (SPT), cuyos resultados se resumen en las siguientes tablas:

1. BARRIO EL TRIUNFO - ZANJON DE LIMAS

Material	Angulo de fricción (°)	
	Máximo	Mínimo
Relleno	28,4	22,3
Arcilla	38,1	23,9
Arena arcillo-limosa	29,1	15,2
Arcillolita	56,4	47,0
Arenita	37,5	31,0
Todos los datos	39,6	23,9

2. BARRIO JUAN JOSE RENDON - SECTOR ALTO DE LA CRUZ QDA. TROMPETICA

Material	Angulo de fricción (°)	
	Maximo	Minimo
Relleno	36,5	30,5
Arena	49,6	28,8
Arenita	47,5	-
Todos los datos	44,7	31,0

Resumen de resultados

Los resultados de la investigación del subsuelo se presentan en los Anexos A y B para los sitios del Zanjón de Limas y la Quebrada Trompetica, respectivamente. En cada uno de los anexos se incluyen las siguientes figuras:

- Convenciones utilizadas para representar los resultados de los ensayos de campo y laboratorio.
- Columnas estratigráficas obtenidas en las perforaciones y la variación con la profundidad de las propiedades índice, resultados del ensayo de penetración estándar y resistencia al corte no drenada.
- Registros de apiques y trincheras.
- Curvas de gradación obtenida a partir de ensayo de granulometría por tamizado.
- Variación de las propiedades geotécnicas con la profundidad.
- Envoltentes de resistencia para los dos materiales característicos del área, obtenidas mediante correlaciones con los ensayos de campo a partir de la Metodología planteada por A. González (1998).
- Resultados de ensayos de compresión inconfinaada.
- Tabla resumen con resultados del programa de exploración.

3.6.3 Análisis de estabilidad.

Barrio El Triunfo – Zanjón De Limas

La estabilidad de la zona de estudio se evaluó por medio de 3 secciones a lo largo de la margen derecha del Zanjón de Limas, para su determinación se tuvo en cuenta la localización de los apiques, trincheras y perforaciones.

Inicialmente se adelantó un retroanálisis por la sección correspondiente al deslizamiento que afectó las viviendas y para un valor de factor de seguridad ligeramente menor de la unidad se calculó el ángulo de fricción requerido, el cual se encuentra ligeramente por debajo de los obtenidos con el análisis de los resultados del SPT. Se adelantó el retro-análisis, considerando que el material como quedó después del deslizamiento estaba en una situación de equilibrio precario y teniendo en cuenta el perfil del subsuelo, estimado con base

en los resultados de la exploración y las observaciones directas, se estimó que la posible superficie por donde se presentó el deslizamiento se encuentra en el suelo residual o en el contacto con los depósitos superficiales.

A continuación se presentan los parámetros geomecánicos promedio empleados en los análisis de estabilidad, tanto en la modelación de la condición actual, como en el caso con obras en situación estática y dinámica (para sismo de $a = 0.23g$).

TABLA No. 3.1 – PARÁMETROS EMPLEADOS EN LOS ANALISIS

#	MATERIALES	PESO UNITARIO γ (ton/m ³)	COHESIÓN c (ton/m ³)	ANGULO DE FRICCIÓN (°)
1	Depósito (Relleno areno limoso con escombros de construcción)	2.00	0	17
2	Suelo residual	2.10	0	24
3	Arcillolita	2.20	5	38
4	Muro de gaviones	1.65	10	45
5	Relleno compactado	1.90	3	26

TABLA No. 3.2 – FACTORES DE SEGURIDAD EN SECCIONES DE ANÁLISIS

SECCION	FACTOR DE SEGURIDAD		
	CONDICION ACTUAL	CON OBRAS	
		ESTATICO	DINAMICO $a = 0.232g$
C – C (Deslizamiento)	0.991	1.417	0.988
E – E	1.001	1.664	1.041
G – G	1.042	2.303	1.392

Las estructuras de gaviones se proyectan desde el fondo del valle del Zanjón, donde se encuentran materiales de consistencia media a alta, con los resultados de la perforación 2 A y el apique 2, encontramos en la perforación un relleno granular de 0.5 m de espesor, seguido de arcilla de consistencia media a alta de un metro de espesor, subyacente por arcillolita; en el apique se encontró un relleno arcilloso de consistencia baja a media con un valor de c_u mínimo de alrededor de 4 ton/m², con el que se tiene una capacidad portante última de 20,5 ton/m². Las estructuras de gaviones transmiten al suelo de fundación presiones variables entre 4.5 y 10 ton/m² por lo cual consideramos que se pueden apoyar sobre el relleno arcilloso descapotado. La perforación 4 y el apique 4 fueron realizados sobre un playón cubierto de pasto, allí se encontró que el espesor del depósito puede alcanzar los 4 m y que éste presenta una consistencia baja a media, con valores de c_u variables entre 3.5 y 9.0 ton/m², los gaviones que se proyectan sobre el depósito transmiten al terreno de fundación una presión inferior a 4 ton/m² por lo cual consideramos que se pueden apoyar sobre el terreno descapotado.

Las estructuras de gaviones se proponen como unos elementos que ayudan a contener el terreno susceptible a la inestabilidad, mediante su resistencia interna, capacidad de deformación y capacidad de transmitir parte de la carga que reciben al terreno de fundación o de apoyo lateral contra las laderas vecinas; en el anexo C se presenta una muestra de los análisis realizados para el sector crítico, donde se adelantará la primera etapa de ésta obra de control.

Para el drenaje del área se emplean los gaviones, los cuales por su alta permeabilidad pueden conducir el agua hasta el cauce del Zanjón, como existe la posibilidad de colmatación con materiales finos, se recomienda el empleo de geotextiles no tejidos entre la cara de los gaviones y el terreno natural o compactado, que permitan el ingreso de agua a los gaviones e impidan el flujo de partículas de suelo hacia ellos; por la continuidad de los gaviones dentro el cauce, el agua puede fluir hasta la última estructura, sólo quedaría agua en los gaviones del fondo del cauce, los que penetran en él para reemplazar materiales sueltos o muy blandos.

El agua de escorrentía proveniente de las vías adyacentes, está siendo captada por el alcantarillado de aguas lluvias, y la que llueva sobre el terreno conformado podrá rodar hasta el zanjón, sin necesidad de cunetas, debido a que el terreno será compactado y dotado de una cobertura vegetal, donde no se esperan concentraciones del flujo de agua.

Barrio Juan José Rondón

Los taludes de la antigua cantera no muestran evidencias de inestabilidad; los estratos del macizo rocoso tienen una orientación favorable a la estabilidad. Los procesos de erosión que se presentaron fueron ocasionados por las descargas de los alcantarillados provisionales, los cuales fueron reemplazados por el sistema actual de alcantarillado.

4 ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA TROMPETICA Y EL ZANJON DE LIMAS

4.1 Generalidades

La Quebrada Trompetica y el Zanjón de Limas son corrientes naturales que pertenecen a la vertiente occidental del río Tunjuelito, afluentes de la quebrada De Limas y están localizadas en el sector de Ciudad Bolívar en los barrios Juan José Rondón, Concepción, Nutibara, Villas del Diamante, Nueva Colombia, El Triunfo, Juan Pablo II y Marandú.

El estudio hidrológico está orientado a la determinación de los caudales de creciente en las dos corrientes en sitios que han sido definidos previamente, como se aprecia en la figura 4.1 de localización a escala 1:25000, donde se muestran los límites de las cuencas.

4.2 Información utilizada

Sobre un mapa a escala 1:2000 se delimitaron las cuencas vertientes y se midieron las características morfométricas principales: Area, Longitud del cauce y Pendiente.

En el IDEAM y en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, se recolectó la información pluviométrica que existe sobre el costado izquierdo del río Tunjuelito en la zona que es de interés en el estudio, debido a que no existen registros directos de lluvia en las hoyas vertientes de las quebradas.

Adicionalmente se consultaron las curvas de intensidad-duración-frecuencia que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ha establecido para la zona, y los estudios que elaboró Ingeocim Ltda en julio de 1999 para Upes-Fopae en la misma región.

En el **cuadro No. 1** se incluyen las características principales de las estaciones pluviométricas que se seleccionaron para el estudio.

En las estaciones pluviométricas se obtuvieron registros de lluvias totales mensuales y lluvias máximas en 24 horas.

No hay registros de caudales en las corrientes naturales que son objeto del estudio.

CUADRO No. 1.							
QUEBRADA TROMPETA Y ZANJON DE LIMAS							
INFORMACION PLUVIOMETRICA							
Estaciones Pluviométricas.				Valores registrados :			
Código	Nombre	Coordenadas N - W	Municipio	Elevación msnm	Período años	Pmedia mm	Pmax 24 h mm
2120158	Pasquilla	04-27 74-10	Bogotá	3000	1982-02	834,0	88,0
2120205	Quiba	04-43 74-41	Bogotá	3000	1990-99	630,3	40,0 *

* Datos escasos

4.3 Clima

La zona de estudio está comprendida entre 2600 y 2900 msnm; el clima es frío con temperaturas medias anuales que varían entre 10°C y 13°C.

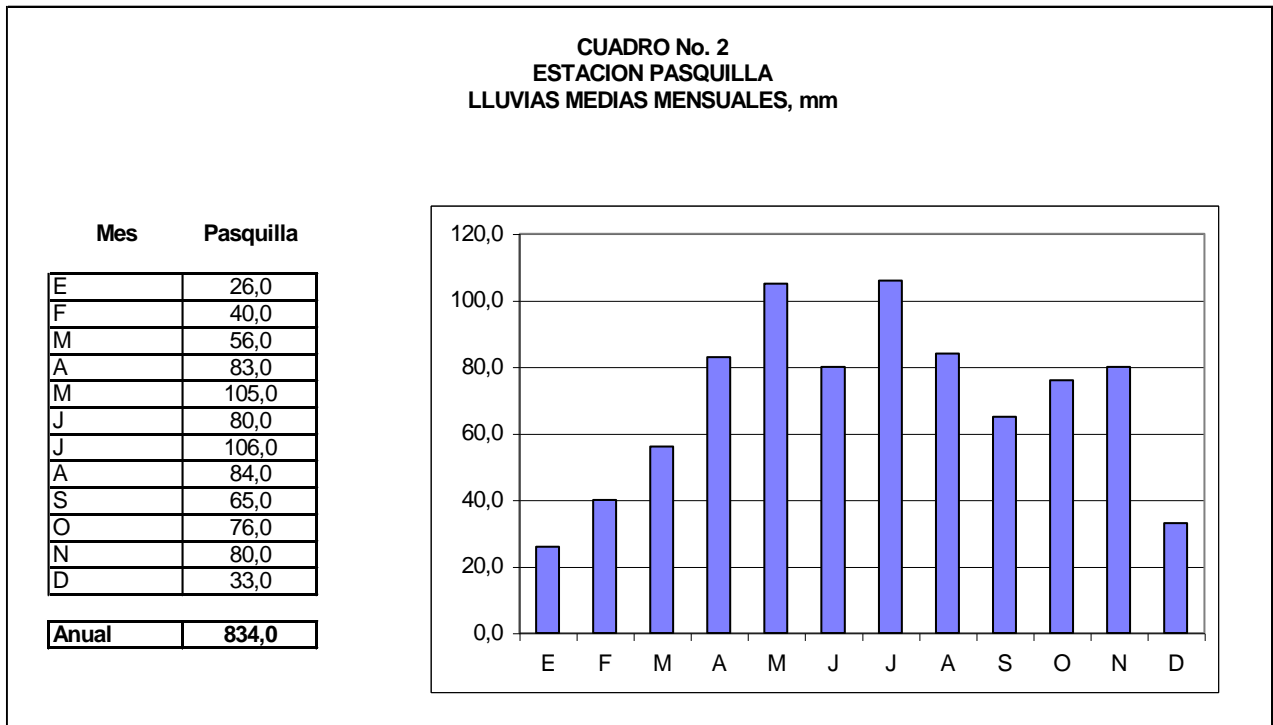
La evapotranspiración real media anual es del orden de 600 mm.

4.4 Precipitación

Los registros de las estaciones pluviométricas muestran que la precipitación media anual es del orden de 860 mm.

En el **cuadro No. 2** se observa el hietograma medio mensual registrado en la estación Pasquilla (3000 msnm), el cual representa el régimen pluviométrico de la zona.

El régimen de lluvias es ligeramente bimodal; las lluvias altas se presentan entre Abril y Julio, y luego entre Octubre y Noviembre. Históricamente, la precipitación más baja se registra entre Diciembre y Enero. Los meses de mayor precipitación son Mayo y Julio, y el más seco es Enero.



4.5 Caudales

4.5.1 Caudales medios anuales

Aplicando el Balance Hidrológico se estimaron de manera aproximada los caudales medios anuales en la quebrada Trompeta y el zanjón De limas. El Balance tiene la siguiente forma:

$$Q = k (P - Ev)$$

donde k es un coeficiente de pérdida (aproximadamente igual a 0.80 para este caso); P es la lluvia media anual; Ev es la evapotranspiración real estimada.

En el **cuadro No. 3** se presentan los parámetros utilizados y los caudales obtenidos:

Quebrada Trompeta (cota 2600 msnm):	9.3 lps
Zanjón de Limas (cota 2616 msnm):	2.5 lps

CUADRO No. 3 ESTIMATIVO DE CAUDALES MEDIOS ANUALES QUEBRADA TROMPETA Y ZANJON DE LIMAS									
Número	Microcuenca	Area km2	Longitud Km	Cota inicial m	Cota final m	Precipitación mm	Evaporación mm	Rendimiento lps/km2	Caudal medio lps
1	Q. Trompeta	1,84	3,14	2900,00	2600,00	850	650	5,04	9,3
2	Zanjón de Limas	0,50	1,56	2804,00	2616,00	850	650	5,04	2,5

4.6 Crecientes

Para determinar las magnitudes de las crecientes de las dos corrientes se utilizó el método del hidrograma unitario del Soil Conservation Service de los Estados Unidos, el cual es apropiado para cuencas rurales de características similares a las de las corrientes analizadas.

En desarrollo del método se determinaron las características morfométricas: Area, Longitud, Pendiente y Tiempo de concentración y se calcularon los hidrogramas unitarios particulares.

A continuación se hizo un análisis de lluvias de corta duración, utilizando los registros de las estaciones pluviométricas, para determinar las ecuaciones de Intensidad-duración-frecuencia, IDF. En desarrollo de este proceso se analizaron las curvas IDF de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, las curvas utilizadas por Ingeocim Ltda y los registros de lluvias máximas de la estación Pasquilla.

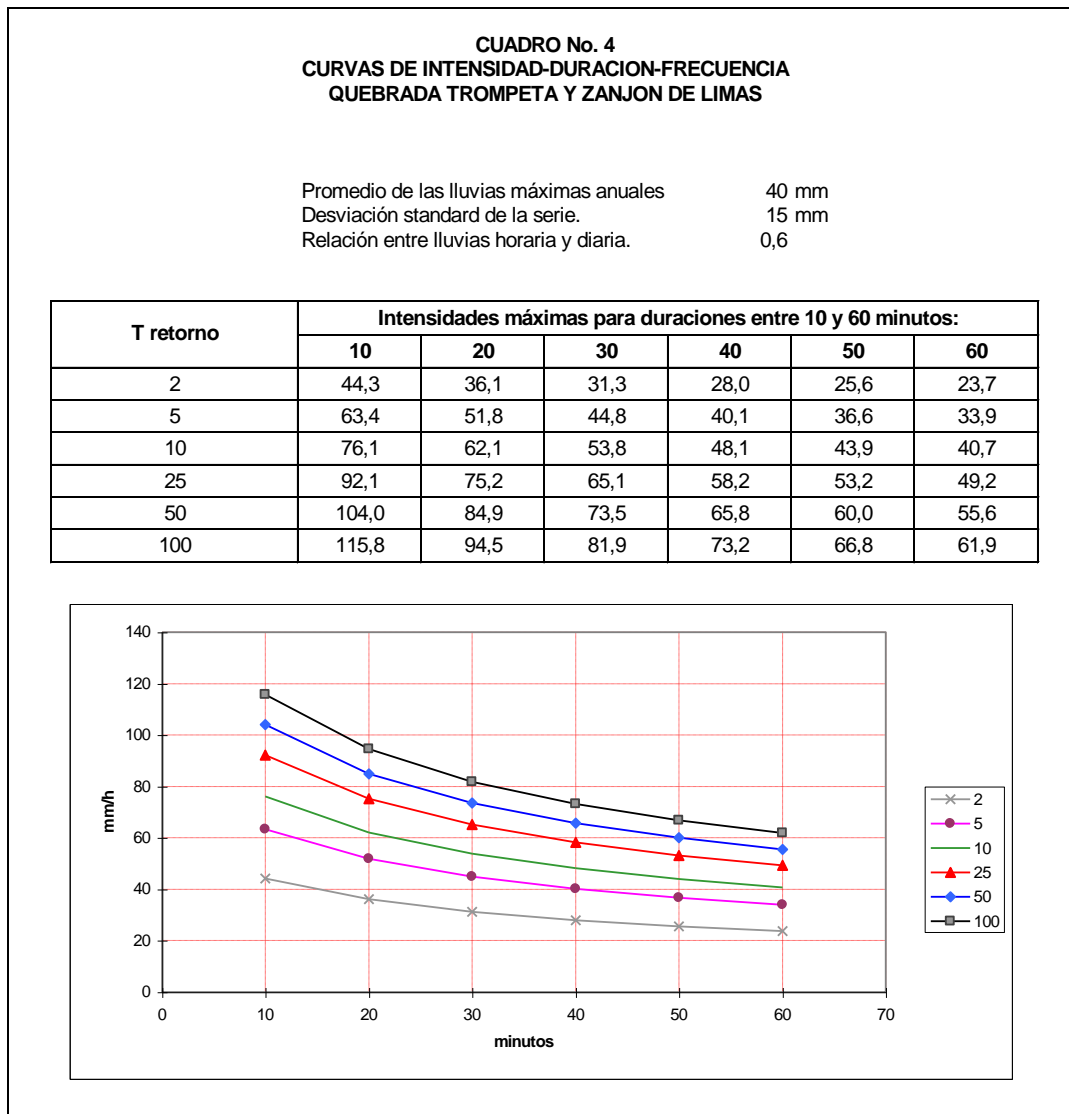
Las curvas de Intensidad-duración-frecuencia se sintetizan en el **cuadro No. 4**.

Se aplicaron las lluvias intensas a los hidrogramas unitarios y se determinaron los picos de creciente que se generan en los puntos seleccionados previamente. El procedimiento está sistematizado y es de uso frecuente en cuencas pequeñas, como las del estudio.

Los parámetros utilizados y los caudales de creciente calculados se presentan en el **cuadro No. 5**. Los picos de creciente individuales para frecuencias de 25 y 100 años en los puntos señalados en el mapa anexo son los siguientes:

Quebrada	Q 25 años	Q 100 años
Trompeta	7.6	9.5 m ³ /s
Zanjón de Limas	3.7	4.7 m ³ /s

Como se trata de quebradas de alta pendiente existe la posibilidad de que durante las crecientes extraordinarias se presenten arrastres de material sólido hacia los cauces;



también se observa que se botan desperdicios y desechos de construcción.

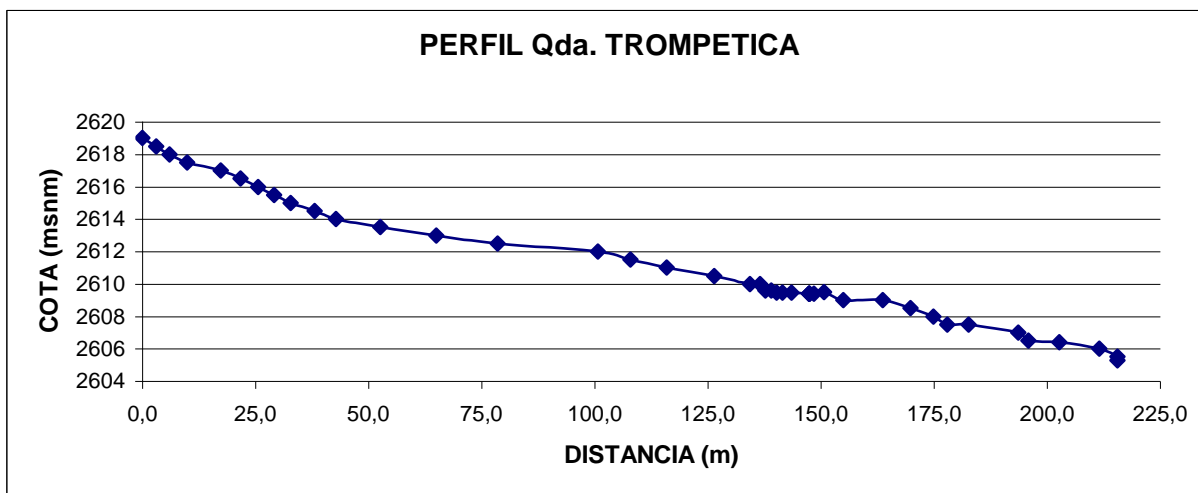
Estos sólidos ocasionan obstrucciones al libre flujo del agua en el cauce y en las estructuras de paso, las cuales generan represamientos, inundaciones y posibles avalanchas.

**CUADRO No. 5
CAUDALES DE CRECIENTE
QUEBRADA TROMPETA Y ZANJON DE LIMAS**

Número	Microcuenca	Area km2	Longitud Km	Pendiente m/m	Tconcentracion minutos	Duracion minutos	Intensidad 2 años (mm/h)	Coefficiente	Q2 m3/s	Q5 m3/s	Q10 m3/s	Q25 m3/s	Q50 m3/s	Q100 m3/s
1	Q. Trompeta	1,84	3,14	0,092	24,2	30	30,16	0,392	4,19	5,18	6,22	7,53	8,50	9,47
2	Zanjón de Limas	0,50	1,56	0,100	13,7	20	34,93	0,581	2,05	2,54	3,04	3,68	4,16	4,63

4.7 Características hidráulicas

La quebrada Trompetica transcurre, en la zona de estudio, a media ladera, con la vía de acceso al lado y muestra una pendiente media del 6%, con un tramo de 2% de pendiente, donde se pueden presentar los máximos niveles de la lámina de agua, en éste tramo (entre las abs. 75 y 100 m) la capacidad de conducción del cauce es apenas de 3,4 m³/seg, por lo cual se deben esperar desbordamientos por lo menos cada 2 años.



En la abscisa 135 se tiene un paso bajo la vía con un tubo de gres de 70 cm de diámetro y 2 tubos de 25 cm de diámetro cada uno, los cuales ofrecen una capacidad de conducción (con los tubos a presión) de 4.1 m³/seg, antes del desborde del canal, siempre y cuando no haya obstáculos que obstruyan el flujo o limiten la sección. Esta capacidad de conducción impone que se presenten desbordamientos por lo menos una vez cada 2 años.

De acuerdo con lo anterior los desbordamientos de la quebrada deben ser frecuentes y se requiere de una estructura de encauzamiento o la profundización y rectificación del cauce en una longitud superior a 100 m.

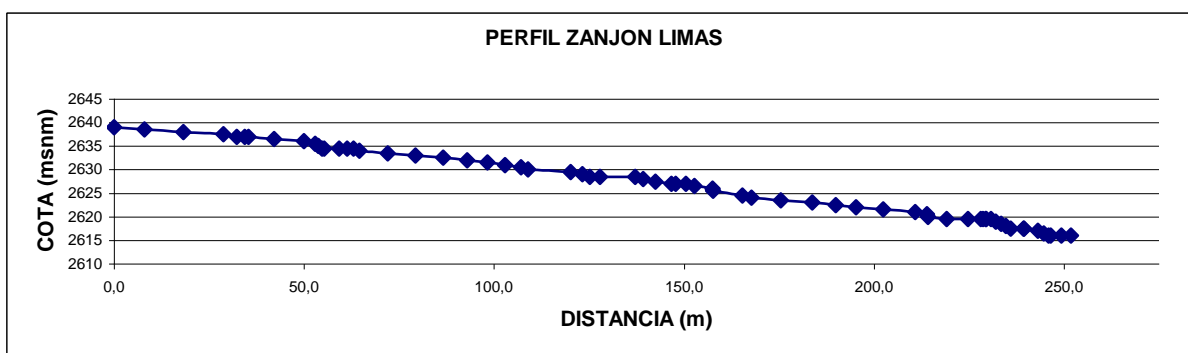
Para que pase la creciente de los 25 años se requiere que el nivel de agua a la entrada del paso actual sea de 5.4 m, lo que requeriría un muro de borde de 4 m de altura sobre el nivel de la vía y de una longitud del orden de 120 m.

Otro factor de inundación del área, es la capacidad de conducción de los sistemas de alcantarillado de aguas lluvias, los cuales captan las aguas con rejillas y las conducen por canales, hasta cajas de donde arrancan tubos de 45 cm de diámetro, los cuales por descuidos en el mantenimiento de las cajas, se pueden obstruir y facilitar la salida de las aguas a la vía, además las viviendas localizadas al norte de la vía, inmediatamente arriba del paso bajo la vía se encuentran en una zona deprimida, fácilmente inundable.

A pesar de las altas velocidades que se presentan durante las crecientes, no se observaron evidencias de socavación, sólo después del paso bajo la vía se aprecia una profundización del cauce en un tramo de 10 a 15 m y que puede inestabilizar la margen derecha, que se encuentra muy empinada.

En el Zanjón de Limas el cauce es mucho más amplio y profundo, además la cuenca es mucho menor, en el tramo de estudio la pendiente media es del 9.8% y para el caudal de periodo de recurrencia de 25 años ($3.7 \text{ m}^3/\text{seg}$), la lámina de agua es apenas de 57 cm, mientras que la profundidad mínima del cauce es de 3.7 m, por lo cual no hay posibilidad de desbordamiento para esta condición de flujo.

Al final del área de estudio se tiene un paso con una estructura de concreto de 1x1 m, la cual está en capacidad de conducir el caudal de los 25 años con una lámina de 46 cm, abajo de la vía el cauce sigue hasta una cascada de más de 5 m de altura, por donde se precipita el agua antes de llegar a la quebrada de Limas.



De acuerdo con lo anterior, no se deben esperar desbordamientos del Zanjón, siempre y cuando no se obstruya la estructura de paso bajo la vía (calle 69 I bis Sur).

Durante las visitas se pudo observar un caudal de menos de 100 LPS, debido principalmente a aportes de aguas servidas, proveniente de fugas del sistema de alcantarillado y vertimientos informales desde algunas viviendas.

Aunque la velocidad que puede alcanzar una creciente es alta, no se observaron evidencias de socavación, sólo después de la estructura de paso se observó el lecho libre de materiales granulares, y el agua fluía por sobre la roca, hasta la cascada; en el tramo bajo estudio el

lecho está conformado por depósitos aluviales de material granular cuyo espesor puede alcanzar los 2 m y con las velocidades que se pueden alcanzar es probable que éstos materiales se socaven, sólo que dado que el cauce está cubierto por vegetación la resistencia de las raíces evitan el arrastre de materiales, esto puede explicar el porqué no se encontraron evidencias de socavación, por efecto de las lluvias recientes. Análisis sencillos asumiendo un tamaño de grano de arenas muestran que la socavación general durante la creciente de los 25 años puede alcanzar 50 cm.

5 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

5.1 Criterios aplicados

Para la selección de alternativas se busca que las que se adopten sean las más favorables para la Ciudad, desde los puntos de vista Técnico, Económico, Social y Ambiental.

Desde el punto de vista técnico, la alternativa adoptada debe ser estable y ejecutable.

Desde el punto de vista económico, la alternativa que se adopte debe poder ser costeada por la Entidad, sin despilfarrar los recursos, buscando siempre la economía sin sacrificar los otros puntos de vista.

Desde el punto de vista social, la alternativa que se adopte debe ser aquella que imponga los menores traumas a la Comunidad vecina y a la Ciudad; se prefieren aquellas alternativas que requieran más mano de obra local.

Desde el punto de vista ambiental, con la alternativa que se adopte se deben buscar beneficios ambientales para el entorno inmediato y para la Ciudad.

5.2 Método de estudio

Para la selección de alternativas, se hace inicialmente el planteamiento de ellas, siguiendo el procedimiento de “lluvia de ideas”, en el que participan los profesionales encargados del estudio y de ser posible algunos miembros de la Comunidad, la Interventoría y la Entidad; posteriormente se hace la calificación conceptual de cada alternativa y se elige la que mejor cumpla con los criterios expuestos.

5.3 Planteamiento de alternativas

5.3.1 Zanjón de Limas

Para el control de la estabilidad del sector del Zanjón de Limas, especialmente en su margen izquierda, contra el barrio El Triunfo, se han considerado dos posibilidades, una mediante la descarga y conformación de la ladera y otra realizando el cauce con ayuda de estructuras transversales de gaviones y colocando contrapesos en la base de la ladera, contenidos con estructuras de gaviones, que funcionan como un sistema de tierra armada apuntalado en la base contra la ladera derecha.

La primera alternativa implica la remoción de cerca de 10000 metros cúbicos de material térreo, la destrucción y reconstrucción del sistema de alcantarillado y la demolición de por lo menos 20 viviendas.

La alternativa del realce del lecho, no modifica el sistema de alcantarillado, al contrario lo protege, no afecta más viviendas y requiere de cerca de 3500 metros cúbicos de gaviones y alrededor de 7000 metros cúbicos de escombros dispuestos, compactados y empradizados sobre la ladera.

Como variante a ésta alternativa se propuso otra en que se tratara sólo el sector más afectado, en una primera etapa y posteriormente con base en la evaluación del comportamiento del resto de la ladera se adelantaría la segunda etapa.

5.3.2 Quebrada Trompetica

Para el control de las inundaciones se tiene previsto canalizar la quebrada y dotarla de un jarillón lateral o un bordillo que garantice el paso de crecientes sin desbordarse; otra alternativa consiste en la profundización del cauce o ampliación de la capacidad de conducción de la estructura, especialmente en el sitio de paso de la vía de acceso.

Para el control de la estabilidad del talud, se consideraron dos alternativas: una mediante el terraceo de la parte superior y la contención de la base con contrapesos y estructuras de gaviones, complementado con la empradización y la construcción de un sistema de drenaje superficial. La otra alternativa consiste de la contención del talud con un contrapeso hecho con escombros compactados.

La primera alternativa implica un movimiento de tierras de alrededor de 5000 metros cúbicos, los cuales se retirarían de la parte superior y se colocarían en la inferior y una estructura de gaviones de 150 metros cúbicos.

La segunda alternativa requiere de algo más de 20000 metros cúbicos de escombros, la construcción de un sistema de drenaje en el piso donde se colocarán los escombros, la relocalización del cauce de la quebrada, la cual ya no pasaría por tubería sino por un "box culvert" dispuesto al oriente del depósito de escombros.

La canalización de la quebrada se proyecta por la berma de la vía de acceso al barrio y tendría una longitud de 40 m y se requieren excavaciones de hasta 2.5 m de profundidad y una estructura para el paso bajo la vía de acceso.

5.4 **Análisis de alternativas**

Zanjón de Limas

La alternativa de conformar la ladera mediante corte y retiro del material deslizado, los depósitos y el suelo residual, impone un trauma severo al barrio, al quedar sin sistema de alcantarillado por el tiempo que duren las obras, incluida la construcción de un nuevo sistema de alcantarillado. El costo de restituir el alcantarillado puede superar los 300 millones de pesos y el de las 20 casas que habría que demoler puede alcanzar los 400 millones de pesos. Desde los puntos de vista técnico y ambiental la alternativa es favorable, aunque el

tener que disponer los materiales que allí se obtengan ayuda a agravar un problema ambiental que tiene la Ciudad.

La alternativa de realzar el cauce y confinar los materiales susceptibles de inestabilidad con estructuras de gaviones y rellenos de contrapeso realizados con material común, es técnicamente viable, el costo es menor que la otra, el trauma para la comunidad y para la Ciudad es mínimo y se logra un beneficio ambiental, al corregir una situación de inestabilidad y recuperar el terreno como ronda del Zanjón; adicionalmente al disponer materiales comunes en el área disminuye la presión por sitios de disposición de éstos materiales, que actualmente constituyen un problema ambiental de la Ciudad.

De acuerdo con lo anterior se recomienda la adopción de la alternativa de realce del lecho del Zanjón, en una primera etapa que confine el sector más crítico, posteriormente, de acuerdo con la evolución de los procesos se podría adelantar la protección en el resto del cauce.

Quebrada Trompetica

Para el control de las inundaciones por desbordamiento de la quebrada se ha propuesto aumentar la capacidad de conducción del sistema, mediante el realce del borde o la profundización del lecho, aumentando la capacidad de la estructura de paso bajo la vía.

Las dos alternativas son técnicamente viables, sólo que la de profundizar el cauce favorece la socavación del lecho y la eventual inestabilidad de las márgenes; con la alternativa de realzar el borde izquierdo se mantienen las condiciones del cauce y se evita el desborde.

Para la estructura de paso se puede construir en el sitio actual, profundizando un poco el cauce para que dé la altura necesaria, sin enterrar las viviendas vecinas o construyéndola al oriente del sitio actual, también se consideró la posibilidad de cambiar los tubos actuales por dos de 36" de diámetro. Desde los puntos de vista técnico, económico, social y ambiental su comportamiento es muy parecido, aunque la de los dos tubos es mucho más económica, sólo que cuando se decida adelantar el relleno para la contención del talud del segundo sitio, habría que eliminar éste paso y construir un tramo de canal y el paso más abajo.

Para el control de la estabilidad del talud de la antigua explotación, con la alternativa de la descarga, se acerca el escarpe a la transversal 20 F, imponiendo un riesgo adicional a la vía.

Con la alternativa del relleno de escombros compactado se logra el confinamiento del talud en condiciones seguras, sin mayores traumas para la comunidad, a un costo relativamente bajo y con un beneficio ambiental importante al recuperar el terreno como zona verde y permitir la disposición ordenada de materiales que son un problema para la Ciudad. Vale la pena tener en cuenta que en el predio ya se están disponiendo escombros sin compactar, lo cual constituye un riesgo para la población del sector la Casona del barrio Juan José Rondón, ya que se pueden presentar flujos de materiales por el cauce de la quebrada, mientras que si se disponen en forma ordenada y con las obras de adecuación necesarias este eventual problema se convierte en beneficio.

Dado que el relleno ocuparía el actual cauce de la quebrada, después de la alcantarilla, se requiere desplazar el cauce al interior de la vía de acceso. De ésta manera, con la alternativa

de canalización de la quebrada por la berma de la vía y un box culvert se tiene una solución integral a la situación del sector.

6 DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

6.1 Zanjón de Limas

Para el control de los procesos de inestabilidad que afectan la ladera izquierda del Zanjón de Limas, contra el barrio El Triunfo, se recomienda la contención del terreno con estructuras de gaviones y llenos de contrapeso. En una primera etapa se adelantarían las obras para el sector más crítico y posteriormente, de acuerdo con el comportamiento de lo ejecutado y la evaluación del proceso se podrían adelantar las obras en el resto del Zanjón. En los planos se muestra la disposición de las estructuras, los despieces y detalles necesarios para su construcción.

Antes de iniciar las obras de contención se deben revisar y reparar los alcantarillados, para evitar que se presenten fugas de agua hacia el terreno.

Se recomienda adelantar inicialmente las estructuras de gaviones, trabajando por capas o niveles de gaviones, empezando por los niveles inferiores:

- Se excava hasta llegar al nivel indicado en los planos, se verifica el estado del terreno, y si se encuentran materiales orgánicos, sueltos o de muy baja consistencia (menos de 100KP.), se retiran y se reemplazan por material granular apisonado o por un nivel adicional de gaviones, si la profundidad lo amerita. Las excavaciones deben adelantarse por módulos de no más de 4 m de ancho y disponer de elementos de entibación: tableros, cerchas y puntales, que permitan controlar cualquier proceso de inestabilidad que se pueda generar, mientras se construye el tramo de gaviones.
- Inmediatamente después de efectuada la excavación, se debe proceder a construir el tramo de gaviones, de manera que no se dejen excavaciones abiertas de un día para otro.
- Los gaviones para las estructuras propuestas se deben construir con mallas de alambre galvanizado (galvanización pesada, superior a 200 gr/m²) y recubierto de PVC. Las mallas serán de triple torsión, con escuadría de 10 x 12 cm y alambre de más de 2.7 mm de diámetro.
- A medida que se construyan los gaviones, nivel por nivel, se debe colocar el material alrededor de ellos y compactarse hasta obtener una densidad seca superior al 90% de la obtenida en el ensayo Proctor estándar del material empleado; se debe colocar el material con una humedad superior en 2 ó 3% a la óptima del ensayo.
- El terreno donde se colocarán los rellenos de contrapeso y las estructuras de gaviones se debe descapotar y escalonar, posteriormente se debe compactar con un mínimo de 5 pasadas de un equipo de compactación vibratorio, de 3 o más toneladas de masa. Si

durante esta actividad se encuentran afloramientos de agua, éstos deben captarse con un filtro y conducirse a uno de los pozos del alcantarillado de aguas lluvias o al Zanjón.

- Los gaviones que quedan contra el terreno natural o los rellenos compactados se deben dotar de un geotextil no tejido, de espesor superior a 2.5 mm para permitir el drenaje del terreno sin que se colmaten los gaviones con materiales finos.
- El material vegetal que se retire durante el descapote, debe almacenar a la sombra y en ambiente húmedo, para posteriormente emplearlo en las labores de Vegetalización de los taludes conformados.
- Al compactar alrededor de los pozos y tuberías del alcantarillado se deben tomar las precauciones necesarias para evitar afectarlos y en caso de accidente que involucre estos elementos se debe proceder cuanto antes a su reparación, además debe retirarse el material que se haya reblandecido por efecto de la fuga de agua. Los pozos cuya cota quede por debajo del nivel del relleno se deben realzar para facilitar la inspección posterior.
- Los rellenos de contrapeso se recomienda construirlos con materiales libres de materia orgánica y compactarlos hasta obtener una densidad seca superior al 90% de la obtenida en el ensayo Proctor estándar del material empleado; se debe colocar el material con una humedad superior en 2 ó 3% a la óptima del ensayo. Los materiales que se obtengan de la excavación para los gaviones se pueden involucrar al material de relleno si no contienen materia orgánica y los que tengan materia orgánica se deben usar en las labores de vegetalización.

A medida que se vayan conformando los taludes de material compactado se deben cubrir con vegetación viva, preferiblemente de la obtenida en las labores de descapote.

6.2 Quebrada Trompetica

Para el control de inundaciones desde la quebrada Trompetica, se requiere una nueva estructura de paso de mayor capacidad, que permita el tránsito de la creciente de 25 años de recurrencia. Para lograr éste objetivo se recomienda la construcción de una estructura en cajón de concreto reforzado y para facilitar la construcción posterior de la contención de los escarpes, se recomienda la construcción del canal de desvío, el cual por las limitaciones de espacio se recomienda revestido en concreto. Para evitar sobre-excavaciones en el cauce y el canal de desvío se recomienda construir un bordillo de concreto ciclópeo que realce el borde e impida el desbordamiento durante las crecientes fuertes de la quebrada. En los planos T6 y T7 se muestra la disposición de las estructuras, sus despieces y detalles correspondientes.

Se incluye también el diseño de la alternativa de paso con dos tubos de concreto, que reemplazan los tubos actuales, en el plano T10 se muestra dicho diseño.

6.3 Talud del Barrio Juan José Rondón

Para el confinamiento del talud se recomienda un relleno de escombros compactados, conformando taludes de inclinación 2H:1V hacia el oriente y hacia sur, tal como se muestra en el plano T8 y de acuerdo con el siguiente procedimiento constructivo:

- Se limpia el piso, retirando los materiales sueltos, las basuras y la materia orgánica; la basura se debe llevar al relleno sanitario, el material orgánico, junto con el material de descapote se debe guardar a la sombra y en ambiente húmedo para posteriormente emplearla en la Vegetalización de los taludes.
- Construir el canal de desviación de la quebrada y la estructura de paso bajo la vía de acceso.
- Construir los filtros en el piso descapotado, incluyendo el del antiguo cauce de la quebrada.
- Si se encuentra tuberías activas, se deben conducir las aguas con tuberías de mínimo 25 cm de diámetro, enterradas en el cauce, hasta sacarlas de la zona donde se apoyará el relleno compactado. El tapado se debe hacer con arena apisonada.
- El material de escombros se prefiere granular, con un contenido de finos menor del 50%, y los finos con un índice de plasticidad menor de 30; éstos materiales se deben disponer en capas y compactarse hasta obtener una densidad seca superior al 90% de la obtenida en el ensayo Proctor estándar del material que se esté empleando. La humedad de compactación debe estar un 2 a 4 % por encima de la optima del ensayo de compactación.
- Los bordes del relleno se deben conformar con un talud de inclinación 2H:1V y compactarse la cara del talud, luego se deben escarificar con rastrillo hasta una profundidad de 1.5 cm y proceder a colocar el material orgánico y la capa vegetal, es posible que se requiera de estacas para la fijación de los cespedones de pasto.
- A medida que se vaya subiendo con el relleno se debe adelantar el descapote del terreno actual, terracear el terreno, recompactarlo y colocar las capas de relleno compactado.
- Al finalizar el relleno se debe construir el sendero, el cual estará conformado por losas de concreto simple de 0.20 m de espesor, traslapadas 25 cm, tal como se muestra en el detalle del plano T8.
- Construir la caja de recibo de las aguas de la quebrada y de los filtros y tuberías de conducción.

7 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Las cantidades de obra se midieron directamente en los planos de diseño; los precios unitarios se tomaron de listas del mercado en Bogotá.

1. BARRIO EL TRIUNFO - ZANJON DE LIMAS - 1ra ETAPA

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
1,1	Replanteo	Global (GL)	1	-	\$ 3.500.000
1,2	Descapote	m ²	2190	\$ 2.500	\$ 5.475.000
1,3	Excavación para gaviones	m ³	750	\$ 10.000	\$ 7.500.000
1,4	Construcción de gaviones con malla revestida en PVC	m ³	1385	\$ 85.000	\$ 117.725.000
1,5	Suministro e instalación de Geotextil No Tejido	m ²	1145	\$ 4.500	\$ 5.152.500
1,6	Relleno compactado	m ³	2360	\$ 12.000	\$ 28.320.000
1,7	Empradización	m ²	2190	\$ 8.000	\$ 17.520.000
SUBTOTAL					\$ 185.192.500

2. CONTROL DE INUNDACIONES - BARRIO JUAN JOSE RONDON - QDA. TROMPETICA

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
2,1	Replanteo	GL	1	-	\$ 1.050.000
2,2	Limpieza del cauce	m	216	\$ 5.000	\$ 1.080.000
2,3	Construcción de bordillo	m	88,5	\$ 396.200	\$ 35.063.700
2,4	Construcción canal revestido en concreto	m	63	\$ 710.400	\$ 44.755.200
2,5	Construcción de box culvert	m	6	\$ 927.900	\$ 5.567.400
2,6	Construcción de cajas	m ³	4,6	\$ 480.000	\$ 2.208.000
2,7	Taponamiento de alcantarilla	GL	1	-	\$ 500.000
SUBTOTAL					\$ 89.174.300

3. PROTECCIÓN DEL TALUD - BARRIO JUAN JOSE RONDON

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
3,1	Replanteo	GL	1	-	\$ 1.050.000
3,2	Descapote	m ²	3.120	\$ 2.500	\$ 7.800.000
3,3	Filtros	m	150	\$ 60.000	\$ 9.000.000
3,4	Relleno compactado	m ³	23.000	\$ 7.000	\$ 161.000.000
3,5	Empradización	m ²	3.120	\$ 8.000	\$ 24.960.000
3,6	Sendero peatonal	m ²	135	\$ 90.000	\$ 12.150.000
SUBTOTAL					\$ 215.960.000

4. CONTROL DE INUNDACIONES - BARRIO JUAN JOSE RONDON - QDA. TROMPETICA
 Alternativa con tubería de 36"

ITEM		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
4,1	Replanteo	GL	1	-	\$ 1.050.000
4,2	Demolición del paso actual.	Gl	1	-	\$ 850.000
4,3	Limpieza del cauce	m	216	\$ 5.000	\$ 1.080.000
4,4	Construcción de bordillo, incluye excavación	m	88,5	\$ 396.200	\$ 35.063.700
4,5	Construcción de alcantarilla $\phi = 36"$, incluye excavación	m	26	\$ 600.000	\$ 15.600.000
4,6	Construcción de cajas de entrada y salida, incluye excavación	m ³	8	\$ 480.000	\$ 3.840.000
				SUBTOTAL	\$ 57.483.700

8 CRONOGRAMAS

1. BARRIO EL TRIUNFO - ZANJON DE LIMAS

ACTIVIDAD	TIEMPO EN SEMANAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Replanteo	█							
Descapote	█	█	█	█	█	█	█	
Excavación para gavión	█	█	█	█	█	█	█	
Construcción de gaviones		█	█	█	█	█	█	
Filtros						█	█	
Relleno compactado		█	█	█	█	█	█	█
Empradización				█	█	█	█	█
Realce de pozos						█	█	

2. BARRIO JUAN JOSE RONDON - LA LAGUNA - DA. TROMPETICA

ACTIVIDAD	TIEMPO EN SEMANAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Replanteo	█							
Limpieza del cauce	█	█			█			
Construcción del bordillo		█	█	█	█	█	█	
Construcción del canal		█	█	█	█	█	█	
Construcción de Box culvert	█	█	█	█	█	█	█	
Construcción de cajas				█	█	█	█	
Taponamiento de alcantarillas							█	

3. BARRIO JUAN JOSE RONDON - ALTO DE LA CRUZ - PROTECCION DE TALUD

ACTIVIDAD	TIEMPO EN SEMANAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Replanteo								
Descapote	█							
Filtros		█	█	█	█	█	█	
Relleno compactado		█	█	█	█	█	█	
Empradización				█	█	█	█	
Sendero peatonal						█	█	

REFERENCIAS

- Acueducto de Bogotá – Estudios y Asesorías, Ingenieros Consultores Ltda. Delimitación de la zona de ronda y zona de manejo y preservación ambiental de los ríos Tunjuelito, Fucha y Salitre.
- Bell, F. Generalized Rainfall-duration-frequency relationships. Proceedings ASCE. Journal of Hydraulics. Jan. 1969.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Información hidrológica.
- IDEAM: Anuarios meteorológicos. Régimen de la Precipitación en Colombia.
- Instituto de Crédito Territorial, seccional Cundinamarca – Ingeniería y Geotecnia Ltda. Estudio Geotécnico del lote San Antonio (Urbanización Marandú, calle 68 sur, carrera 19), Bogotá, 1983.
- Silva M, G. Hidrología básica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional. Bogotá. 1998.
- Silva M, G. Hidrología en cuencas pequeñas con información escasa / Tratamiento de cauces / Erosión pluvial y Transporte de sedimentos en ríos. www.geocities.com/gsilvam.
- Soil Conservation Service. US Department of Agriculture. National Handbook. Section 4. Hydrology. 1972.

Bogotá, Julio 19 de 2004

MOYA Y GARCIA LTDA.

ING. JOSÉ VICENTE AMÓRTEGUI

Director del Proyecto