# INFORME FINAL

# SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II-SECTOR GRAN CHAPARRAL

## 1. INTRODUCCIÓN

El Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias del Distrito Capital, FOPAE, y la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias, UPES, suscribieron con Ingetec S.A, el contrato de consultoría No. 1314-110/97, Estudios y Diseños de Estabilidad de Taludes, Control de Erosión y Manejo de Aguas para la Estabilización de Diferentes Sitios de Ciudad Bolívar, Santa Fe de Bogotá. Estos estudios corresponden al Grupo 1 de todos los que fueron contratados en la misma época con diferentes firmas consultoras. En el Plano 1 se muestra la localización general de los ocho sitios de estudio que constituyen dicho grupo.

El presente informe corresponde a los diseños definitivos del Sitio 1.1, denominado barrio Juan Pablo II - sector Gran Chaparral, ubicado entre las diagonales 68B sur y 69 sur, arriba de la carrera 18Q. El sitio corresponde a una antigua cantera, el cual se ha poblado a su alrededor con familias de escasos recursos, sin ninguna recuperación o adecuación urbanística. Ver localización de la zona de estudio en el Plano 2.

Las condiciones propias del sitio no recuperado, tales como la alta pendiente y los materiales erosionables, han generado con el tiempo un proceso de deterioro del sector, el cual sumado a la disposición inadecuada de basuras y a la construcción no planeada de viviendas en su alrededor, crea una zona de preocupación para el gobierno distrital y de riesgo para sus habitantes.

El presente documento contiene un resumen de los estudios básicos realizados bajo el contrato mencionado, los diseños de las obras remediales que se proponen para mejorar la seguridad del sector, junto con los planos de construcción, las cantidades de obra y el presupuesto. Las especificaciones técnicas se presentan en un volumen aparte, aplicable a los ocho sitios de estudio incluidos en dicho contrato.

# 2. RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO

## 2.1 GENERALIDADES

Desde la década del 60, los cerros localizados al suroccidente de la ciudad de Santa Fe de Bogotá, en la zona correspondiente a lo hoy conocido como Ciudad Bolívar (Localidad 19), donde se localiza el sector Gran Chaparral del barrio Juan Pablo II, fueron sometidos a una actividad de explotación minera a cielo abierto, para la obtención de materiales pétreos destinados a la industria de la construcción. Esta actividad extractiva modificó sustancialmente la morfometría original de dichos cerros y alteró su estabilidad natural. El sitio de estudio Gran Chaparral, corresponde a un antiguo frente de explotación de areniscas de una zona de cantera más amplia que se extendía hacia abajo, sobre la margen derecha de la quebrada de Limas, por debajo de la carrera 18Q. Véase Plano 2.

Después que la explotación de materiales fue abandonada sin que se realizaran obras de recuperación y adecuación de los cortes efectuados, se conformaron algunos rellenos en la parte inferior del área de estudio. Esta zona y el área alrededor del escarpe dejado por la explotación fue ocupada posteriormente por viviendas sin efectuar obras de adecuación de infraestructura para su urbanización, originando así una zona de riesgo para sus habitantes.

### 2.1.1 Información de referencia

La información de referencia consultada y analizada para este estudio se relaciona a continuación:

- Información cartográfica en escala 1:2000, 1:10 000 y 1: 25 000 disponible en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC.

- Información urbana y cartográfica en las bases digitales elaboradas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, y por el Catastro Distrital.

- Cartografía y planos de redes a escala 1:5000, disponibles en la EAAB

- Proyecto de Factibilidad para el Mejoramiento y/o Localización de Asentamientos Humanos Ubicados en Zonas de Alto Riesgo en la Localidad de Ciudad Bolívar, por María de los Ángeles Vargas, 1992.

- Estudio de Investigación Técnica en Áreas de Riesgo en Ciudad Bolívar, Sector Candelaria y Jerusalén, por Javier Pava, 1993.

- Programa de Fortalecimiento y Cualificación del Comité Local de Emergencias en la Localidad de Ciudad Bolívar, por María de los Ángeles Vargas, 1992.

- Estratigrafía y Sedimentología de la Parte Inferior de la Formación Guaduas al sur de la Sabana de Bogotá, por Julivert, 1963.

- Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras, por Julivert, 1963.

- Cartografía geológica general de la zona donde se encuentra el sitio de estudio, Ingeominas.

- Fotografías aéreas del IGAC: números 026 a 028 del vuelo C-1404 de 1972, a escala 1:30 000, y números 390 a 392 del vuelo R1131 de 1991, a escala 1:5000.

- Estudio Geológico - Geotécnico del Área de Deslizamiento localizada entre los barrios Juan Pablo II y Marandúa, elaborado por Luis F. Hoyos P., para la Secretaría de Obras Públicas de la Alcaldía Mayor de Bogotá, 1989.

- Estudio Geotécnico. Sector Gran Chaparral. Fase II. INGEOMINAS, 1995.

### 2.1.2 Condiciones del sector

Ciudad Bolívar es una localidad con grandes problemas ambientales. " Entre los más importantes descuellan la destrucción del suelo por la industria extractiva (canteras y similares), la erosión e inestabilidad de tierras (en parte ligada a la industria extractiva), la degradación del suelo por disposición inadecuada de residuos sólidos, el deterioro de su sistema orográfico (cerros suroccidentales de la ciudad), la insuficiencia de zonas verdes urbanas, la contaminación del agua (río Tunjuelo, quebradas Quiba, Lima y otras), el deterioro de sus cuencas altas, las crecidas e inundaciones y la polución visual. Otros problemas significativos son la contaminación del aire por la industria extractiva y el ruido" [1].

La zona de estudio se localiza sobre la ladera occidental de uno de los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, que bordean el extremo sur de la sabana de Bogotá, en inmediaciones de la margen izquierda del río Tunjuelito, con coordenadas aproximadas

[1] DAMA "Perfil Ambiental de Santa Fe de Bogotá". Corporación Misión siglo XXI. Pág 187, 1996

(origen Bogotá) N95 500 y E92 000 y una elevación de 2640 msnm. La zona está limitada según la nomenclatura del área entre las diagonales 68B sur y 69 sur entre las carreras 18Q y 18Q Bis.

Ante la existencia de fenómenos naturales adversos a los pobladores que habitan en sectores cercanos a los sitios donde es probable su ocurrencia, se decidió declarar éstos como " zonas de riesgo", por su permanente exposición a la amenaza. Entre éstas se encuentra el barrio Juan Pablo II - sector Gran Chaparral.

Los planos de la EAAB no muestran redes oficiales de alcantarillado, aunque sí las hay, ya que fueron construidas por la comunidad. Las aguas residuales son descargadas a la quebrada de Limas. Se encuentran instalados los medidores de acueducto y energía, por parte de las empresas respectivas, lo que significa que ya hay reconocimiento por parte de dichas empresas de las redes existentes. La estratificación según la facturación de las empresas de servicios públicos es: estrato 1 por la ETB, para el servicio telefónico, y 2 por la EAAB y EEB, para los servicios de agua y energía.

El sector del Gran Chaparral, en su desarrollo constructivo, ha levantado viviendas en materiales resistentes. Predominan las bases en cemento, las paredes en ladrillo o bloque, y plancha en cemento para continuar el segundo piso; algunas de ellas tienen dos pisos.

A nivel de espacios recreativos, aunque no existen zonas verdes, existen dos sitios donde acondicionaron juegos infantiles. La posibilidad de recuperar el sector del talud, para incorporarlo como espacio público de la ciudad, hace posible proveer a la comunidad de un sitio de recreación y zona verde.

El salón comunal con el que cuenta Gran Chaparral es el mismo de Juan Pablo II, donde los habitantes tienen oportunidad de utilizarlo para el ejercicio organizativo y participativo de todo el barrio.

## 2.2 TOPOGRAFÍA

Se ubicaron dos puntos con mojón en concreto y platina metálica, identificados con los nombres de 11-LE y 13G-CH, mojones que fueron amarrados en coordenadas y cotas al vértice BOSA-5 Datum Bogotá y planos cartesianos con origen Bogotá, datos certificados por el IGAC.

Desde estos dos puntos se radiaron los puntos necesarios para detallar la zona requerida para el diseño de las obras. En algunos casos fue necesario colocar puntos auxiliares como complemento, por la magnitud de la topografía.

Adicionalmente, se ubicaron los paramentos de las manzanas, midiendo los predios correspondientes a cada manzana.
En el Anexo 1 se presentan la certificación del IGAC, las coordenadas y cotas de los puntos de referencia y las carteras de campo realizadas para el levantamiento y en el Plano 2 la topografía respectiva.

## 2.3 GEOLOGÍA

### 2.3.1 Estratigrafía

La secuencia litológica en Juan Pablo II - sector Gran Chaparral se presenta de la unidad más reciente a la más antigua, que corresponde a materiales de deslizamiento (Qd); depósito de estériles y escombros (Qe) y un relleno (Qr), del período cuaternario, y rocas de la Formación Guaduas, cuya edad está comprendida entre los períodos Cretáceo superior y Terciario inferior. (Ver Planos 3, 3A, 4 y 4A).

#### 2.3.1.1 Cuaternario

- **Materiales de deslizamiento (Qd)**

En la parte superior del sitio de estudio se presentó un deslizamiento hace aproximadamente cuatro años. Los materiales removidos en este deslizamiento están conformados por fragmentos y grandes bloques de arenisca, distribuidos caóticamente y soportados en matriz arcillo-arenosa. Se estima que estos materiales conforman un depósito cuyo espesor es del orden de 3 m.

- **Depósito de estériles y escombros (Qe)**

Es un depósito no consolidado, dispuesto sobre la superficie estructural de un nivel de arcillolita, el cual subyace al paquete de arenisca y está conformando el talud sur de la antigua cantera. El depósito está constituido por arcilla, bloques angulares de variado tamaño de arenisca y escombros correspondientes a estériles de la actividad extractiva, a material desprendido de los taludes de la antigua cantera y residuos de la demolición de algunas viviendas localizadas en el sitio que fueron afectadas por el deslizamiento.

Este depósito es inestable y se mueve hacia abajo sobre la superficie estructural afectando algunas viviendas localizadas en la parte central de la antigua cantera.

- **Relleno (Qr)**

Es un depósito medianamente consolidado, conformado por bloques angulares de arenisca de tamaño variable, suelo, escombros y basuras, dispuesto en el sector que correspondió al patio de la antigua cantera.

### 2.3.1.2 Cretáceo - Terciario

- **Formación Guaduas (Tkg)**

La Formación Guaduas es una unidad de carácter arcilloso principalmente, aunque con importantes intercalaciones de arenisca. Su ámbito de formación es transicional entre marino y continental y su espesor varía entre 700 y 1000 metros. Esta formación genera un relieve normalmente deprimido.

Las rocas que afloran en la zona de estudio corresponden a la parte inferior de la Formación Guaduas. La presencia de una pequeña falla local con orientación aproximada EW, que atraviesa los predios de la antigua cantera, define una secuencia litológica a cada lado de su trazo.

Al Sur de la falla está presente un nivel de arcillolita gris, suprayacido por un nivel de aproximadamente 8 m de espesor de arenisca amarilla clara, cuarzosa, de grano fino a medio, con matriz arcillosa, en capas gruesas (0,8 a 2,0 m de espesor), con intercalaciones de capas delgadas (1 a 4 cm de espesor) de arcillolita gris laminada. Sobre este nivel se presenta una secuencia interestratificada de aproximadamente 4,0 m de espesor de capas medianas (0,2 a 0,4 m de espesor) de arenisca amarilla y gris clara, cuarzosa, de grano fino a medio y arcillolita gris laminada. Los taludes sur y oriental de la antigua cantera están conformados en los niveles que suprayacen la arcillolita.

Al norte de la falla no hay afloramientos de roca, pues ésta se encuentra cubierta con los materiales de los depósitos del Cuaternario ya descritos. Sin embargo, se deduce que se presentan varios niveles de arenisca, cuyos espesores varían de 1 a 3 m posiblemente, intercalados con arcillolita gris.

### 2.3.2 Geología estructural

En Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral, las capas de la Formación Guaduas se encuentran plegadas y afectadas por dos pequeñas fallas verticales locales, una de rumbo y otra normal.

La falla de rumbo es de desplazamiento izquierdo, con dirección EW y atraviesa la zona de estudio, definiendo los bloques Norte y Sur. En el extremo occidental del bloque Sur, se encuentra la falla normal, la cual tiene dirección aproximada NS. Esta falla define dos bloques con desplazamiento relativo respecto uno del otro: el oriental levantado y el occidental hundido que coloca en contacto fallado el nivel de 8,0 m de espesor de arenisca con un nivel de arcillolita. (Véase Plano 4).

En el bloque Norte, se tomaron datos de estratificación en dos sitios, uno de ellos por fuera de la zona de estudio, debido a la escasez de afloramientos. Estos datos son N42°W/34°NE y N40°W/35°SW, los cuales permiten deducir que en este sector las capas de la Formación Guaduas están plegadas y conforman un anticlinal cuyo eje tiene dirección aproximada N40°W. (Véanse Planos 3 y 4).

En el bloque Sur, la estratificación presenta orientación N20°E/15°NW y de N7° - 80°W/12° - 32°SW. En este sector, las capas de la Formación Guaduas hacen parte del flanco occidental de un pliegue anticlinal, cuyo eje, localizado arriba y por fuera de la zona de estudio, está orientado aproximadamente en dirección NS.

Para una mejor comprensión de las estructuras del sitio de estudio, se amplió la cartografía geológica del sector usando como información base, los informes de INGEOMINAS (1995) y del Ingeniero Luis Fernando Hoyos (1989). La falla de rumbo (ya mencionada en los párrafos anteriores) se prolonga hacia el occidente, pero su trazo está cubierto por depósitos cuaternarios. Al norte de la falla de rumbo se encuentra además del pliegue anticlinal ya referido, un pequeño pliegue sinclinal al occidente del Gran Chaparral, cuyo eje esta orientado en la dirección N13°-15°E. Al occidente de la carrera 18Q, sobre la parte inferior de la ladera, se encuentran dos afloramientos de estratos de arenisca orientados N21°-40°E/15°-50°SW. Estos estratos están cubiertos casi en su totalidad por los materiales del relleno (Qr), que fueron dispuestos sobre lo que correspondió al patio inferior de la antigua cantera. (Véanse Planos 5 y 6). Esta situación indica que los niveles interestratificados de arenisca y arcillolita que soportan el relleno (Qr) no buzan en el mismo sentido de la pendiente del terreno y, por lo tanto, le confieren a este un alto grado de estabilidad.

En cuanto al grado de fracturamiento del macizo rocoso, se establece que este es variable. El nivel de arenisca, de 8,0 m de espesor, se encuentra en general poco fracturado, mientras que la serie suprayacente de capas delgadas a medias de arenisca (interestratificada con arcillolitas) se presenta moderadamente fracturada. Los taludes sur y oriental están conformados por esta secuencia de rocas, pero los depósitos recientes (relleno, estériles, escombros y materiales de deslizamientos) cubren por partes el primer nivel de arenisca. En el sector norte, solo hay un pequeño afloramiento de arenisca que no permite deducir el grado de fracturamiento de la roca en este sector.

En la parte central del talud sur y sobre el talud oriental se tomaron datos de estratificación y diaclasas, los cuales se procesaron mediante el programa de computador STEREO para obtener los principales sistemas de discontinuidades.

En el talud sur sector central los principales sistemas de discontinuidades son:

Estratificación: N6°W/32°SW

Diaclasas:

Sistema 1: N16°W/59°NE
Sistema 2: N63°W/75°NE
Sistema 3: N72°E/89°NW

La estratificación es continua, bien definida, gruesa a muy gruesa en el primer nivel de arenisca y delgada a media en la serie de estratos que le suprayacen.

Las diaclasas son discontinuas, bastante próximas a muy separadas, planas a onduladas, ligeramente abiertas, con relleno de arcilla blanda, rugosas y secas.

En el talud sur sector oriental los principales sistemas de discontinuidades son:

Estratificación N80°W/12°SW

Diaclasas:

Sistema 1: N17°W/75°NE
Sistema 2A: N76°E/84°NW
Sistema 2B: N59°E/77°NW

En las Figuras 1 y 2 se presentan los diagramas de contornos de densidad de polos de las discontinuidades.

La estratificación se tomó en la secuencia interestratificada de areniscas y arcillolitas, donde esta es continua y de delgada a media.

Las diaclasas son discontinuas, de continuidad media y continuas, bastante próximas, planas, abiertas a muy abiertas, con relleno de arcilla blanda, rugosas y secas.

### 2.3.3 Geomorfología

La zona de estudio está localizada en la parte superior de la ladera occidental de una colina que hace parte de los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, que bordean el extremo sur de la Sabana de Bogotá, en inmediaciones de la margen izquierda del río Tunjuelito. Estos cerros hacen parte de un relieve montañoso estructural plegado-denudacional, conformado en el sector de Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral, por rocas de la Formación Guaduas.

La zona de estudio, como las restantes localizadas sobre los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, han sufrido una fuerte intervención antrópica, caracterizada por la explotación minera antitécnica a cielo abierto para la obtención de materiales de construcción, y el posterior urbanismo subnormal sin previa adecuación de terrenos ni infraestructura básica de servicios públicos.

La extracción de arenisca alteró las características morfométricas originales del terreno, introduciendo taludes verticales, disponiendo depósitos de materiales no consolidados y medianamente consolidados sobre un nivel de arcillolita y erradicando la escasa vegetación nativa. Las aguas servidas no drenadas adecuadamente por la falta de alcantarillado, las fugas de agua potable y las aguas de escorrentía se infiltraron en el macizo rocoso, y ocasionaron su falla.

### 2.3.4 Sismología

En el estudio de "Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá" elaborado por INGEOMINAS (1997), se definieron cinco zonas principales. La zona de Ciudad Bolívar, se ubica dentro de la Zona 1 - Cerros, de las establecidas en dicho estudio. La aceleración máxima (Am) establecida para esta zona es de 0,24 g.

Por otra parte, por su entorno geológico, Santa Fe de Bogotá se ubica en una zona de amenaza sísmica intermedia, con un valor de aceleración máxima probable de 0,20 g, según el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia.

Para el presente estudio se adoptó un valor de la aceleración máxima de diseño de 0,24 g.

## 2.4 GEOTECNIA

### 2.4.1 Descripción del problema

La actividad minera que se adelantó en la zona y el posterior abandono de los frentes de explotación conformaron una morfología de pendientes fuertes y áreas de inestabilidad

potencial, las cuales fueron ocupadas para vivienda sin que se efectuaran obras de adecuación y de infraestructura para su urbanización. Dentro de la zona se identificaron los siguientes problemas de inestabilidad:

- **Deslizamientos**

A la fecha se han presentado varios eventos de este tipo en la zona. El más reciente ocurrido en 1995, se ubicó en los taludes del límite superior de la zona en estudio, en el que involucró los suelos residuales de arcillolita y niveles de arcillolita moderadamente alterada y de arenisca fracturada, a ambos lados de la falla local que atraviesa el sector, en dirección EW. El volumen de material deslizado fue aproximadamente de 1000 $m^3$. Como consecuencia de este deslizamiento se desalojaron y reubicaron los habitantes de algunos de los predios que quedaron dentro de la zona en movimiento y cercanos a los escarpes del deslizamiento. Actualmente, el material deslizado está produciendo empujes en el terreno de fundación de las viviendas adyacentes, lo que ha provocado el agrietamiento de algunas de ellas.

De acuerdo con los testimonios de habitantes del sitio y según lo registra el Ingeniero Luis Fernando Hoyos en su informe de 1987, a finales de la década del 70 ocurrió un deslizamiento de gran magnitud en el talud inferior del costado norte, bajo la carrera 18Q Bis, que involucró la parte inferior del costado norte del sector de Gran Chaparral. Este deslizamiento fue de tipo rotacional y en la actualidad no se encuentran evidencias debido a los movimientos de tierra y construcción de nuevas viviendas que se han realizado en el área desde esa fecha. Movimientos locales de esa masa de suelo se produjeron en 1984, lo que ocasionó el asentamiento de la banca de la carretera. Actualmente la banca de la vía es estable y no muestra signos de desplazamientos recientes.

- **Caída de bloques**

Este fenómeno se presenta en el talud sur de la cantera y con mayor intensidad hacia el extremo oriental, en el escarpe que quedó del deslizamiento rotacional citado anteriormente. En este talud aflora arenisca altamente fracturada, intercalada con niveles arcillosos, en el cual se encuentran algunos bloques que alcanzan hasta 1 $m^3$ de volumen, que ocasionalmente se desprenden del talud, donde la orientación de la estratificación respecto al talud es más favorable al deslizamiento. La caída de bloques representa un riesgo alto para las viviendas que se localizan muy cerca, tanto de la corona como del pie del talud.

- **Reptación**

Se presenta en el sector norte del área, entre las diagonales 68 sur y 68 B sur, donde se aprecia escalonamiento del terreno y pequeños escarpes. Estos movimientos han producido agrietamientos en algunas viviendas.

- **Erosión hídrica**

Se presenta en forma de cárcavas y surcos como resultado de la falta de un sistema de recolección de aguas lluvias provenientes de la carrera 18 Q Bis y del área aledaña. Estas escurren libremente sobre los taludes y remueven los niveles blandos de arcillolita meteorizada y los materiales de deslizamiento.

### 2.4.2 Zonificación geotécnica

Se evaluó la composición del subsuelo diferenciando los tipos de suelo según sus características geológicas, el tipo, el grado de meteorización de la roca, el grado de fracturamiento de la misma, las condiciones particulares de drenaje y estabilidad que se observaron en las inspecciones del terreno y en los reconocimientos geológicos y geotécnicos.

El talud de estudio se dividió en tres zonas geotécnicas homogéneas, que corresponden a talud norte, talud sur y talud central.

- **Talud norte - Zona 1**

Esta zona comprende la parte norte del escarpe, donde la altura de los taludes oscila entre 1 m y 5 m, observándose las menores alturas hacia la carrera 18 Q Bis, en la parte baja del área en estudio. Este talud está constituido por arcillolita de color amarillento y gris, altamente meteorizada, intercalada con niveles delgados de arenisca, sobre el cual se observan conos de material deslizado y basuras, que cubren la superficie de roca. La ladera natural tiene una inclinación entre 10° y 12° y los taludes de los escarpes de deslizamiento, varían entre 50° y verticales.

Esta zona fue afectada por el deslizamiento ocurrido en 1995, que ocasionó la reubicación de los habitantes de algunos de estos predios. Se identificaron procesos de erosión hídrica laminar, que afecta los suelos residuales superficiales, y erosión en cárcavas, que han dado origen a los conos de materiales deslizados que se observan en la base del talud. En la parte baja de esta zona, en cercanía de la carrera 18 Q Bis, se observan fenómenos de reptación.

- **Talud sur - Zona 2**

Esta zona comprende la parte sur del escarpe, donde el talud alcanza una altura máxima de 12 m. En él aparece arenisca de grano medio a fino altamente fracturada, intercalada con niveles de arcillolita de color amarillento y gris, moderadamente meteorizada. Los taludes tienen inclinación entre 70° y 85°. En esta zona se presentó un desprendimiento de bloques que afectó las viviendas localizadas en la corona del talud y en la base del mismo.

Se identificaron procesos de erosión hídrica laminar que afectan los suelos residuales y, localmente, se presenta erosión concentrada con formación de cárcavas y erosión diferencial que afecta los niveles de arcillolita. En los niveles de arenisca que afloran en esta zona se presentan ocasionalmente caídas de bloques.

- **Talud central - Zona 3**

Esta zona comprende la base y el patio de la cantera donde se conformó un relleno con los residuos de la explotación y donde se han acumulado los materiales provenientes de los deslizamientos que se han presentado en el área, cuyo espesor alcanza un máximo de 7 m. Se observan bloques y cantos en matriz arcillosa, los cuales conforman un depósito de deslizamiento donde se presentan escarpes de pequeños deslizamientos locales y escalonamiento del terreno.

No se observaron afloramientos de agua en la base de los taludes de las laderas adyacentes ni en los taludes ladera abajo de este sitio, ni en áreas aledañas que pueden provenir de la infiltración de aguas en la parte superior del talud.

### 2.4.3 Exploración del subsuelo

En desarrollo de los estudios realizados por Luis Fernando Hoyos en 1989 e Ingeominas en 1995, se efectuaron investigaciones geotécnicas que consistieron en la ejecución de perforaciones, líneas de refracción sísmica y ensayos de laboratorio. Las exploraciones de campo realizadas por Luis Fernando Hoyos en 1989, consistieron en dos perforaciones, que quedaron ubicadas dentro del área de interés para el presente estudio, denominadas S-3 y S-4 hasta una profundidad de 1,6 m y 1,7 m, respectivamente, y su localización se muestra en el Plano 3.

En el estudio de Ingeominas de 1995 se efectuó un perforación denominada Perf-1, ejecutada hasta 7,16 m de profundidad, localizada dentro de la zona de deslizamiento, como se muestran en el Plano 3. Para este estudio, se efectuaron dos líneas sísmicas, localizadas en la zona central del deslizamiento, a lo largo de la diagonal 69 sur.

Con el fin de complementar las investigaciones geotécnicas, para el presente estudio se ejecutó una perforación, PT-GCH-1, que se llevó hasta 9,9 m de profundidad y se tomaron muestras superficiales de los escarpes de arcillolita para ensayos de clasificación. Los registros litológicos de estas exploraciones se presentan en el Anexo 2

### 2.4.4 Ensayos de laboratorio

Sobre las muestras de los materiales obtenidos de los afloramientos y de la perforación PT-GCH-1 se realizaron ensayos de laboratorio con el objeto de determinar su composición granulométrica y propiedades índice para clasificación, para lo cual se ejecutaron gradaciones por tamizado y se determinaron los límites de consistencia. En la Tabla 1 se resumen los resultados de los ensayos.

En los estudios realizados por Ingeominas en 1995 se efectuaron ensayos de compresión inconfinada y de carga puntual, los cuales se utilizaron para determinar los parámetros de la masa rocosa; los resultados de estos ensayos se presentan en el Anexo 2.

A continuación se describen los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio:

En los estudios de Ingeominas de 1995, realizados en el sector de Gran Chaparral, se obtuvieron valores de resistencia en el ensayo de carga puntual $Is_{50}$ entre 0,15 MPa y 1,07 MPa, en los fragmentos de limolita de color gris verdoso con alguna oxidación, fracturada, de la Formación Guaduas.

Sobre muestras de la arcillolita de la Formación Guaduas, obtenidas en el sector de Gran Chaparral, los valores de resistencia en el ensayo de carga puntual $Is_{50}$ oscilaron entre 0,31 MPa y 0,65 MPa. En los ensayos de compresión inconfinada sobre núcleos de arcillolita obtenida en la perforación Perf-1, se determinaron los siguientes valores:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Peso unitario seco | 20,7 | a | 20,8 | kN/m³ |
| Peso unitario húmedo | 21,7 | a | 22,1 | kN/m³ |
| Humedad natural | 4,2% | a | 6,3% | |
| Resistencia a la compresión inconfinada, qu | 284,2 | a | 428,3 | kPa |

En los ensayos de clasificación de estos materiales efectuados para el presente estudio, las propiedades índice de los suelos residuales de la arcillolita presentaron los siguientes valores:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Grava | 2,9% | a | 7,8% |
| Arena | 1,4% | a | 15,8% |
| Fracción fina | 84,2% | a | 98,6% |
| Límite líquido | 37% | a | 41% |
| Índice de plasticidad | 14% | a | 19% |
| Clasificación USC | CL | | |

En el estudio de Ingeominas, para la arenisca de grano fino de color gris claro, bien cementada, con algo de oxidación, en estratificación masiva, los valores de resistencia en el ensayo de carga puntual $Is_{50}$ oscilaron entre 0,38 MPa y 2,7 MPa

El depósito de estériles y escombros incluye los materiales acumulados durante los trabajos de explotación y los provenientes de los deslizamientos que se han presentado en el área, constituidos en general por bloques y cantos de arenisca, en matriz arcillosa.

En los ensayos de clasificación efectuados para el presente estudio, las propiedades índice de los suelos que constituyen los materiales de deslizamiento y relleno oscilaron entre los siguientes valores:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Arena | 1,6% | | |
| Fracción fina | 98,4% | | |
| Límite líquido | 39% | a | 49% |
| Índice de plasticidad | 19% | a | 26% |
| Humedad natural | 15% | a | 21% |
| Clasificación USC | CL | | |

Los materiales que conforman el relleno presentan las siguientes propiedades:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Límite líquido | 31% | a | 49% |
| Índice de plasticidad | 16% | a | 26% |
| Humedad natural | 20% | a | 21% |
| Clasificación USC | CL | | |

## 2.5 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

El inadecuado manejo de las aguas lluvias y residuales son la causa detonante de los problemas de inestabilidad. Las consideraciones principales de este aspecto son:

- El cambio en la cobertura del suelo de la parte superior del cerro ha incrementado los caudales de escorrentía.

- Las aguas de escorrentía no han tenido ningún manejo de tipo hidráulico y ambiental. Las velocidades de flujo son altas y crean erosión en el pie de los taludes, contribuyendo a la inestabilidad de la zona aledaña a la antigua cantera.

- La falta de planificación para la construcción de viviendas en este sector ha producido una alteración del drenaje natural.

- En cuanto al manejo de las aguas residuales de la zona, se detectó que la mayoría de las redes existentes son construidas por los habitantes del sector y, en muchos casos, se instalaron defectuosamente y sin tener en cuenta las normas técnicas de la EAAB, lo cual ocasiona el deterioro temprano de algunas tuberías por las cuales drena el agua que posteriormente va al terreno natural, causando problemas de estabilidad de las laderas.

## 2.6 PLANTEAMIENTO DEL ORIGEN DEL PROBLEMA

La explotación de materiales pétreos destinados a la industria de la construcción afectó un área de aproximadamente 2,0 ha, cuya área superior de 0,5 ha, constituye el sector de Gran Chaparral, objeto del presente estudio. La ladera natural, en la cual se desarrolló la explotación, tiene una pendiente media de cerca de 20°. Como resultado de la explotación, se generó un escarpe con pendientes fuertes y con altura hasta de 12 m. En el patio y en el talud central se conformaron rellenos con el material estéril y los residuos de la explotación. Sobre estos materiales y alrededor de los taludes se desarrolló la urbanización del sector sin que se realizaran las obras de adecuación y drenaje correspondientes.

Una vez fueron ocupados los terrenos adyacentes a la cantera, los procesos erosivos tomaron mayor intensidad sobre las superficies desprotegidas de los taludes. La construcción de viviendas muy cerca a la corona de los taludes y la construcción de redes de acueducto y alcantarillado en forma defectuosa y parcial, permitieron la afluencia de flujos concentrados sobre el talud, lo que ha causado problemas de inestabilidad en varios sectores. El principal de estos fenómenos ocurrió en 1995, como consecuencia de la rotura de un tubo de la red domiciliaria del acueducto en una casa ubicada sobre la parte superior del escarpe, la cual se destruyó con el deslizamiento. Este deslizamiento involucró principalmente los niveles arcillosos, afectados por la falla con dirección EW.

Actualmente, el material deslizado está ejerciendo un empuje al terreno de fundación de las viviendas más próximas, que ha ocasionado el agrietamiento de algunas de ellas.

# 3. MEDIDAS CORRECTIVAS

Dadas las condiciones de subnormalidad en que han surgido los desarrollos urbanos del sector, se hace necesario poner en marcha obras y programas de ordenamiento urbano, tendientes a reducir el riesgo de sus habitantes. Para estas obras se realizaron diseños geotécnicos encaminados a reconformar y proteger los taludes, diseños hidráulicos para las obras relacionadas con el control de erosión y manejo de aguas, definición de los límites de afectación y diseño de obras de urbanismo, paisajismo y usos del suelo. Estos diseños se resumen a continuación.

## 3.1 DISEÑOS GEOTÉCNICOS

### 3.1.1 Análisis de estabilidad del talud

Las diferencias geométricas y de composición existentes en el talud de interés del barrio Juan Pablo II - sector Gran Chaparral, hacen necesario revisar independientemente cada una de las zonas en que se subdividió éste.

- **Talud norte**

En el talud norte, zona geotécnica 1, se produjo un deslizamiento en 1995, el cual involucró las capas arcillosas de suelo residual y arcillolita altamente meteorizada y el paquete de arenisca del extremo oriental del talud sur (zona geotécnica 2). Con el fin de verificar la estabilidad del talud de arcillolita, se efectuó un análisis de estabilidad en el cual se consideró la superficie original del terreno, tomada del plano topográfico de L.F. Hoyos, 1989, y la superficie de deslizamiento observada actualmente. Para determinar los parámetros de resistencia del material, se efectuó un análisis mediante el procedimiento de Hoek, en el cual se tomaron los valores de resistencia a la compresión inconfinada obtenidos por INGEOMINAS, 1995, sobre núcleos de arcillolita de la perforación Perf-1, a profundidades entre 4,4 m y 6,4 m. A partir de este análisis, se dedujo un valor para el ángulo de fricción de 20° y para la cohesión de 10 kPa. Véase Figura 3.

Con estos parámetros de resistencia y un coeficiente de presión de poros de 0,35, representativo de un estado de alta saturación que debió presentarse en el momento de la falla, como consecuencia de la rotura del tubo del acueducto, se efectuó un análisis de estabilidad mediante el método de Spencer-Wright, implementado en el programa Galena.

En la Figura 4 se presenta la superficie de deslizamiento analizada. Debido a que el factor de seguridad calculado para las condiciones anteriores es inferior a la unidad, se efectuó un análisis restrospectivo con el fin de establecer los parámetros de resistencia que sean más representativos de las condiciones medias del talud. Al considerarse que el talud en el momento de la falla tiene un factor de seguridad igual a 1,0, entonces los parámetros de resistencia característica de la masa de arcillolita deben ser cercanos a una fricción de 24° y una cohesión de 20 kPa. En la misma figura se presentan estos resultados. Con estos parámetros se evalúa el efecto de las medidas correctivas que se proponen más adelante.

- **Talud sur**

La estabilidad del talud sur, zona geotécnica 2, se verificó a partir de un análisis cinemático de cuñas y bloques mediante la representación estereográfica de los planos de discontinuidad y del plano perteneciente a la cara del talud. Además, para determinar los modos de deslizamiento y los factores de seguridad se efectuó un análisis del bloque crítico, mediante la metodología de Goodman y Shi, con el cual se determinaron los bloques de roca correspondientes a cada modo de deslizamiento. En el cálculo del factor de seguridad se asumió un ángulo de 32° para la resistencia a la fricción de los planos de discontinuidad presentes en la masa de roca de arenisca. Debido al cambio de orientación de los planos de estratificación en esta parte del escarpe, el talud sur se dividió en dos sectores: un primer sector que corresponde a la parte central del talud y un segundo, que corresponde al sector oriental. En las Figuras 5 y 6 se presenta la proyección estereográfica de los planos de las discontinuidades y de la cara del talud, para cada sector, y la tabla del cálculo del factor de seguridad para cada uno de los modos de deslizamiento.

Con base en las anteriores figuras, se deduce que en el sector central del talud existe la posibilidad cinemática de que se forme una cuña potencial de deslizamiento formada por la intersección del plano de estratificación, con el Sistema 2 de diaclasas. Esta cuña es estable, con un factor de seguridad mayor de 1,7 bajo condiciones de carga estática y sin presiones hidrostáticas. En el caso del sector oriental, se mantiene el modo de falla a lo largo de la intersección de la estratificación con el Sistema 2, pero con un factor de seguridad más alto. Además, existe un segundo modo de falla a lo largo de la intersección entre los Sistemas 2A y 2B, cuyo factor de seguridad es del orden de 1,7.

Los anteriores resultados permiten concluir que el talud sur es estable, con un factor de seguridad mínimo de 1,7 en condiciones estáticas. Este factor de seguridad es adecuado, si se mantiene el talud libre de presiones de agua en su interior.

- **Talud central**

Este talud tiene una pendiente de cerca de 20° en el sector por encima de la elevación 2645 msnm, mientras que, por debajo de ésta, la pendiente del terreno llega a ser horizontal. La pendiente suave, paralela a la del terreno natural, y la orientación de los planos de estratificación, permiten concluir que este talud tiene condiciones favorables de estabilidad desde el punto de vista de la masa rocosa. Sin embargo, en la superficie de este talud, existe un depósito de material de baja densidad que ha experimentado desplazamientos como consecuencia del desprendimiento de la masa del talud superior. Este depósito y el material del deslizamiento que lo cubre son inestables y deben ser removidos en su totalidad por encima de la elevación citada anteriormente.

### 3.1.2 Diseño de las obras de estabilidad del talud

A continuación se establece el diseño de los sistemas de protección y refuerzo de cada uno de los taludes en que se dividió la zona de la antigua cantera en el sector de Gran Chaparral.

- **Talud norte**

Para determinar la pendiente óptima del talud, se llevaron a cabo análisis de estabilidad en los que se consideraron pendientes del talud hasta de 1,0H : 1,0V. Para ésta pendiente, el factor de seguridad es de 1,5 en condiciones de carga estática y de 1,0 en condiciones de sismo, según se muestra en la Figura 7. De acuerdo con esto, el talud constituido principalmente por arcillolita deberá reconformarse para lograr una pendiente uniforme de 1,0H: 1,0V.

- **Talud sur**

Según se estableció anteriormente, este talud es estable mientras se mantenga libre de presiones de agua y se proteja adecuadamente.

Para esto, se propone la protección del talud mediante la colocación de una capa de concreto neumático, malla metálica y pernos de 2,5 m de longitud, espaciados 2,0 m en ambas direcciones.

Previo a la colocación de la protección, el talud deberá desabombarse para eliminar los bloques y masas sueltas que amenacen con desprenderse.

- **Talud central**

El tratamiento de este talud comprende la remoción del depósito de escombros y residuos de explotación y del material de deslizamiento en el área por encima de la elevación 2644,5 msnm. Esta remoción implica la evacuación y demolición de algunas viviendas ubicadas en esta zona. La superficie del talud se deberá conformar con una pendiente promedio de 2,5 H : 1,0V y proteger con pasto.

## 3.2 DISEÑO DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS

El sistema de drenaje de aguas lluvias se estudió en forma cuidadosa en el sector, debido a la falta de uniformidad del desarrollo urbanístico. Véanse Planos 7 y 8.

Como medidas estructurales o físicas para el manejo de las aguas lluvias se proponen la construcción de cunetas y colectores.

Para el sector en estudio se plantean las siguientes obras:

- Construcción del sistema de drenaje de aguas lluvias, consistente en cunetas en concreto de sección trapezoidal, ubicadas en la parte alta y baja del talud, diseñadas para drenar la totalidad del talud.

- Se plantea un colector de aguas lluvias que recibirá los aportes de las cunetas y que finalmente se empalmará con el colector futuro que debe estar integrado a la red de aguas lluvias de la EAAB.

A continuación se presentan los criterios de diseño para el dimensionamiento de las obras de drenaje contempladas.

### 3.2.1 Estudios hidrológicos

#### 3.2.1.1 Lluvias

##### 3.2.1.1.1 Régimen de lluvias

En la zona, el régimen de lluvias es bimodal, presentándose dos períodos de lluvias, de abril a mayo y de septiembre a noviembre, y dos períodos secos, entre los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto. Para la determinación del régimen pluvial se tomaron como

base los registros históricos de la estación El Tunal operada por la EAAB. [2], los cuales se presentan en la Tabla 2 y Figura 8.

#### 3.2.1.1.2 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia

Se utilizaron las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia calculadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, adoptando para diseño las ecuaciones correspondientes al sector en estudio.

### 3.2.1.2 Caudales

Cuando se carece de información hidrométrica, como es el caso del sector en estudio, es factible obtener los caudales máximos mediante un modelo matemático, que tiene en cuenta las características hidrológicas y morfométricas propias de cada cuenca y permite relacionar los caudales de drenaje con la precipitación máxima que cae sobre la misma para diferentes períodos de retorno, asumiendo que el caudal así estimado tiene el mismo período de recurrencia que la precipitación que lo genera.

Se adoptó el modelo conocido como Método Racional, de muy sencilla aplicación en cuencas o subcuencas con extensión menor o igual a 2,5 $km^2$, cubriendo así la totalidad del área de drenaje del sector en estudio.

### 3.2.1.3 Período de retorno de diseño

El cálculo de los caudales máximos se realizó para períodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Se adoptaron para diseño, períodos de retorno de 10 años para cunetas, 25 y 50 años para canales y estructuras de paso y 100 años en canales y pasos ubicados aguas arriba de asentamientos humanos, de acuerdo este último con las Normas vigentes de la EAAB.

### 3.2.1.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés.

[2] Fuente. Estudios Geotécnicos Sector Gran Chaparral FASE II - INGEOMINAS, Diciembre de 1993.

De las diversas expresiones que se tienen para determinar este tiempo, en el presente estudio se adoptó la propuesta por Kirpich, la cual se aplica bastante bien a cuencas pequeñas y está representada por la siguiente ecuación:

$$Tc = 3{,}9756 \times L^{0{,}77} \times S^{-0{,}385}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, en minutos
L = Longitud del cauce desde el sitio más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés, en kilómetros.
S = Pendiente ponderada del cauce, en (m/m).

Los resultados se presentan en la Tabla 3.

### 3.2.1.5 Caudales de diseño

La metodología más utilizada en hidrología para generar caudales en cuencas pequeñas o menores donde no existe información hidrométrica, consiste en la estimación del caudal suponiendo una intensidad uniforme de la precipitación para la duración total del evento. De esta forma el caudal en un punto dado de la cuenca crecerá paulatinamente hasta alcanzar un valor máximo cuando la totalidad de la cuenca esté contribuyendo a la escorrentía en el sitio de concentración de las aguas, y permanecerá constante a partir de ese momento hasta que termine el evento de precipitación.

El procedimiento resultante para calcular el caudal máximo se conoce con el nombre de "Método Racional" y se expresa mediante la relación:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3{,}6}$$

Donde:

Q = Caudal máximo, ($m^3/s$)
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de la lluvia, (mm/h)
A = Área de drenaje, ($km^2$)

#### 3.2.1.5.1 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es aquel que relaciona el volumen total del agua precipitada con el volumen real de la escorrentía producida después de descontar las pérdidas por almacenamiento, retención e infiltración; es propio de cada cuenca y depende de la morfometría de ella, del tipo de suelo, de la cobertura y de la condición de humedad antecedente.

Para el coeficiente de escorrentía se siguieron los criterios presentados en el texto Applied Hydrology[3] . Con base en las características del suelo y la cobertura vegetal de las cuencas, se adoptó un coeficiente de escorrentía C de 0,80.

#### 3.2.1.5.2 Intensidad

La intensidad se selecciona para una duración igual a la del tiempo de concentración propio de la cuenca y para el período de retorno establecido; consecuentemente, el caudal calculado corresponderá a la creciente con una frecuencia igual a la de la precipitación con la intensidad seleccionada.

La intensidad de la lluvia en mm/h para los diferentes períodos de retorno se obtuvo a partir de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia, calculadas por la EAAB, obteniéndose los resultados que se indican en la Tabla 4 y en la Figura 9. Se considera que la duración de la lluvia de diseño en cada cuenca es igual al tiempo de concentración.

Los valores de los caudales máximos para las obras de drenaje se presentan en la Tabla 5.

### 3.2.2 Estudios hidráulicos

#### 3.2.2.1 Drenaje de aguas lluvias

Las obras de drenaje de aguas lluvias, comprenden cunetas y colectores.

#### 3.2.2.1.1 Metodología general del estudio

Para el análisis hidrológico e hidráulico de estas estructuras se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

[3] Applied Hidrology, Ven Te Chow, Mc Graw Hill, Pág. 498, 1988.

- Definición de las áreas de drenaje para cada una de las cunetas de drenaje.

- Cálculo del tiempo de concentración.

- Cálculo de la intensidad de los aguaceros para períodos de retorno de 10 años para cunetas, 25 y 50 años para canales y estructuras de paso y 100 años en canales y pasos ubicados aguas arriba de asentamientos humanos de acuerdo con las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia determinadas para las zonas de estudio.

- Determinación de los caudales de escorrentía máximos para el período de retorno adoptado.

- Predimensionamiento hidráulico de las cunetas y estructuras de paso del sistema general de drenaje para el sector en estudio.

#### 3.2.2.1.2 Criterios hidráulicos de diseño

- **Cunetas**

  Las cunetas se dimensionaron para un caudal de 100 años mediante la aplicación de la fórmula de Manning de manera que la sección de las cunetas, en la medida que los aspectos constructivos lo permitan, se aproxime a la más eficiente hidráulicamente. La Fórmula de Manning para flujo normal se expresa de la siguiente forma:

$$\mathbf{Q} = \frac{1}{n} \mathbf{A R^{2/3} S^{1/2}}$$

  Donde:

  n = Coeficiente de rugosidad de Manning
  A = Área de agua, en $m^2$
  R = Radio hidráulico, en m
  S = Pendiente de la línea de energía, en m/m.

  El coeficiente de rugosidad de Manning adoptado para las estructuras en concreto fue de 0,013.

Los caudales de diseño se presentan en la Tabla 5 y el dimensionamiento de las cunetas en la Tabla 6. En los Planos 7 y 8 se presenta la localización y detalles de las obras de manejo de aguas.

- **Alcantarillado pluvial**

  Para el predimensionamiento del alcantarillado pluvial, se adoptaron los criterios de diseño de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). El predimensionamiento cubre únicamente el colector principal.

  La cantidad de aguas lluvias considerada para el diseño del colector principal está integrada por las aguas provenientes de la escorrentía del área aferente a la zona en estudio.

  Para las condiciones de velocidad, caudales y pendientes, se adoptaron los siguientes criterios de velocidad real y caudal, de acuerdo con las normas de la EAAB:

  - Velocidad real: Mínimo 1,0 m/s , Máximo 6,0 m/s.
  - Relación caudal real / Caudal tubo lleno Q/Qo : < = 80%.
  - Pendientes: Las pendientes mínimas y máximas para cada colector serán función de la velocidad a tubo lleno.
  - El coeficiente de rugosidad de Manning de 0,013 correspondiente a tubería de concreto.

  Para el diámetro de las tuberías véase Tabla 7.

  En los Planos 9 y 10 se presentan la localización, dimensiones y refuerzo de las obras de manejo de aguas.

- **Perfiles de la tubería**

La profundidad de los colectores se determinó como la diferencia entre la cota rasante de la vía y la cota clave de la tubería, y se procuró en lo posible minimizar los volúmenes de excavación. El recubrimiento mínimo sobre la cota clave de los colectores adoptado fue de 1,0 m con respecto a la rasante de la vía.

- **Pozos de inspección**

El pozo de inspección típico utilizado para las redes de alcantarillado de aguas pluviales, será en ladrillo, con un cono de reducción de 0,80 m de altura variable según cotas de diseño.

En cada pozo de inspección la diferencia de nivel entre la cota batea de entrada y la cota batea de salida se estimó en mínimo 2 cm permitiendo en todo caso que esta caída adoptada no interfiera con el funcionamiento hidráulico del colector. Véase detalle del pozo de inspección en el Plano 8.

- **Cimentación de la tubería e instalación**

Para los colectores se adopta tubería en concreto y se tienen en cuenta las condiciones de cimentación, calculada con base en la carga debido al relleno, carga viva y carga total, el factor de carga y los tipos de relleno. La instalación de la tubería se hará en condición de zanja.

Con respecto al tipo de relleno, se tiene que para la cimentación se utilizará relleno seleccionado tipo Material Granular bien compactado (relleno Tipo 1) y para el resto de la zanja se usarán rellenos Tipo 3 y Tipo 5, de acuerdo con lo indicado en el Plano 8.

En general se tiene que para los diámetros de 8" y 10" se utilizará tubería de concreto con un factor de carga de 1,9. El ancho de las zanjas será de 0,65 m para tubería de 8" y de 0,7 m para la de 10".

## 3.3 PREDIOS AFECTADOS

Los diseños de las obras previstas para mitigación del riesgo han tenido como criterio básico causar el menor efecto posible sobre las familias aledañas y sobre la infraestructura social existente. Dadas las condiciones de vulnerabilidad social en que se encuentra la población en este sector, las medidas propuestas deben ocasionar el menor impacto social en el sentido de traslados involuntarios, en atención a las políticas del Banco Mundial y de la UPES frente a reasentamientos.

En el caso del sector Gran Chaparral se verán afectados 21 predios, 18 familias y tres lotes, que será necesario negociar con sus propietarios. Las condiciones de las viviendas son variadas, en su mayoría de un piso, construidas con bloque, cemento y techo en zinc. En algunos lugares se desarrolla una actividad económica, que requerirá de indemnizaciones, durante el tiempo que dure la reubicación. En tabla siguiente se presenta la información recogida en campo de las viviendas por reubicar y los predios afectados. Adicionalmente, se preparó para cada uno de los predios una ficha técnica, con su fotografía y su localización correspondiente, las cuales se incluyen en el Anexo 3.

| CENSO DE PREDIOS AFECTADOS BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **FICHA No.** | **DIRECCIÓN** | **PROPIETARIO** | **AREA $m^2$** | **No. PISOS** | **No. FAMILIAS** | **No. PERSONAS** | **USO** |
| 1 | Diag. 68 C Sur No. 18 A - 29 | Germán López | 72 | 1 | 1 | 4 | Vivienda |
| 2 | Diag. 68 C Sur No. 18 R - 03 | Propietario fallecido Dagoberto Osorio Bedoya (arrendatario) | 63 | 1 | 1 | 1 | Vivienda |
| 3 | Diag. 68 C Sur No. 18 R - ? | David ? | 72 | - | - | - | Lote |
| 4 | Diag. 68 C Sur No. 18 R - ? | Sin información | 72 | - | - | - | Lote |
| 5 | Diag. 68 C Sur No. 18 Q - 82 | Sin información | 72 | 1 | - | - | Vivienda |
| 6 | Diag. 68 C Sur No. 18 Q - 76 | Domingo Tilagui | 72 | 1 | 1 | 5 | Vivienda |
| 7 | Cra. 18 Q Bis A No. 69 - 57 S | Alfonso Vargas/ Blanca G. Martínez | 72 | 1 | 1 | 5 | Vivienda |
| 8 | Cra. 18Q Bis A No. 69 - 47 Sur | Agustín Victorino | 72 | 1 | 1 | 4 | Vivienda |
| 9 | Cra. 18Q Bis A No. 69 - 37 Sur | Celso María Murcia | 72 | 1 | 2 | 8 | Vivienda |
| 10 | Cra. 18 Q Bis A No. 69 - 56 Sur | Victor Julio Matallana | 72 | 1 | 2 | 11 | Vivienda |
| 11 | Cra. 18 Q Bis A No. 69 - 46 Sur | José Fermín Cepeda | 72 | 1 | 1 | 5 | Vivienda |
| 12 | Cra. 18 Q Bis A No. 69 - 36 Sur | Marcos Moreno | 72 | 1 | 1 | 5 | Vivienda |
| 13 | Cra. 18 Q Bis A No. 69 - 50 Sur | Modesto Manrique | 36 | 1 | 1 | 5 | Vivienda |
| 14 | Cra. 18 Q Bis A No. 69 - 60 Sur | Ecleodoro Martínez | 65 | 1 | 1 | 8 | Vivienda |
| 15 | Cra. 18 Q Bis No. 69 - ? | Adán Duarte | 72 | - | - | - | Lote |
| 16 | Cra. 18 Q Bis A No. 69 - 31 Sur | Jorge Restrepo | 72 | 1 | 1 | 1 | Vivienda |
| 17 | Cra. 18 Q Bis No. 69 - 13. | Amanda Salazar (fallecida) Odani Parra Salazar (Hija) | 72 | 1 | 2 | 12 | Vivienda |
| 18 | Cra 18 Q Bos No. 69-10 Sur | Hereminta Cruz | 72 | 1 | 3 | 12 | Vivienda |
| 19 | Cra. 18 Q Bis No. 67 C - 77 Sur | Leonor Velásquez Jairo Copaje | 216 | 1 | 1 | 8 | Vivienda |
| 20 | Cra. 18 Q No. 69 - 05 Sur | Flor Alba Abril | 65 | 1 | 1 | 2 | Vivienda |
| 21 | Cra. 18 Q No. 68 - 80 Sur | Martha Janeth Conde Gualteros. | 72 | 1 | 1 | 4 | Vivienda |

## 3.4 OBRAS DE URBANISMO, PAISAJISMO Y USOS DEL SUELO

El sitio del área de estudio está localizado sobre una de las zonas altas del sector. Limita en la parte superior con el final de una calle peatonal de la zona y viviendas, una de las cuales ha sido demolida. En la parte inferior del talud existe un conjunto de viviendas organizadas en un bloque de tres manzanas, de las cuales serán necesario demoler las viviendas que están más próximas al talud y la reubicación de sus moradores, siendo en total 10, además de la adquisición de dos lotes. Estas viviendas limitan con la carrera 18Q, vía de acceso al sector Gran Chaparral y corresponde al límite inferior del área del talud en estudio.

Del conjunto de viviendas localizado en la parte alta del talud, en el sector sur, a la altura de la carrera 18Q Bis, será necesario la demolición de 7 viviendas y la reubicación de sus habitantes y la compra de un lote y en el sector norte la demolición de una vivienda y la relocalización de sus moradores.

La vía de acceso principal al sector Gran Chaparral está en proyecto de pavimentación. Las vías secundarias aledañas no están pavimentadas y en algunos casos solamente son calles peatonales. El área urbana del sector cuenta en materia de servicios públicos con energía, acueducto y transporte. En materia de equipamiento comunal cuenta con escuelas y centros de salud cercanos.

En el aspecto urbano como planteamiento arquitectónico para el barrio, se propone la integración, definición y recuperación de calles peatonales mediante la construcción de escaleras y caminos con las pendientes y anchos adecuados, provistas de descansos que a su vez ofrezcan áreas para la comunidad como puntos de encuentro por medio de plazoletas. Estas calles y caminos conectarán las viviendas con los paraderos de rutas de transporte. Se plantea la identificación de los caminos mediante la siembra de árboles a lo largo de ellos.

En la zona alta del sitio, los taludes se tienden un poco para permitir el uso de la zona como recreación pasiva construyendo senderos peatonales, escaleras y plazoletas combinados con árboles, bancas e iluminación. Las áreas libres resultantes de la reubicación de las viviendas que han sido afectadas por el área de riesgo serán empleadas como espacios de recreación activa construyendo una plazoleta, dotada con graderías localizadas en la zona del talud. Para la población infantil se instalará un parque de juegos.

Como área de recibo sobre la vía principal de acceso, carrera 18Q Bis, se plantea la construcción de una plazoleta en zona dura, la cual se conectará al área de espaciamiento del talud. En esta plazoleta se construirá un paradero, una banca, y se instalará una luminaria. Se sembrarán árboles alrededor y jardines en el contorno de ésta.

En los Planos 11, 12 y 13 se presentan los diseños y detalles arquitectónicos y paisajísticos.

# 4. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES

Con el propósito de mitigar los riesgos existentes en el sector Gran Chaparral del barrio Juan Pablo II se establece el siguiente orden de prioridades para la construcción de las obras.

- Delimitación de las áreas de protección y aislamiento, reubicación y demolición de 18 viviendas y la negociación de tres predios no construidos.
- Construcción de las obras de manejo de aguas.
- Reconformación y protección del talud.
- Obras de urbanismo y paisajismo

En la Tabla 8 se presenta el cronograma de las obras a ejecutar de acuerdo con las prioridades establecidas.

# 5. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO, SEGUIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN

Durante y después de la ejecución de las obras correctivas es importante hacer un seguimiento y/o instrumentación de la zona afectada, con el fin de evaluar la estabilidad con el tiempo y/o hacer los correctivos necesarios una vez se detecten los problemas.

Los principales parámetros por medir durante la evaluación de la estabilidad son los movimientos superficiales, tanto horizontales como verticales y los caudales de agua captados por los sistemas de drenaje subsuperficiales.

El monitoreo o seguimiento se debe realizar tanto a corto plazo, es decir durante la ejecución de las excavaciones para la realización de las obras correctivas, como a largo plazo, una vez se hayan ejecutado las obras remediales.

Llevar a cabo un programa completo de instrumentación como es lo ideal resulta algo costoso y de difícil mantenimiento, por lo tanto para el seguimiento de estas obras se recomienda un programa muy sencillo y de bajo costo, que requiere un seguimiento periódico para la efectividad de los resultados. Las medidas recomendadas para el seguimiento y monitoreo de las obras son las siguientes.

- Reconocimiento visual periódico de la zona: inspecciones detalladas a la zona cada 90 días como máximo, las cuales se deberán intensificar en períodos de lluvia.

- Medición de movimientos horizontales y verticales: durante la construcción se deben colocar puntos de control topográfico en la superficie superior de los taludes, los cuales se deben controlar con una frecuencia no menor de dos veces al año.

- Mantenimiento de las obras de drenaje superficial, mediante un programa de limpieza de las estructuras.

- Mantenimiento de la protección de las superficies de los taludes.

# 6. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En el Anexo 4 se presentan los planos de construcción para la ejecución de las obras recomendadas y en el documento UPES-CB-022 se presentan las especificaciones técnicas de construcción. Estas especificaciones se han preparado de manera que puedan aplicarse a los trabajos de construcción previstos para los ocho sitios encomendados a Ingetec S.A.

A continuación se presenta el listado de planos de construcción para este sector:

| Plano | Título |
|---|---|
| 1 | Localización General. |
| 2 | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Topografía. |
| 3 | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Geología - Planta. |
| 3A | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo Ii - Sector Gran Chaparral. Geología - Planta-Zona Ampliada. |
| 4 | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo Ii - Sector Gran Chaparral. Geología - Secciones. |
| 4A | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Geología - Secciones-Zona Ampliada. |
| 5 | Sitio 1:1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Obras de Estabilización. Planta. |
| 6 | Sitio 1:1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Obras de Estabilización. Secciones. |
| 7 | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Localización General de Obras de Manejo de Aguas. |
| 8 | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Obras de Manejo de Aguas. |
| 9 | Obras de Manejo de Aguas - Dimensiones y Refuerzo I. |
| 10 | Obras de Manejo de Aguas. Dimensiones y Refuerzo II. |
| 11 | Sitio 1.1: Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral. Obras Arquitectónicas. Planta. |
| 12 | Detalles Arquitectónicos I. |
| 13 | Detalles Arquitectónicos II. |

# 7. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la Tabla 9 se presentan las cantidades de obra y presupuesto aproximado de cada una de las obras previstas. Para los precios unitarios se han utilizado las tarifas de Construdata, según lo acordado con la interventoría de estudios.

# INFORME FINAL

# SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II-SECTOR GRAN CHAPARRAL

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN ..... 1

2. RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO ..... 2
2.1 GENERALIDADES ..... 2
2.1.1 Información de referencia ..... 2
2.1.2 Condiciones del sector ..... 3
2.2 TOPOGRAFÍA ..... 4
2.3 GEOLOGÍA ..... 5
2.3.1 Estratigrafía ..... 5
2.3.1.1 Cuaternario ..... 5
2.3.1.2 Cretáceo - Terciario ..... 6
2.3.2 Geología estructural ..... 6
2.3.3 Geomorfología ..... 9
2.3.4 Sismología ..... 9
2.4 GEOTECNIA ..... 9
2.4.1 Descripción del problema ..... 9
2.4.2 Zonificación geotécnica ..... 11
2.4.3 Exploración del subsuelo ..... 12
2.4.4 Ensayos de laboratorio ..... 13
2.5 HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA ..... 15
2.6 PLANTEAMIENTO DEL ORIGEN DEL PROBLEMA ..... 15

3. MEDIDAS CORRECTIVAS ..... 17
3.1 DISEÑOS GEOTÉCNICOS ..... 17
3.1.1 Análisis de estabilidad del talud ..... 17
3.1.2 Diseño de las obras de estabilidad del talud ..... 19
3.2 DISEÑO DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS ..... 20
3.2.1 Estudios hidrológicos ..... 20
3.2.1.1 Lluvias ..... 20
3.2.1.2 Caudales ..... 21

3.2.1.3 Período de retorno de diseño ..... 21
3.2.1.4 Tiempo de concentración ..... 21
3.2.1.5 Caudales de diseño ..... 22
3.2.2 Estudios hidráulicos ..... 23
3.2.2.1 Drenaje de aguas lluvias ..... 23
3.3 PREDIOS AFECTADOS ..... 26
3.4 OBRAS DE URBANISMO, PAISAJISMO Y USOS DEL SUELO ..... 28

4. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES ..... 30

5. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO, SEGUIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN ..... 31

6. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ..... 32

7. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ..... 33

TABLAS
FIGURAS
ANEXOS
PLANOS

# LISTA DE TABLAS

1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.

2. REGISTRO HISTÓRICO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL. ESTACIÓN EL TUNAL EAAB.

3. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS DE DRENAJE.

4. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.

5. DETERMINACIÓN DE CAUDALES.

6. CÁLCULO DIMENSIONES DE CUNETAS.

7. CÁLCULO DEL ALCANTARILLADO DE AGUAS LLUVIAS.

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

9. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO.

# LISTA DE FIGURAS

1. CONTORNOS DE DENSIDAD DE POLOS DE LAS DISCONTINUIDADES. TALUD SUR - SECTOR CENTRAL

2. CONTORNOS DE DENSIDAD DE POLOS DE LAS DISCONTINUIDADES. TALUD SUR - SECTOR ORIENTAL.

3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA MASAS DE ROCA FRACTURADA.

4. ANÁLISIS RETROSPECTIVO. TALUD NORTE.

5. MODOS DE DESLIZAMIENTO DE BLOQUES EN EL TALUD SUR. SECTOR CENTRAL.

6. MODOS DE DESLIZAMIENTO DE BLOQUES EN EL TALUD SUR. SECTOR ORIENTAL.

7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD. TALUD NORTE.

8. HISTOGRAMA ESTACIÓN EL TUNAL.

9. CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA.

# LISTA DE ANEXOS

1. TOPOGRAFÍA.

2. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.

3. PREDIOS CENSADOS.

4. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

# LISTA DE PLANOS

1. LOCALIZACIÓN GENERAL

2. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. TOPOGRAFÍA.

3. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. GEOLOGÍA - PLANTA.

3A. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. GEOLOGÍA - PLANTA-ZONA AMPLIADA.

4. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. GEOLOGÍA - SECCIONES.

4A. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. GEOLOGÍA - SECCIONES-ZONA AMPLIADA.

5. SITIO 1:1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN. PLANTA.

6. SITIO 1:1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN. SECCIONES.

7. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. LOCALIZACIÓN GENERAL DE OBRAS DE MANEJO DE AGUAS.

8. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS.

9. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS - DIMENSIONES Y REFUERZO I.

10. OBRAS DE MANEJO DE AGUAS. DIMENSIONES Y REFUERZO II.

11. SITIO 1.1: BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL. OBRAS ARQUITECTÓNICAS. PLANTA.

12. DETALLES ARQUITECTÓNICOS I.

13. DETALLES ARQUITECTÓNICOS II.

# ANEXO 1
# TOPOGRAFÍA

# ANEXO 2
# INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

# ANEXO 3
# PREDIOS CENSADOS

# ANEXO 4
# PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

# TABLAS

# FIGURAS

# ANEXOS

# PLANOS

# INGEOMINAS
# BARRIO JUAN PABLO II - SECTOR GRAN CHAPARRAL
# FASE II - DICIEMBRE DE 1995

# SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS
# BARRIOS JUAN PABLO II (SECTOR GRAN CHAPARRAL) - MARANDÚA
# INGENIERO LUIS FERNANDO HOYOS PÉREZ
# OCTUBRE DE 1989

## LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Copias de este documento han sido entregadas a las siguientes dependencias de la UPES - FOPAE e Ingetec S. A. Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a la Dirección del Proyecto para proceder a realizar sus modificaciones:

| **DEPENDENCIA** | | **No. DE COPIAS** |
|---|---|---|
| Copias 1 y 2 | - UPES - FOPAE | 2 |
| Copia 3 | - Ingetec S. A. - Director del Proyecto | 1 |

## ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Índice Revisión | Sección Modificada | Fecha de Modificación | Observaciones |
|---|---|---|---|
| 0 | | 1998-06-30 | Versión Original |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

## REVISIÓN Y APROBACIÓN

| | |
|---|---|
| Contrato No.: | **1314 - 110 - 97** |
| Título Documento: | Informe Final Sitio 1.1. Barrio Juan Pablo II - Sector Gran Chaparral |
| Documento No.: | **UPES - CB - 020** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **APROBACIÓN** | **Número de Revisión** | | **0** | **1** | **2** | **3** |
| | Responsables por elaboración | Nombre | A. Cubillos | | | |
| | | | G. Gómez | | | |
| | | | B. Díaz | | | |
| | | | M. P. Chávez | | | |
| | | | G. Moreno | | | |
| | | Firma | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | Fecha | 1998 - 06 - 30 | | | |
| | Vo. Bo. Coordinador Programa de Calidad | Nombre | C. Acero | | | |
| | | Firma | | | | |
| | | Fecha | 1998 - 06 - 30 | | | |
| | Vo. Bo. Dirección del Proyecto | Nombre | F. Amaya | | | |
| | | Firma | | | | |
| | | Fecha | 1998 - 06 - 30 | | | |