

CONTENIDO

1	GENERALIDADES	1
1.1	ALCANCE DEL ESTUDIO	1
1.2	OBJETIVOS	1
1.2.1	General	1
1.2.2	Específicos	1
1.3	ORGANIZACIÓN DEL INFORME	2
1.4	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	2
1.4.1	Recopilación de información	2
1.4.2	Levantamiento topográfico	2
1.4.3	Caracterización geotécnica de los materiales	2
1.4.4	Evaluación de redes principales	3
1.4.5	Monitoreo de desplazamientos en las viviendas	4
1.4.6	Levantamiento de árboles del Parque Bosques de San Carlos	5
2	DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL	6
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS	6
2.2	DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
2.3	REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	9
2.4	MODELOS Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	10
2.4.1	Modelo geotécnico	11
2.4.2	Susceptibilidad de los materiales del subsuelo ante succión y expansión	11
2.4.3	Evaluación estructural de las viviendas	11
2.4.4	Diseño de soluciones	12
2.5	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	12
3	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	14
3.1	CARTOGRAFÍA BASE	14
3.1.1	Localización cartográfica del área	14
3.1.2	Puntos topográficos	14
3.2	EQUIPO	14
3.3	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	14
3.3.1	Colección de la información de campo	15
3.3.2	Trabajo de oficina	15
3.4	PRODUCTOS	16
4	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	17
5	ESTUDIO GEOTÉCNICO	18

5.1	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	18
5.2	ENSAYOS IN-SITU Y DE LABORATORIO	20
5.3	PERFIL PROMEDIO DEL SUBSUELO	21
5.4	EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DEL SUELO	22
5.4.1	Variación de la resistencia con la profundidad	23
5.4.2	Variación de la resistencia en el sentido transversal a las viviendas (sentido NW-SE)	23
5.4.3	Variación de la resistencia en el sentido longitudinal a las viviendas (sentido SW-NE)	24
6	<u>ANÁLISIS ESTRUCTURAL</u>	26
6.1	DESCRIPCIÓN GENERAL	26
6.2	LEVANTAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS	26
6.3	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DAÑOS EN LAS VIVIENDAS	26
6.3.1	METODOLOGÍA	27
6.3.2	TOMA DE INFORMACIÓN	27
6.3.3	ZONIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS POR NIVEL DE DAÑO	27
6.4	ESTADO ACTUAL Y COMPORTAMIENTO	29
7	<u>CONSIDERACIONES FORESTALES</u>	32
8	<u>ANÁLISIS DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE LAS PATOLOGÍAS</u>	34
8.1	ANÁLISIS DE HIPÓTESIS PRELIMINARES	34
8.2	DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTADAS EN LAS VIVIENDAS	35
9	<u>CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO</u>	39
10	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	40
10.1	RECOMENDACIONES	43
11	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	46

FIGURAS

<u>FIGURA 2.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</u>	8
<u>FIGURA 5.1. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA</u>	19

FOTOGRAFÍAS

<u>FOTOGRAFÍA 1. PUNTO DE CONTROL D, DE LA VIVIENDA IDENTIFICADA CON EL NO. 28A – 24 SUR.</u>	4
<u>FOTOGRAFÍA 2. MEDICIÓN DE DISTANCIAS PARA CONTROL DE DESPLAZAMIENTO, EN EL PUNTO DE CONTROL B, DE LA VIVIENDA IDENTIFICADA CON EL NO. 28A – 36 SUR.</u>	4
<u>FOTOGRAFÍA 3. DESPRENDIMIENTOS Y FISURAS EN CIELORRASO. PUEDE APRECIARSE LA ESTERILLA DE GUADUA Y EL PAÑETE QUE LO CONFORMAN.</u>	30
<u>FOTOGRAFÍA 4. ASPECTO GENERAL DEL <i>EUCALYPTUS GLOBULUS</i>. LABILL</u>	32
<u>FOTOGRAFÍA 5. EDIFICACIONES COSTADO OCCIDENTAL DEL PARQUE BOSQUES DE SAN CARLOS.</u>	37
<u>FOTOGRAFÍA 6. SIEMBRA DE NUEVOS ÁRBOLES FRENTE A LOS EUCALIPTOS EXISTENTES.</u>	45

TABLAS

<u>TABLA 5-1. PERFIL PROMEDIO DEL SUBSUELO</u>	22
<u>TABLA 5-2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO</u>	25
<u>TABLA 6-1. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO.</u>	28
<u>TABLA 6-2. FACTORES DE PONDERACIÓN PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.</u>	28
<u>TABLA 6-3. FACTORES DE PONDERACIÓN PARA LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES E INSTALACIONES.</u>	28
<u>TABLA 6-4. RANGOS PARA EL VALOR DE DAÑO DE LAS CASAS GENERAL</u>	29
<u>TABLA 9-1. PRESUPUESTO ESTIMADO</u>	39

ANEXOS

1	REGISTROS INSPECCIONES COLECTOR ALBINA – EAAB
2	CERTIFICACIÓN IGAC Y CARTERAS DE CAMPO
3	REGISTROS DE EXPLORACIÓN
4	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO
5	REGISTROS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN
6	REGISTROS DE MONITOREO DE DESPLAZAMIENTOS PARA LAS VIVIENDAS
7	ANEXO FOTOGRÁFICO

PLANOS

1	PLANO TOPOGRÁFICO	1:500
2	ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN POR DAÑOS EN LAS VIVIENDAS Y PLANTEAMIENTO DE TALA Y REEMPLAZO DE ÁRBOLES	1:500

1 GENERALIDADES

1.1 ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente estudio comprende la evaluación geotécnica del área que abarca la carrera 12 Bis, entre la calle 27 A Sur y la calle 31 Sur, la cual se encuentra ubicada junto al Parque Bosques de San Carlos, en el Barrio Country Sur, al sur de la ciudad de Bogotá D.C. De la misma forma, se considera la evaluación estructural de las viviendas localizadas en la zona antes delimitada.

A partir de las evaluaciones realizadas se busca determinar las causas imputables a las patologías que han presentado en los últimos años, las viviendas localizadas en el área de estudio, establecer el nivel de afectación y la condición de servicio actual de las viviendas y determinar las medidas de control requeridas para contrarrestar dichos fenómenos, incluyendo los diseños correspondientes, así como las especificaciones técnicas, cantidades de obra y presupuesto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Establecer y diseñar las medidas e intervenciones necesarias para corregir las patologías que presentan actualmente las viviendas de la Carrera 12 Bis, entre la calle 27 A Sur y la calle 31 Sur, en el barrio Country Sur, a partir de la investigación geotécnica y estructural de la zona objeto de estudio.

1.2.2 Específicos

- Caracterizar geotécnicamente la zona de estudio e identificar los principales agentes asociables al deterioro de las estructuras existentes en ésta.
- En el marco de la evaluación estructural a desarrollar sobre las viviendas del área de estudio, se busca identificar los patrones generales que caracterizan las patologías existentes en las viviendas afectadas, para realizar un análisis integral con base en la información obtenida a partir de esta actividad y aquella acopiada a partir de la caracterización geotécnica, con base en el cual se identifique el (los) proceso(s) responsables de la condición actual de la zona.
- Diseñar las obras correctivas a que haya lugar para mitigar o minimizar los fenómenos de deterioro que sufren las viviendas de la zona.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El informe final del estudio se ha organizado por capítulos tal como lo indica el numeral 6.6 de los términos de referencia.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

1.4.1 Recopilación de información

A fin de conocer el procedimiento seguido para la construcción de las viviendas y sus características técnicas generales se consultó la información disponible en el centro de documentación del INURBE, entidad que en la actualidad acopia la información procedente del antiguo Instituto de Crédito Territorial, quién en el año 1961 construyó la mayor parte de las edificaciones que se encuentran actualmente en la zona.

Con el objeto de identificar las características técnicas y el estado y comportamiento de las estructuras de acueducto y alcantarillado pluvial y sanitario, así como de la red acueducto, se solicitó a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, los datos técnicos de éstas, así como los reportes de inspección y corrección de daños existentes.

De otro parte, se consultó la biblioteca del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), con el objeto de revisar las fotografías aéreas del sector en estudio, tomadas en diferentes fechas a partir de 1939. Con base en esta información se busca identificar los cambios históricos registrados en la configuración geomorfológica del área estudiada, brindando especial atención sobre elementos tales como el drenaje original del sector, la existencia y extensión de vegetación de gran porte y su localización en relación con las viviendas actualmente afectadas.

1.4.2 Levantamiento topográfico

Se realizó una topografía general de la zona en estudio, llevando a cabo el levantamiento detallado de los vértices de cada manzana y de la localización de cada una de las casas ubicadas en la zona de estudio, al igual que la sección de la vía, la ciclo ruta, el cerramiento del parque Bosques de San Carlos, la localización general del bosque del mencionado parque en el costado adyacente a la Carrera 12 Bis y demás detalles de la infraestructura existente.

Adicionalmente, se levantaron secciones transversales a la Carrera 12 Bis, abarcando desde las casas hasta la línea frontal de árboles del bosque.

Para el procesamiento de la información de la georreferenciación de los puntos topográficos tomados en campo, se empleó el programa Transit Versión. 2.11; el ajuste de la poligonal de amarre se realizó mediante el programa de computadora Eagle Point Versión. 14.3 con el módulo Survey Adjustment a partir de los puntos topográficos CD829A y CD831A.

1.4.3 Caracterización geotécnica de los materiales

Con el propósito de identificar los materiales existentes y su espesor, así como sus características geomecánicas, se llevó a cabo una campaña de exploración geotécnica

consistente en tres (3) perforaciones manuales con profundidades entre 5.5 y 8.0 m y posteriormente 10 perforaciones con profundidades variables entre 2.5 y 5 m. La localización de los puntos de exploración se indica en la Figura 5.1.

Durante el proceso de perforación se recuperaron muestras inalteradas mediante el tubo de pared delgada y alteradas (almacenadas en bolsa), sobre las cuales en campo se determinó la resistencia a la penetración inalterada (RPI) y alterada (RPR) respectivamente, con el penetrómetro de bolsillo. Adicionalmente, con el objeto de evaluar las características de resistencia in situ, sobre los materiales que presentaron consistencias dura y muy dura¹, se ejecutó el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), con muestreador de cuchara partida.

Sobre las muestras recuperadas, en laboratorio se practicaron los ensayos mencionados a continuación:

De clasificación:

- Límites de Atterberg.
- Humedad natural.
- Peso unitario.

De resistencia:

- Compresión inconfiada.

1.4.4 Evaluación de redes principales

A lo largo de la zona en estudio se encuentra localizado el colector Albina (que transporta aguas lluvias), el cual avanza de sur a norte sobre la Carrera 12 Bis, después de descender por la calle 31 Sur, y en el extremo norte de su desarrollo sobre la Carrera 12 Bis, gira hacia el occidente sobre la Carrera 27 A sur. La ejecución del colector data del año 1960 aproximadamente y fue construido empleando mampostería pegada con mortero de cemento Portland, en sección ovoide. En la actualidad, el colector conserva la sección inicial con la que fue construido y en la zona de estudio, con respecto a la rasante del pavimento de la vía, la clave se encuentra a una profundidad de 1.38 m en el costado sur (pozo localizado frente a la vivienda identificada con el número 30A - 34, sobre la Carrera 12 bis), de 1.78 m a la altura de la calle 29 Sur y de 2.00 m frente a la calle 28 Sur.

Dadas las dimensiones y características del colector se decidió solicitar a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la realización de una inspección con equipo de circuito cerrado de televisión, a lo largo del tramo que se desarrolla sobre la Carrera 12 Bis, con el objeto de establecer su estado actual y su interacción con las estructuras localizadas en la zona de interés.

Esta inspección se realizó el día 30 de enero de 2002, empleando los equipos dispuestos para este fin por la EAAB. Adicionalmente, se cuenta con los registros de la inspección realizada en condiciones similares por la EAAB en el mes de septiembre de 2001. Los formatos de la EAAB, en los cuales se consigna la información respectiva se presentan en el Anexo 1.

¹ Evaluadas de acuerdo con el criterio establecido en la norma I.N.V.E.-102: Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual).

1.4.5 Monitoreo de desplazamientos en las viviendas

Con el objeto de establecer las tasas de desplazamiento que presentan en la actualidad los muros de las viviendas en las que se manifiesta el mayor grado de afectación, correspondientes a las identificadas sobre la carrera 12 Bis con el número 28 A – 36 Sur (No. 12-36 sobre la Calle 29 sur) y 28 A – 24 Sur, se instalaron en éstas siete puntos de control de desplazamiento, ubicados en las grietas de mayor abertura.

En la vivienda identificada con el número 28 A-36 Sur, fueron dispuestos tres puntos de control, dos en el primer piso y uno en el segundo. En la vivienda correspondiente al número 28 A-24 Sur, se instalaron dos en la primera planta y dos en la segunda. Adicionalmente en esta vivienda se monitoreó en cuatro puntos el desplazamiento del muro oriental de la escalera (en la entrega al segundo piso) con relación a la escalera que se adoptó como punto fijo (en el anexo 6 se presenta un esquema de la localización de tales puntos, así como los datos registrados).

El monitoreo se lleva a cabo determinando a lo largo del tiempo las distancias horizontales y diagonales entre cuatro puntos fijos (materializados mediante puntillas ubicadas sobre los muros a monitorear), localizados de forma simétrica en lo posible con respecto a la fisura en seguimiento (ver Fotografía 1); la medición de distancias se adelantó empleando un medidor calibrado con precisión de 1/20 de mm para distancias hasta de 16 cm (ver Fotografía 2) y para aquellas mayores a este valor, se empleó un medidor con aproximación al milímetro.



Fotografía 2. Medición de distancias para control de desplazamiento, en el punto de control B, de la vivienda identificada con el No. 28A – 36 Sur.



Fotografía 1. Punto de control D, de la vivienda identificada con el No. 28A – 24 Sur.

1.4.6 Levantamiento de árboles del Parque Bosques de San Carlos

Desde el punto de vista de la interacción con los materiales del subsuelo, uno de los componentes más importantes presentes en la zona de estudio se encuentra constituido por el conjunto de eucaliptos que conforman el bosque del Parque Bosques de San Carlos. Dada la distribución, cantidad, porte y follaje de los ejemplares presentes en el bosque, en el marco del estudio se consideró fundamental determinar a nivel general su conformación, en la zona más próxima a la Carrera 12 Bis.

Para este fin, se estableció como actividad complementaria al levantamiento topográfico inicial de la zona, la localización en planta de la totalidad de los árboles que conforman las cuatro filas adyacentes a la carrera 12 Bis, mediante referenciación con cinta métrica a puntos localizados en el levantamiento topográfico de precisión antes mencionado. Adicionalmente, con el fin de caracterizar los ejemplares, en campo se estableció el perímetro de cada árbol a la “altura del pecho”, con el cual se calculó su diámetro medio y mediante comparación con una referencia fija, se determinó la altura aproximada de cada uno de éstos.

La información obtenida a partir de las actividades descritas se presenta en el plano correspondiente al levantamiento topográfico detallado del área de estudio.

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

La zona de estudio se encuentra ubicada en la localidad de Rafael Uribe Uribe, en el barrio Country Sur, al sur de Bogotá, específicamente entre la calle 27 A Sur y la calle 31 Sur, a la altura de la carrera 12 Bis, en el costado oriental del Parque Bosques de San Carlos. Mediante el estudio se busca identificar las causas de las patologías que han presentado la mayor parte de las viviendas del sector mencionado, establecer su nivel de impacto y la estabilidad de las construcciones y proponer y diseñar medidas de control de los fenómenos.

Geológicamente en la zona se encuentra la Formación Sabana (Qs), la cual a nivel general se encuentra conformada por arcillas plásticas de color gris oscuro, en estratos de 0.4 a 1.0 m de espesor, con interestratificaciones de lentes de arena y gravas e intercalaciones de ceniza volcánica de color gris blancuzco.

Es importante citar que en la ladera localizada en el costado sur y occidental del área estudiada, se evidencian depósitos coluviales y depósitos coluvialuviales los cuales se encuentran en el parque y fuera de él y en algunos sectores aparecen depósitos fluviolacustres desecados. En la parte alta del parque, en la ladera el Cerro de San Carlos, se observa, a partir de la iglesia de la Resurrección, un gran deslizamiento en materiales de relleno que ha afectado parte del bosque de eucaliptos el cual, sin embargo, no forma parte del alcance del trabajo que se adelanta para el DPAE.

El perfil típico del subsuelo del sector a lo largo de la carrera 12 Bis, está constituido en superficie, aproximadamente en los primeros 50 cm por rellenos arcillosos y granulares contaminados con escombros de construcción. Bajo estos materiales se encuentran depósitos arcillosos, de compresibilidad alta en el estrato más superficial, el cual en promedio llega hasta 4.00 m y baja en el estrato subyacente, reportado hasta una profundidad de 8.00 m. Éstos depósitos han sufrido procesos de desecación intensa, especialmente en la zona más cercana al bosque de eucaliptos ubicado en el costado occidental del área de estudio, lo cual se refleja en el perfil de resistencias obtenido y en las consistencias registradas durante la exploración geotécnica, así como en el alto grado de fisuración que se observa en estos materiales.

En el pasado se han presentado patologías propias de deformaciones muy acusadas en las construcciones del parque, en los pavimentos de los senderos del mismo y de las vías aledañas y en algunas zonas del Hospital San Carlos. Tales patologías se manifiestan por la aparición de grietas longitudinales en los pavimentos, abertura de juntas de los adoquinados y grietas de deformación en los muros de las construcciones. Las patologías que se observaron en las casas en general se pueden describir como desplomes de los muros de cerramiento de antejardines y patios traseros y agrietamientos verticales y diagonales tanto en los muros de carga como en los tabiques de las casas y en los que conforman sus ampliaciones (anteriores y posteriores), dados los movimientos de estas estructuras, que se presentan fundamentalmente en sentido perpendicular a la carrera 12 Bis. El patrón de tales patologías se tratará en detalle posteriormente.

Con base en las inspecciones de campo y las evaluaciones del subsuelo y de la patología que presentan las viviendas y demás infraestructura del sector, se plantean las siguientes hipótesis acerca de las causas de los daños:

- a. Consolidación por desecación del sector provocada fundamentalmente por la succión que ejercen los árboles del parque (eucaliptos), cuya altura puede alcanzar los 25 m, combinada con la ocurrencia reciente de períodos excepcionalmente secos. A pesar que de acuerdo con la información suministrada por los habitantes del sector, los daños se han manifestado solo en los últimos años, en tanto que el bosque es antiguo, debe investigarse la correlación que podrían haber tenido períodos de lluvias muy escasas y, en consecuencia de intensa evapotranspiración y succión por parte de los árboles, lo mismo que de contracción del suelo. El efecto puede ser multiplicador al provocar agrietamiento del subsuelo y facilitar la entrada posterior de agua hasta mayores profundidades.
- b. Fugas de suelos arenosos por erosión interna y tubificación hacia el colector Albina, que discurre a lo largo de la Carrera 12 Bis, lo cual puede haber provocado asentamientos lentos pero progresivos. Los materiales del sector son conocidos como altamente erodables por su composición y estado, así como por lo escaso de la vegetación rastrera protectora. De hecho, la ocurrencia de cárcavas y fenómenos de erosión era hasta hace unos años muy marcada en los terrenos aledaños al bosque e incluso dentro de él.
- c. Expansión de suelos ante el humedecimiento. El fenómeno tiende a presentarse dado el intenso grado de desecación que se muestra en la ocurrencia de humedades naturales por debajo del límite plástico y por debajo de las humedades de equilibrio que el material tiende a alcanzar bajo áreas cubiertas. La consistencia alta típica de los suelos del sector señala la misma tendencia. De otra parte, los eventos de sequía de los últimos años y el lento cambio del uso de la tierra en el sector, así como las obras que se han realizado en el parque y en la zona alta del mismo en los últimos años, pueden haber provocado cambios en los precarios equilibrios hidrológicos del sector y, en particular, en las condiciones de equilibrio de humedad del subsuelo. Tales modificaciones pueden haber generado un lento ascenso de la humedad de equilibrio y, en consecuencia, cambios volumétricos del suelo de fundación de las viviendas.
- d. Existencia de antiguas zonas de explotación de arcillas como materiales de construcción, comunes en el sector antes de su urbanización.
- e. Existencia de antiguos tocones (troncos y raíces de la tala de parte del bosque) que pudieron quedar en la fundación de las casas localizadas en las zonas taladas del antiguo bosque, los cuales al descomponerse pueden generar deformaciones lentas y progresivas.
- f. Combinaciones de los anteriores fenómenos.

Durante la inspección realizada al colector Albina, que discurre a lo largo de la carrera 12 Bis, se observó que a pesar de la antigüedad de la estructura, la sección transversal original conserva su regularidad, sin apreciarse la existencia de deformaciones puntuales en la sección, ni el desprendimiento generalizado de materiales (solo se aprecia este fenómeno en un tramo corto adyacente a la calle 27 sur, de acuerdo con el reporte de la inspección realizada por la EAAB el día 5 de septiembre de 2001). No obstante, en la clave del colector se encuentra una grieta que persiste a todo lo largo del tramo evaluado.

Los materiales que conforman la sección, a la fecha no presentan un desgaste agudizado, observándose pérdidas menores del mortero de pega, aunque dado que en la actualidad

el colector se encuentra en servicio, no es posible inspeccionar en detalle el fondo del mismo. En este sentido es pertinente mencionar que durante el avance del equipo (realizado mediante tracción mecánica de cuatro ruedas de caucho) no se registraron condiciones anómalas originadas en posibles daños del fondo, si bien en dos sectores cortos (2 a 3 m como máximo) se detectó la presencia de sedimentos que obstaculizaron temporalmente el avance del equipo.

Adicionalmente, cabe anotar que en el sector inspeccionado no se observó la presencia de raíces de los eucaliptos del parque invadiendo la sección del colector a través de las juntas, las cuales generarían su deterioro, permitiendo la posterior infiltración de agua del colector hacia el subsuelo.

Dadas las condiciones descritas, en primera instancia no se considera que existan desplazamientos verticales ni horizontales (originados por esfuerzos de compresión) de magnitud apreciable en las paredes del colector. No obstante, considerando la grieta que se registra en la clave, es posible suponer que esta estructura haya sufrido desconfinamiento lateral continuado, con lo cual se presentaron sollicitaciones de tracción que condujeron a la ocurrencia de la grieta.

2.2 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área a estudiar se desarrolla sobre la carrera 12 Bis, entre la calle 27 A Sur y la calle 31 Sur, junto al Parque Bosques de San Carlos, en el Barrio Country Sur, haciendo parte del estudio la primera línea de casas localizada sobre la Carrera 12 Bis, en el tramo antes mencionado (Ver Figura 2.1). De esta forma, el área a estudiar abarca una longitud aproximada de 400 m, y una sección cercana a los 40 m, involucrando la zona inmediatamente aledaña del parque Bosques de San Carlos, dado que en ésta se localiza el bosque de eucaliptos contemplado como generador importante de los efectos de succión considerados dentro de las hipótesis de estudio planteadas.



Figura 2.1. Delimitación del área de estudio

2.3 REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Levantamiento topográfico:

El trabajo de topografía que se desarrollará básicamente estará enfocado a:

- Localizar las viviendas involucradas en la zona de estudio, identificar el tipo de vivienda y definir claramente las más afectadas.
- Definir el grado de inclinación que presentan actualmente los muros de fachadas y antejardines de las viviendas involucradas en la zona de estudio.
- Identificar y localizar las zonas que presenten mayores deformaciones en el suelo.
- Localizar todos aquellos indicios de deformaciones tales como grietas, hundimientos, destrucción de andenes y vías, etc.
- Localizar los elementos fundamentales de las redes de servicios públicos tales como pozos de inspección y sumideros, postes de energía y alumbrado público, teléfonos, cajas de inspección y demás elementos propios de éstas. La identificación detallada de dichas redes se tomará de planos de las respectivas entidades; sin embargo, éstas serán comprobadas en campo y de ser necesario se levantarán puntos estratégicos que permitan compatibilizar la información adquirida con la levantada en campo.

Así mismo, el levantamiento topográfico deberá permitir la ubicación de los aspectos relevantes para el análisis geotécnico que se realice a saber:

- Ubicación de los puntos de exploración geotécnica.
- De identificarse que la zona en estudio hacía parte de una explotación de chircales, sobre el levantamiento deberá ser posible localizar las zonas de explotación que se identifique mediante el análisis de fotos aéreas antiguas. Este trabajo permitirá definir si bajo las viviendas actualmente construidas en la zona en estudio existen cárcavas de estas antiguas explotaciones.
- De identificarse mediante la exploración geotécnica la presencia de materiales expansivos, presencia de capas de arena, así como materiales susceptibles a cambios volumétricos, sobre el plano topográfico deberá ser posible su localización a fin de identificar su presencia bajo las viviendas afectadas.
- De identificarse mediante el análisis de fotos aéreas, que la zona que ocupan actualmente las viviendas hacía parte del antiguo bosque de San Carlos; el levantamiento topográfico deberá permitir la ubicación de los posible sitios donde se puedan encontrar actualmente tocones o troncos de árboles enterrados. Para tal fin y una vez definidos los sitios donde existían árboles (fotografías aéreas) se localizará sobre el plano topográfico estos sitios y posteriormente se procederá a la ejecución de sondeos.

El levantamiento topográfico será referenciado en tres puntos materializados en el terreno (mojones) los cuales serán amarrados a placas IGAC. La elección de la ubicación de los mojones se hará de tal manera que en un futuro éstas no se pierdan y/o sean movidas, dado que éstas serán la referencia para replantear las posibles obras que se requiera diseñar.

Finalmente y después de realizar los análisis respectivos, sobre el plano topográfico se indicará la localización de las medidas correctivas y las áreas cubiertas por las mismas y se realizará la evaluación de cantidades de obra para la conformación del presupuesto.

Exploración del subsuelo:

Dada la complejidad del problema así como la cantidad de hipótesis que se trabajan, durante el desarrollo del proyecto es necesario ajustar la localización y la orientación técnica de las actividades de exploración del subsuelo, de acuerdo con las evidencias de campo que se recopilen a lo largo de la misma exploración, con lo cual se busca direccionar los esfuerzos paulatinamente hacia la comprobación de la hipótesis que se considere como la más probable.

A continuación se indican algunos requerimientos mínimos y orientaciones generales a considerar en la exploración del subsuelo para el estudio de cada una de las hipótesis:

- Con base en el análisis de fotos antiguas se planteará la necesidad de ejecutar sondeos manuales y apiques, destinados a comprobar la existencia de tocones, troncos enterrados y cárcavas de explotación de arcilla, en las zonas que se puedan definir con tales características.
- Mediante perforaciones manuales se buscará identificar el perfil del subsuelo y la presencia de materiales colapsables y expansivos, corroborando dichas características mediante la inspección visual detallada en campo y la obtención de muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio tanto en la exploración preliminar como en la definitiva.
- Dada la naturaleza de los materiales encontrados normalmente en la zona (arcillas), se considera de particular interés la evaluación de las características de contracción (o susceptibilidad de cambio volumétrico) y grado de desecación o succión de las muestras del suelo, para evaluar la posibilidad de impacto de la desecación como mecanismo inicial de agrietamiento del subsuelo, que puede conducir a la generación posterior de inestabilidad interna y de esta forma condicionar de manera apreciable el adecuado comportamiento de las estructuras soportadas sobre éstos. En vista de lo anterior, se realizarán perforaciones sistemáticas que permitan determinar el perfil de humedades en sentido longitudinal y transversal a la zona de estudio, concentrando su localización en la zona de mayor afectación de las viviendas.

Como ya se mencionó, durante la exploración efectuada se obtendrán muestras representativas de cada uno de los materiales encontrados, las cuales posteriormente serán sometidas en laboratorio a ensayos de clasificación como: gradaciones y límites de consistencia, y caracterización física como: humedad natural, peso unitario y presión de expansión (de considerarse necesario). De igual manera se efectuarán ensayos de resistencia: compresión inconfiada.

En campo y durante la exploración geotécnica se efectuarán ensayos convencionales de caracterización in situ tales como el Ensayo de Penetración Estándar -SPT- y resistencia a la penetración alterada e inalterada con el penetrómetro de bolsillo.

2.4 MODELOS Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

A lo largo del estudio se aplicarán las metodologías ortodoxas empleadas en problemas de este tipo, enfocadas hacia la conformación de un modelo geotécnico global de la zona de estudio, que permita analizar y explicar el fenómeno que se presenta, en el que se involucre la naturaleza de los materiales que componen el subsuelo, su conformación geomorfológica inicial (antes del proceso de urbanización de la zona), las características de la infraestructura que sobre él se localiza y la interacción de todos estos elementos con

los factores del medio ambiente tales como precipitación, evapotranspiración y vegetación, entre otros.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las actividades consideradas para el desarrollo del proyecto, en el marco del objetivo central antes indicado.

2.4.1 Modelo geotécnico

Con base en la información del subsuelo recopilada a partir de las actividades de campo, los ensayos de laboratorio y la geología consultada, se elaborará un modelo (aproximado) del subsuelo para la zona de estudio, en el que se consigne la distribución de los materiales encontrados y sus características geomecánicas evaluadas en campo y laboratorio. Esta información permitirá adicionalmente corroborar o descartar algunas de las hipótesis planteadas en relación con el origen del problema, tales como la existencia de suelos expansivos, suelos arenosos susceptibles de erosión, la presencia de materiales de relleno, con los que se habrían reconfigurado antiguas zonas de explotación del sector o la presencia de material vegetal de antiguos tocones.

2.4.2 Susceptibilidad de los materiales del subsuelo ante succión y expansión

Dado que se tienen evidencias que permiten considerar la posible existencia de materiales susceptibles tanto a fenómenos de expansión como de succión en la zona, se llevará a cabo una exploración de campo cuidadosa y extensa, tendiente a la obtención de muestras que permitan evaluar detalladamente el perfil de humedades (y resistencias) de la zona, concentrando la exploración en el sector norte aledaño a la calle 29 Sur, en la zona comprendida entre el antejardín de las viviendas (que corresponden a las más afectadas) y la primera fila de eucaliptos localizada dentro del parque. Sobre las muestras recuperadas durante la exploración geotécnica preliminar se adelantarán ensayos de límite plástico y líquido, los cuales se emplearán como indicadores para determinar la necesidad de adelantar pruebas de expansión de Lambe sobre los materiales registrados.

2.4.3 Evaluación estructural de las viviendas

Una vez centralizado el análisis sobre la(s) hipótesis más probable(s) y con base en la información referente al comportamiento geomecánico del suelo sobre el que se encuentran ubicadas las viviendas afectadas, se realizará una inspección estructural de cada una de ellas por parte del ingeniero especialista en estructuras. Para obtener la información correspondiente a la condición estructural actual de cada vivienda, la localización general de los daños y su grado de afectación, se llevará a cabo el levantamiento de sus características estructurales y condición actual mediante la aplicación de un formato de evaluación preestablecido en conjunto con el Ingeniero estructural.

A partir de la visita y la aplicación del formato de evaluación se buscará comparar la condición estructural actual frente a los diseños que se hicieron para la construcción de las edificaciones originales, de tal manera que de ser posible, se establezca si lo diseñado concuerda con lo construido y si algunas de las modificaciones hechas por los propietarios condujeron a los daños que actualmente presentan las viviendas.

De la misma forma, se buscará corroborar si a juicio del Ingeniero Estructural las patologías registradas corresponden a aquellas que se asocian típicamente a la(s) hipótesis definida(s) por el estudio geotécnico y de esta forma finalmente establecer la(s) causa(s) del problema y sus soluciones.

2.4.4 Diseño de soluciones

Una vez definido con claridad el fenómeno que afecta las viviendas, se plantearán y diseñarán las obras que se consideren necesarias para estabilizar, minimizar y/o de ser posible, detener en su totalidad el problema.

De igual manera, se presentarán las recomendaciones necesarias que se deberán tener en cuenta durante la construcción y/o aplicación de las medidas diseñadas así como las recomendaciones generales a seguir para evitar que el fenómeno se siga presentando.

2.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Frente a la ocurrencia de cada una de las hipótesis planteadas se considera por ahora y de manera preliminar las soluciones citadas a continuación. Es necesario señalar que éstas son de carácter indicativo y de acuerdo con el análisis detallado del problema, que se citará posteriormente, se definirán con precisión las soluciones definitivas a implementar.

Desecación por succión

Tratamiento de los materiales con cales y otros aditivos.

Impermeabilización de la superficie del terreno ya sea con especies arbustivas o con obras de concreto asfáltico y/o hidráulico a fin de evitar la evapotranspiración.

Implementación de un programa de reemplazo de los eucaliptos que conforman el bosque del Parque Bosques de San Carlos, para aminorar la succión que esta especie ejerce sobre el subsuelo y sus consecuentes efectos sobre la estabilidad del mismo.

Fuga de suelos arenosos

Detectar posibles fisuras de los colectores por donde se pueda presentar pérdida de estos materiales y proceder a su reparación y sellado.

Expansión por humedecimiento

Esta situación es supremamente difícil de tratar y la única solución para el caso existente es convivir con el problema, ejecutando obras de mitigación a medida que van ocurriendo nuevas manifestaciones. Como obras de este tipo se pueden señalar:

- Reparación constante de los muros y demás elementos que se van agrietando.
- Pilotear la fundación a niveles más profundos, para hacerla poco susceptible a este fenómeno.
- Impermeabilización y recubrimiento de los colectores a fin de evitar cambios drásticos de temperatura a su alrededor que generan exudación de las conducciones y humedecimiento de los materiales circundantes.
- Impermeabilización de la superficie del terreno como ya se mencionó en las zonas descubiertas.

Presencia de cárcavas

Una vez ubicadas, se deberá consolidar el material que en ellas se encuentre, empleando para tal fin inyecciones, dadas las condiciones actuales de uso del suelo.

Tocones

De existir tocones o troncos de árboles antiguos, se deberá proceder a su retiro y reconfiguración del sitio, fundaciones y casas que se encuentren sobre ellos.

Combinaciones de las anteriores

De identificarse la ocurrencia de combinación de las hipótesis ya descritas o de otras que surjan durante el desarrollo del estudio, deberá evaluarse la implementación de varias de las soluciones ya presentadas o de otras que se vislumbren a lo largo del trabajo.

3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

3.1 CARTOGRAFÍA BASE

3.1.1 Localización cartográfica del área

El área se localiza en un cuadrángulo que tiene como coordenadas planas:

N: 97180.000 m, E: 97030.000 m en el extremo suroccidental.

N: 97550.000 m, E: 97310.000 m en el extremo nororiental.

Con elevaciones entre 2573 y 2578 m.s.n.m., ocupa un área aproximada de 1.62 Ha; los datos están referenciados a las coordenadas cartesianas con origen en el punto con coordenadas geográficas 04° 41' 00.00" de Latitud Norte y 74° 09' 00.00" de Longitud Oeste de Greenwich a la cual se le asignaron las coordenadas planas 109320.965 metros al Norte y 92334.879 metros al Este respectivamente. Datum Observatorio Astronómico de Bogotá con el plano de proyección de 2550.000 m.s.n.m.

3.1.2 Puntos topográficos

Se tomó como punto de partida la placa topográfica **CD829A** que se localiza en el separador de la Carrera Décima diagonal a la Calle 31 Sur hacia el Norte a 45 m aproximadamente, placa con coordenadas planas N: 97009.733 y E: 97456.487 m, con una elevación calculada por el IGAC de 2584.432 m.s.n.m. sobre el plano de referencia de 2550.000 m.s.n.m. con vista total a la placa topográfica **CD831A** que se localiza en el separador de la Carrera Décima con Calle 27 Sur a una distancia de 405.64 m de la placa anterior, placa con coordenadas N: 97313.702 m y E: 97725.088 m, con una elevación media calculada trigonométricamente de 2585.564 m.s.n.m. sobre el plano de referencia de 2550.000 m.s.n.m. En el Anexo 2, se adjunta copia de la certificación IGAC.

3.2 EQUIPO

El levantamiento se realizó con una Estación Total Nikon DTM-300 de precisión angular a los 5 segundos y con alcances de lectura con prisma sencillo de 1200 m de distancia en longitud, con capacidad para almacenar hasta 500 puntos topográficos, con lectura vertical cenital y el acompañamiento de dos prismas para la lectura de los puntos.

3.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se realizó a partir de los puntos topográficos mencionados anteriormente, tomando como azimut verdadero la dirección de la placa **CD829A** y mediante una poligonal abierta, se trasladaron las coordenadas y la elevación, hasta iniciar con el levantamiento de los diferentes puntos de interés a levantar en el área de estudio.

Puntos de Referencia: corresponden a dos puntillas incrustadas en andenes, identificadas con las letras R1 y R2, localizadas R1 cerca de la entrada Peatonal del Parque San Carlos en el andén sur occidental Calle 31Sur con Carrera 12 Bis y R2 en el andén norte de la Calle 27 A Sur frente a la Carrera 12 Bis, existe vista entre ellas, su ubicación se refleja en el plano y sus coordenadas son:

Referencia 1: N: 97202.098 m, E: 97057.755 m, Z: 2576.806 m.

Referencia 2: N: 97540.474 m, E: 97292.239 m, Z: 2573.825 m.

El levantamiento topográfico se realizó en una única etapa dadas las dimensiones del área a estudiar, tal como sigue:

Toma de información únicamente del área despejada con secciones transversales de la vía Carrera 12 Bis y el área aledaña del parque (aproximadamente 20 m), colocando los prismas en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del área de estudio y realizando paralelamente la toma de información de los puntos topográficos de infraestructura como son paramentos, andenes, construcciones, postes, pozos, etc.; los intervalos entre las secciones varían entre 18 y 20 m de distancia según las condiciones del terreno. Este procedimiento tuvo una duración de 1 día y se tomaron 500 puntos.

3.3.1 Colección de la información de campo

Para la colección de datos de campo se optó por consignar la información tomada en la estación total, mediante un colector de datos serial **RS-232** y el programa de computadora Transit Vrsn. 2.11 propio de los fabricantes de la estación total.

3.3.2 Trabajo de oficina

El trabajo consistió en georreferenciar los puntos topográficos tomados en campo mediante el programa Transit Vrsn. 2.11.

No se calculó el error de cierre, ya que los puntos de partida se localizaron dentro del área de estudio y también sirvieron como puntos de la poligonal para la toma de datos.

El procesamiento cartográfico del levantamiento se ejecutó empleando el módulo Surface Modeling del Programa de computadora EaglePoint Vrsn. 14.1, bajo un modelo de interpolación dirigida con un modelo en las tres dimensiones, lo que representó definir y respetar las barreras físicas actuales, condicionando la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del programa bajo su libre esquema de triangulación. En este proceso jugaron un papel importante las secciones transversales, en las cuales se cuenta con la información básica sobre la conformación transversal típica del área estudiada.

Como resultado de la actividad anterior, se definió la salida gráfica del Plano Topográfico a escala 1:500, con curvas de nivel cada 0.25 m, con el propósito de visualizar la configuración altimétrica de la zona.

El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, ya que primero se elaboraron las diferentes capas de información y posteriormente se hizo la interpolación. Para una mejor aplicación del programa se procesaron parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos

levantados, lo cual dio como resultado la no generación de errores y una mayor precisión y calibración para los límites y contornos. Con base en lo anterior y para terminar la generación del mapa base, se realizó la integración e interpretación final de todo el conjunto.

3.4 PRODUCTOS

Como resultado de los trabajos topográficos realizados, se entrega la presente memoria, en conjunto con el Mapa Barrio Country Sur en escala 1:500, incluido en la parte final del presente informe en copia dura y la copia magnética en el CD donde se remite la totalidad del estudio. Las respectivas carteras de campo se incluyen en el Anexo 2.

Las capas de información que componen el Mapa Barrio Country Sur no son solo las que aparecen en la copia dura, algunas de ellas se ocultaron intencionalmente para permitir la claridad en el producto, ellas permanecen en el archivo magnético.

4 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

De acuerdo con el Mapa Geológico de Santa Fe de Bogotá, incluido dentro de la Microzonificación Sísmica de Santa Fe Bogotá (1997), el sitio en estudio corresponde a los depósitos fluvio-lacustres (Qtb) pertenecientes a la Formación Sabana (Qs), cuya descripción se presenta seguidamente.

Dada la cercanía de la zona en estudio a los cerros orientales de Bogotá, los cuales en el sector que circunda el área estudiada están conformados por materiales de las formaciones Bogotá y Regadera (caracterizadas por la presencia de areniscas, con intercalaciones de arcillolitas), dentro de los materiales finos del depósito fluvio-lacustre, no se descarta la presencia de materiales en diferentes proporciones y diversos tamaños, correspondientes a fragmentos y partículas procedentes de la meteorización y posterior erosión de las areniscas citadas.

- **FORMACIÓN SABANA (Qs)**

“Constituye la mayor parte de la superficie plana de la ciudad; geomorfológicamente corresponde al nivel de terrazas altas. Consta de arcillas plásticas de color gris oscuro, en estratos de 0.4 a 1.0 m de espesor, con interstratificaciones de lentes de arena y gravas e intercalaciones de ceniza volcánica de color gris blancuzco, las cuales son más abundantes hacia la parte media del depósito”.

5 ESTUDIO GEOTÉCNICO

5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

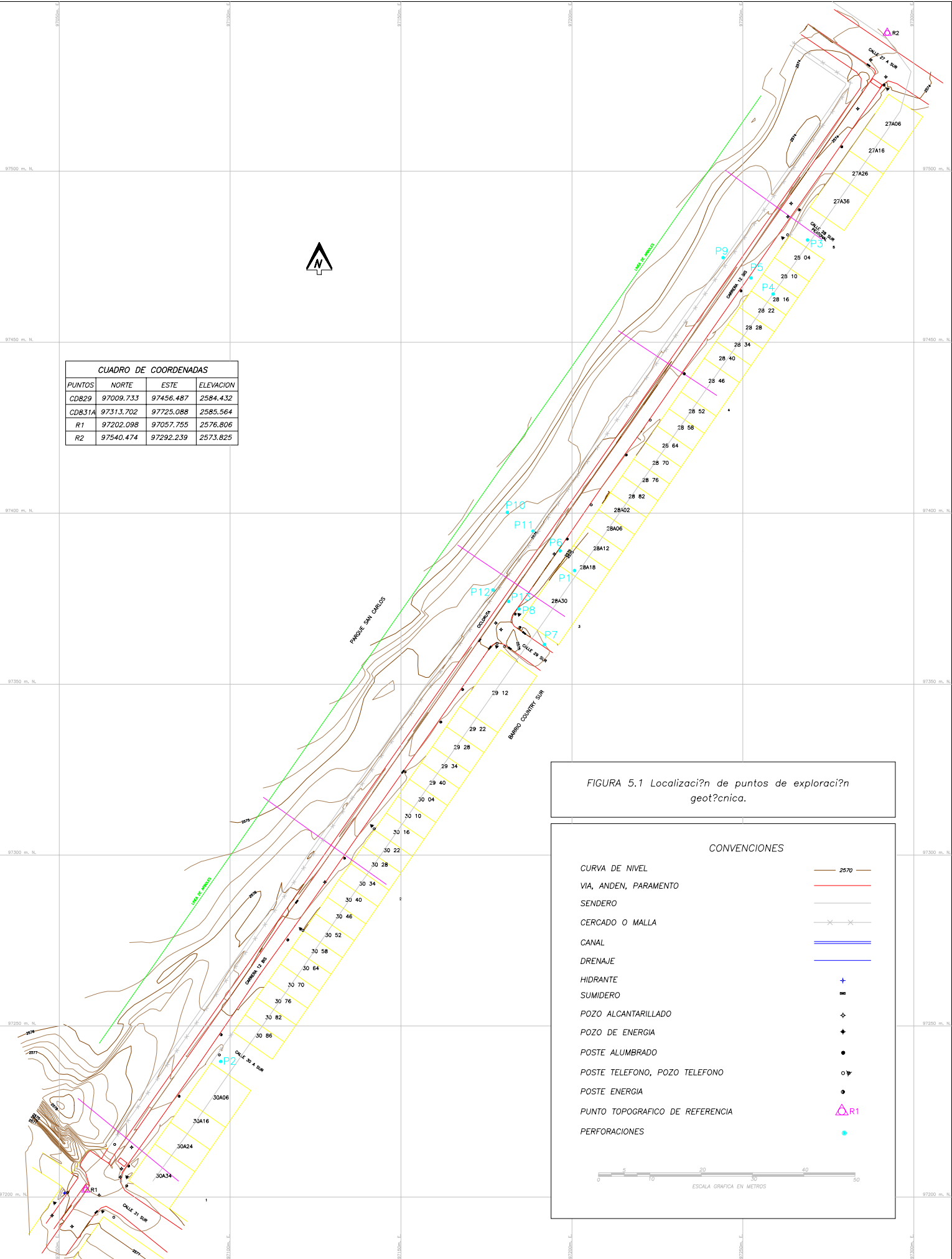
Con el propósito de identificar los materiales existentes en el área estudiada y su espesor, se llevó a cabo una campaña de exploración geotécnica, la cual se subdividió en dos etapas, en las cuales se ejecutaron perforaciones manuales a diferentes profundidades.

Con el objeto de realizar la identificación general de los materiales que componen el perfil típico del subsuelo en la zona estudiada y sus características geomecánicas fundamentales, se adelantó la primera etapa de la exploración, en la cual se llevaron a cabo tres (3) perforaciones con barreno de accionamiento manual, alcanzando profundidades de 8.0, 6.0 y 5.5 m (perforaciones 1, 2 y 3 respectivamente, cuya localización se presenta en la Figura 5.1).

Sobre las muestras alteradas e inalteradas recuperadas de las perforaciones antes mencionadas, se practicaron pruebas de laboratorio de: clasificación, caracterización física y resistencia. Con base en los resultados obtenidos, se corroboraron las apreciaciones hechas en campo durante la identificación visual de los materiales, con respecto a la ausencia de evidencias que permitieran considerar la existencia de materiales expansivos.

A partir de la pruebas de compresión inconfiada realizadas sobre las muestras recuperadas, puede apreciarse que en general la resistencia tiende a disminuir con la profundidad, presentando las mayores variaciones cerca de la superficie (hasta 2.0 m aproximadamente), con valores entre 2.6 y 1.3 kg/cm² aproximadamente. De otro lado, mientras en los sectores sur y central de la zona estudiada las resistencias se encuentran en un rango comprendido entre 1.2 y 1.6 kg/cm², en el costado norte éstas alcanzan 3.4 kg/cm². Adicionalmente, es importante destacar que los valores de este parámetro se incrementan notablemente a lo largo de la sección transversal a la vía, observándose un incremento gradual al avanzar desde la zona adyacente a las viviendas hasta la primera fila de árboles del parque Bosques de San Carlos, lo cual se explica teniendo en cuenta que los fenómenos de consolidación por desecación en el parque han sido fuertemente acentuados por la presencia de los eucaliptos que allí se localizan.

Adicionalmente, es importante anotar que en ninguna de las tres perforaciones realizadas se reportó la presencia de materiales netamente arenosos o con altos contenidos de partículas de este tamaño. De la misma forma, en ninguna de éstas se recuperaron cantidades apreciables de restos de madera o acumulaciones de material orgánico asociable a su completa descomposición, que permitieran considerar la existencia de tocones o restos de raíces de tamaño apreciable en el área explorada. No obstante, dado el carácter puntual de la investigación del subsuelo realizada, no se descartó la posibilidad de que existieran restos de estos materiales en descomposición parcial o completa por fuera de los puntos explorados.



CUADRO DE COORDENADAS			
PUNTOS	NORTE	ESTE	ELEVACION
CD829	97009.733	97456.487	2584.432
CD831A	97313.702	97725.088	2585.564
R1	97202.098	97057.755	2576.806
R2	97540.474	97292.239	2573.825

FIGURA 5.1 Localización de puntos de exploración geotécnica.

CONVENCIONES

- CURVA DE NIVEL — 2570 —
- VIA, ANDEN, PARAMENTO — (red line) —
- SENDERO — (grey line) —
- CERCADO O MALLA — (cross-hatch) —
- CANAL — (blue line) —
- DRENAJE — (dashed blue line) —
- HIDRANTE +
- SUMIDERO =
- POZO ALCANTARILLADO ◇
- POZO DE ENERGIA ◆
- POSTE ALUMBRADO ●
- POSTE TELEFONO, POZO TELEFONO ○
- POSTE ENERGIA ○
- PUNTO TOPOGRAFICO DE REFERENCIA △ R1
- PERFORACIONES ● (blue)

0 10 20 30 40 50
ESCALA GRAFICA EN METROS

Teniendo en cuenta las consideraciones previamente mencionadas en relación con el estado y funcionamiento del colector Albina, se descarta que la afectación principal de las viviendas se encuentre asociada a desplazamientos horizontales y/o verticales de dicha estructura, que a su vez pudieran generar asentamientos en la zona de las viviendas. Con base en las consideraciones anteriores y en las condiciones y características del subsuelo antes descritas, se decidió realizar una exploración complementaria, en la cual se confirmarían las apreciaciones ya consignadas y se ahondará en el conocimiento de las condiciones de desecación de los materiales en la zona.

Para este fin, se planteó la realización de 10 perforaciones adicionales, concentradas entre las calle 28 sur y 29 sur, abarcando transversalmente la zona comprendida entre la fachada de las viviendas y la primera línea de árboles del parque Bosques de San Carlos. Éstas perforaciones alcanzaron profundidades variables entre 2.15 m y 5.0 m, de acuerdo con las posibilidades de exploración en cada uno de los sitios donde se localizaron, dada la amplia variación de consistencia que se detectó en sentido perpendicular a la carrera 12 Bis, que limitó definitivamente en algunos casos el avance de las perforaciones hasta mayores profundidades.

A lo largo de toda la exploración del subsuelo se recuperaron muestras alteradas e inalteradas para ensayos en laboratorio y se adelantaron diversas pruebas de campo. En la Figura 5.1 se ilustra la ubicación de la totalidad de los puntos de exploración geotécnica y en el Anexo No. 3, se presentan los registros de exploración de las perforaciones, con la totalidad de la información recopilada en campo; los valores de RPI y RPR se encuentran en kg/cm².

5.2 ENSAYOS IN-SITU Y DE LABORATORIO

Durante la ejecución de la exploración geotécnica se ejecutaron ensayos in-situ tales como:

- Resistencia a la penetración remoldeada (RPR) e inalterada (RPI) con el penetrómetro de bolsillo.
- Ensayo de penetración estándar - SPT.

Así mismo, durante la ejecución de la exploración del subsuelo se recuperaron muestras inalteradas mediante el tubo de pared delgada y remoldeadas, obtenidas mediante la cuchara partida y del material extraído con el barreno. De tales muestras se seleccionaron las más representativas, a las que se les practicaron los siguientes ensayos de laboratorio:

De clasificación:

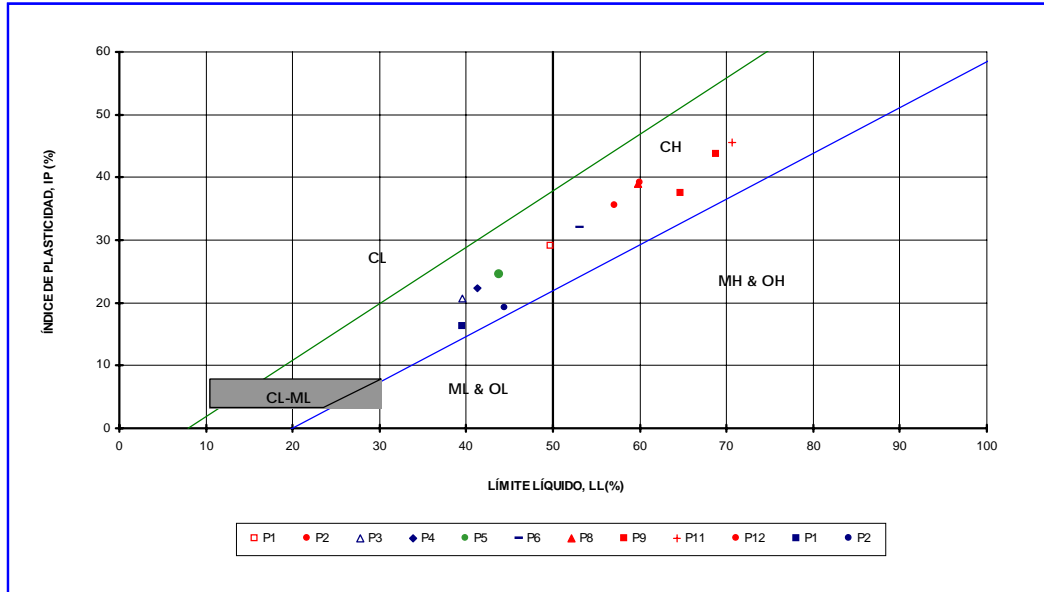
- Trece (13) límites de Atterberg.
- Veinticinco (25) humedades naturales.
- Catorce (14) pesos unitarios.

De resistencia:

- Doce (12) compresiones inconfiadas.

En el Anexo No. 4 se reportan los formatos de cálculo de cada una de las pruebas de laboratorio efectuadas y en la Tabla 5-1 se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

A partir de dichos resultados, se conformó la Gráfica 5-1, en la cual se ilustra el estado de plasticidad de las muestras arcillosas recuperadas. En ésta, los datos indicados en color rojo corresponden a la arcilla gris habana localizada en la parte superior del perfil estratigráfico explorado, los presentados en azul, a la arcilla gris rojiza que subyace el material anterior y el dato marcado con color verde, corresponde a la arcilla gris verdosa descrita a continuación.



Gráfica 5-1. Carta de plasticidad

5.3 PERFIL PROMEDIO DEL SUBSUELO

Después de analizar los registros de exploración del subsuelo, así como los resultados de laboratorio, se definió el siguiente perfil promedio:

PROF. (m)	DESCRIPCIÓN	γ_t (t/m ³)	γ_d (t/m ³)
0.00 - 0.50	Limos orgánicos y rellenos arcillosos con material granular y escombros de construcción, o rellenos constituidos con material granular contaminado.		
0.50 – 4.10	Arcilla habana grisácea de consistencia firme a media, con manchas de oxidación, fisurada y presencia de raíces; de compresibilidad y plasticidad alta. LL: 50 – 70; LP: 21 – 27; Wn: 18 – 35 En las perforaciones 5, 6 y 7, se reportó la presencia de una arcilla gris verdosa, oxidada, fisurada, con presencia de raíces; compresibilidad baja y plasticidad media. Este material se registró a partir de profundidades comprendidas entre 0.70 y 2.00 m y hasta una profundidad de 3.70 m aproximadamente. LL: 44; LP: 19; Wn: 19 – 37	1.99	1.59

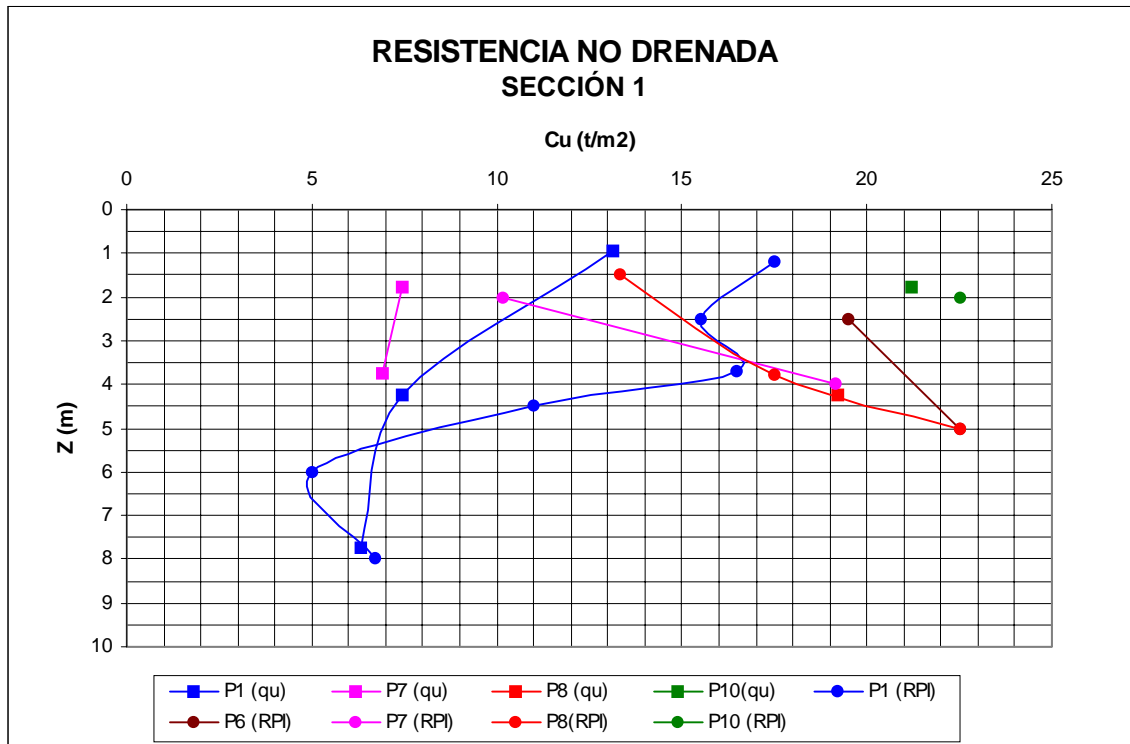
4.10 – 8.00	Arcilla gris rojiza, oxidada, fisurada, con presencia de raíces, de consistencia firme a dura; baja compresibilidad y plasticidad media. LL: 39 - 53; LP: 19-25; Wn: 15.4 - 29.3	2.05	1.69
-------------	---	------	------

Tabla 5-1. Perfil promedio del subsuelo

Con base en la información del perfil promedio del subsuelo y la carta de plasticidad, es posible concluir que a nivel general la arcilla gris habana corresponde, de acuerdo con el criterio de Casagrande, a un suelo arcilloso de alta compresibilidad y plasticidad. El material subyacente, arcilla gris rojiza, de acuerdo con el mismo criterio, puede clasificarse como una arcilla de baja compresibilidad y plasticidad media y la arcilla gris verdosa presenta compresibilidad baja y plasticidad media.

5.4 EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DEL SUELO

Con el objetivo de establecer el comportamiento de la resistencia del subsuelo tanto en profundidad como en sentido longitudinal y transversal a la ubicación de las viviendas en estudio, se procedió a analizar gráficamente el valor de la resistencia al corte no drenada C_u . Para este fin, se estableció el valor de C_u a partir de los resultados de los ensayos de compresión inconfiada (q_u) y Resistencia a la Penetración Inalterada (RPI). Ver Gráfica 5-2 y Gráfica 5-3.

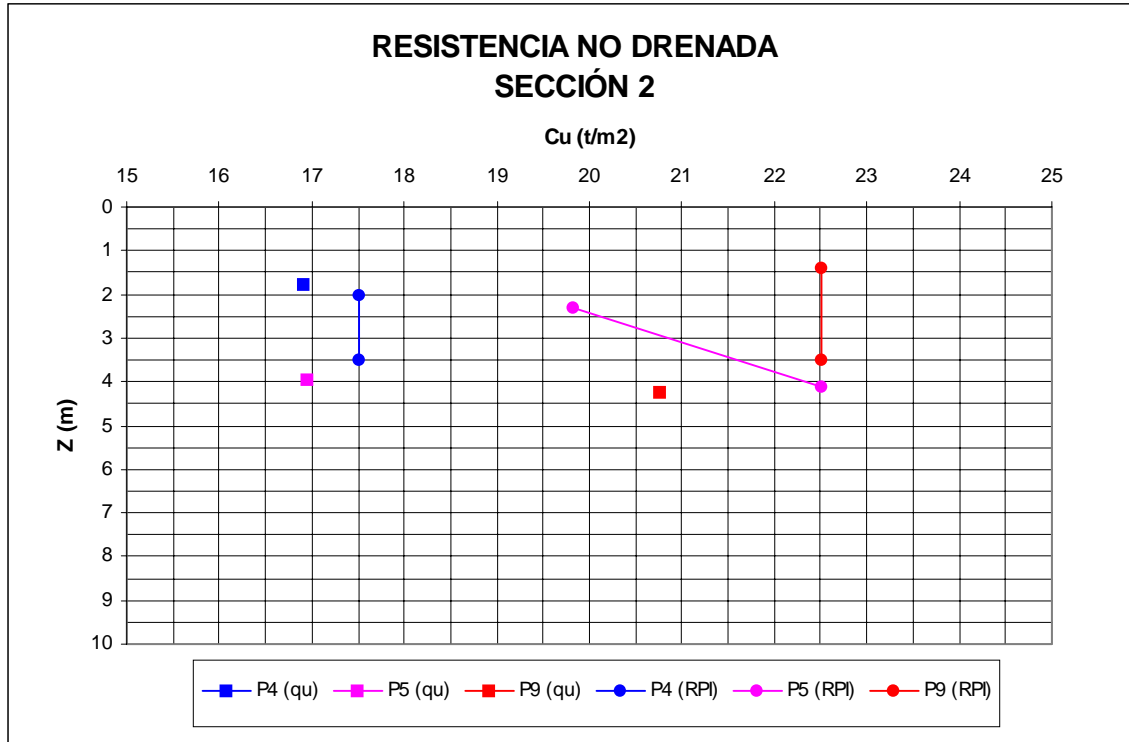


Gráfica 5-2. Perfil de resistencia sección 1

En la Gráfica 5-2 se ilustran los datos de resistencia de la sección No. 1, la cual se encuentra ubicada aproximadamente a 8.00 m al norte de la calle 29 sur. A esta sección se asocian las perforaciones No. 1, 6, 7, 8 y 10 (ver Figura 5.1), dado que se encuentran

cerca de la misma. Se consideró esta sección para el presente análisis dado que es en esta zona donde se presentan las mayores afectaciones a las viviendas.

En la Gráfica 5-3, se presenta el comportamiento de la resistencia en la sección 2, a la cual se asocian las perforaciones No. 4, 5 y 9. Aunque en la zona donde se ubica esta sección no se presentan daños estructurales de las viviendas, se efectuó el análisis respectivo a fin de poder comparar cambios de resistencia con respecto a la sección 1.



Gráfica 5-3. Perfil de resistencia sección 2.

5.4.1 Variación de la resistencia con la profundidad

En las dos secciones se encontró que la resistencia al corte no drenada (C_u) disminuye con la profundidad. Si bien al estudiar los datos de resistencia a la penetración inalterada (RPI) se aprecia una tendencia creciente con la profundidad, de acuerdo con los valores obtenidos de resistencia a la compresión inconfiada se aprecia un comportamiento opuesto. Dadas las condiciones y procedimientos de ejecución de las dos pruebas se considera que los datos de resistencia a la compresión inconfiada representan mejor el comportamiento real del subsuelo estudiado.

5.4.2 Variación de la resistencia en el sentido transversal a las viviendas (sentido NW-SE)

Del análisis de las dos secciones, se observó que la resistencia es mayor cerca de los árboles y menor en el lugar donde se encuentran las viviendas. Para el caso particular de la sección 1, se encontró que la resistencia al corte no drenada (C_u) alcanza los máximos valores reportados (del orden de 22.0 t/m²) en la zona adyacente a los árboles y al acercarse a las viviendas ésta disminuye, alcanzando su valor mínimo en las

perforaciones más alejadas de los árboles (perforaciones 1 y 7), en las que se registran valores del orden de 7.0 t/m^2 . En la sección 2 sucede algo similar; cerca de los árboles la resistencia es del orden de 22.5 t/m^2 y decrece a 17.0 t/m^2 en la zona adyacente a las casas.

5.4.3 Variación de la resistencia en el sentido longitudinal a las viviendas (sentido SW-NE)

Considerando en conjunto la Gráfica 5- y la Gráfica 5-, se concluye que la resistencia al corte no drenada (C_u) es mayor en la zona de la sección 2 (con un valor promedio de 17.0 t/m^2), localizada en el costado norte del área de estudio y menor en la sección 1 ($C_u = 7.0 \text{ t/m}^2$) ubicada en la parte central de la zona estudiada.

APIQUE (A)/TRINCHERA (T)/PERFORACIÓN (P)	P1					P2				P3				P4		
	1	2	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
MUESTRA																
PROFUNDIDAD [m]	0.70-1.20	2.00-2.50	4.00-4.50	5.50-6.00	7.50-8.00	1.00-1.50	2.00-2.50	3.50-4.00	5.50-6.00	1.50-2.00	2.50-3.00	3.80-4.30	5.00-5.50	1.50-2.00	3.00-3.50	4.50-5.00
HUMEDAD NATURAL w [%]	31.8	21.9	25.3	25.7	29.3	18.4	26.3	21.6	24.4	24.1	31.4	20.6	19.9	20.7	21.7	25.9
PESO UNITARIO γ_t [t/m ³]	1.89		2.01		1.98	2.04								2.12		
PESO UNITARIO SECO γ_d [t/m ³]	1.43		1.60		1.53	1.72								1.76		
LIMITE LIQUIDO		49.6		39.4			57.0		44.3				39.4		41.2	
LIMITE PLASTICO		20.7		23.1			21.6		25.3				18.9		19.0	
INDICE DE PLASTICIDAD		28.9		16.3			35.4		19.0				20.5		22.2	
INDICE DE CONSISTENCIA		0.960		0.846			0.869						0.951		0.879	
INDICE DE LIQUIDEZ																
CLASIFICACION U.S.C.S.		CL		CL			CH		CL				CL		CL	
COMPRESIÓN INCONFINADA q_u [kg/cm ²]	2.62		1.50		1.27	1.33			1.27					3.37		
% GRAVAS																
% ARENAS																
% FINOS																

APIQUE (A)/TRINCHERA (T)/PERFORACIÓN (P)	P5		P6			P7				P8			P9			
	1	3	1	2	3	1	2	3	5	1	2	4	1	2	3	4
MUESTRA																
PROFUNDIDAD [m]	1.80-2.30	3.70-4.20	2.00-2.50	3.00-3.50	4.50-5.00	1.50-2.00	2.70-3.20	3.50-4.00	4.50-5.00	1.00-1.50	3.30-3.80	4.00-4.50	0.90-1.40	2.10-2.40	3.00-3.50	4.00-4.50
HUMEDAD NATURAL w [%]	19.2	17.1	28.5	21.2	19.2	31.7	36.7	35.6	33.8	30.9	23.4	23.8	23.8	18.4	23.5	15.3
PESO UNITARIO γ_t [t/m ³]		2.04	2.05			1.89		1.88				2.06			1.98	2.16
PESO UNITARIO SECO γ_d [t/m ³]		1.74	1.60			1.43		1.38				1.67			1.61	1.87
LIMITE LIQUIDO	43.5				53.3						59.6		68.7		64.6	
LIMITE PLASTICO	19.3				21.0						21.0		25.2		27.3	
INDICE DE PLASTICIDAD	24.2				32.3						38.6		43.5		37.3	
INDICE DE CONSISTENCIA	1.00				1.056						0.937		1.03		1.10	
INDICE DE LIQUIDEZ																
CLASIFICACION U.S.C.S.	CL				CH						CH		CH		CH	
COMPRESIÓN INCONFINADA q_u [kg/cm ²]		3.43				1.49		1.40				3.84				4.14
% GRAVAS																
% ARENAS																
% FINOS																

APIQUE (A)/TRINCHERA (T)/PERFORACIÓN (P)	P10		P11		P12		P13									
	1	2	1	2	1	2	1									
MUESTRA																
PROFUNDIDAD [m]	1.50-2.00	2.45-2.80	0.80-1.70	1.70-2.45	1.35-1.60	2.25-2.50	1.20-2.10									
HUMEDAD NATURAL w [%]	27.8	26.7	24.2	24.4	21.0	23.90	8.80									
PESO UNITARIO γ_t [t/m ³]	1.94															
PESO UNITARIO SECO γ_d [t/m ³]	1.52															
LIMITE LIQUIDO			70.6		60.1											
LIMITE PLASTICO			25.2		21.0											
INDICE DE PLASTICIDAD			45.4		39.1											
INDICE DE CONSISTENCIA																
INDICE DE LIQUIDEZ					0.999											
CLASIFICACION U.S.C.S.			CH		CH											
COMPRESIÓN INCONFINADA q_u [kg/cm ²]	4.22															
% GRAVAS																
% ARENAS																
% FINOS																

Tabla 5.2. Resultados de pruebas de laboratorio

6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Las edificaciones objeto del estudio corresponden a las viviendas ubicadas sobre la carrera 12 Bis entre las calles 27 Sur y 31 Sur en el costado oriental del Parque Bosques de San Carlos del barrio Country Sur de Bogotá D.C.; siendo las viviendas identificadas con la nomenclatura 28 A-24 Sur y 28 A-36 Sur (No. 12–36 sobre la Calle 29 Sur) de la carrera 12 Bis las más afectadas.

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Las viviendas en estudio fueron construidas por el Instituto de Crédito Territorial INSCREDIAL hace aproximadamente 40 años. El sistema estructural de la mayor parte de las viviendas originales es en muros de mampostería no reforzada ni confinada, algunos en ladrillo tolete y otros en bloque hueco de arcilla, se desarrollan en dos pisos, su entrepiso es en madera, el cielorraso en esterilla de guadua y pañete y la cubierta en teja ondulada de asbesto cemento. En la zona media del hall de alcobas del segundo piso se observa una dilatación en el sentido de la fachada de las viviendas.

En el costado occidental de la carrera 12 Bis, se localiza el parque Bosques de San Carlos, en el cual se encuentran árboles de eucalipto con una densidad mayor hacia el sector de esta vía.

6.2 LEVANTAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS

Con el objeto de conocer en detalle la condición estructural de cada una de las viviendas localizadas en la zona de estudio, se realizó un levantamiento estructural mediante entrevista directa con los residentes e inspección visual. La información acopiada fue consignada en un formato de evaluación preestablecido en conjunto con el Ingeniero estructural.

Para efectos de organización de la información recopilada, la zona de estudio se dividió de acuerdo con las cuatro manzanas existentes, numerando las viviendas de cada manzana de forma independiente tal como se indica en los formatos adjuntos en el Anexo 5 (ver numeral 2 de los formatos).

En el proceso de toma de información se presentaron dificultades dado que algunos residentes no permitieron realizar la evaluación y otros no se encontraron en ninguno de los dos días en los cuales se realizaron las labores de campo.

6.3 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DAÑOS EN LAS VIVIENDAS

A continuación se describe la metodología seguida para evaluar de manera cuantitativa la inspección desarrollada en cada una de las viviendas que se encuentran dentro de la zona en estudio.

6.3.1 METODOLOGÍA

Para la evaluación estadística de los daños presentes en cada una de las viviendas del barrio Country Sur y que se encuentran dentro de la zona en estudio, se tomó como fuente de información la obtenida en el inventario de la condición actual de edificaciones (anexo No. 5). Con base en esta información se procedió a establecer la cantidad de viviendas afectadas por cada nivel de daño y para cada uno de los ítem que se consideró representativo tanto para los elementos estructurales como los no estructurales de cada una de las edificaciones. De igual manera se llevó a cabo una categorización de cada una de las viviendas con base en la calificación cualitativa asignada a los daños observados tanto en los elementos estructurales como no estructurales. Por último, se definió para cada uno de las cuatro manzanas, el porcentaje del valor de daño que le corresponde con respecto a las demás.

El trabajo así desarrollado, permitió definir cuatro zonas por afectación o daños; y a las cuales se les asignó una zona específica de atención para tala de árboles. El orden de prioridad corresponde primero a la zona de mayores daños y la última a la de menor.

6.3.2 TOMA DE INFORMACIÓN

Como ya se mencionó, la información base se extractó de los formatos diligenciados durante el inventario de viviendas desarrollado durante el presente estudio y que se adjuntan en el anexo No. 5.

De tales documentos y para los fines de la evaluación y cuantificación de daños, se extractó la información de los numerales 23 a 26 y que corresponde a la valoración de daños observados en los elementos estructurales y no estructurales. En la tabla No. 1 del anexo No. 5 se presenta tal información.

6.3.3 ZONIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS POR NIVEL DE DAÑO

6.3.3.1 CUANTIFICACIÓN DE VIVIENDAS POR NIVEL DE DAÑOS

De la información relacionada en la tabla No. 1 se definió por cada tipo de daño, tanto en los elementos estructurales como no estructurales, la cantidad de viviendas por cada manzana, esta información se consignó en las tablas No. 2 y 3 del anexo No. 5.

Así mismo y para facilitar su interpretación, se graficaron los anteriores datos, obteniendo las figuras No. 1 y 2 del mismo anexo.

De este análisis se concluye que las manzanas 2 y 3 son las que mayor porcentaje de sus viviendas presentan daños tanto en sus elementos estructurales como no estructurales e instalaciones. Así mismo debe destacarse que en casi la totalidad de casas evaluadas se encontró como sistema estructural los muros de corte y portantes, lo cual resulta lógico si se tiene en cuenta la antigüedad de las mismas y la época en la cual se construyeron. Debe resaltarse el hecho de que las manzanas No. 2 y 3 son las que más porcentajes de viviendas afectadas en sus muros de corte y portantes presentan.

6.3.3.2 CUANTIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE LAS VIVIENDAS

En este paso se cuantificó el nivel de daño de cada una de las viviendas; para este fin, se empleó la valoración conceptual hecha en el inventario de viviendas (anexo No. 5) y resumido en la tabla No. 1 del mismo anexo.

Para este fin se calculó el Valor de Daño en la Casa (VDC) como:

$$VDC = \sum P_i * \chi_i$$

Donde:

P_i = Puntaje asignado al daño en el elemento evaluado.

χ_i = Factor de ponderación.

El puntaje asignado y el factor de ponderación se definen a continuación en la tablas No. 6-1 a 6-3.

PUNTAJE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
1	Ninguno
2	Ligero
3	Moderado
4	Fuerte
5	Severo

Tabla 6-1. Descripción de los niveles de daño.

ELEMENTO EVALUADO P_i	FACTOR DE PONDERACIÓN χ_i
Muros portantes	0.25
Columnas	0.1
Vigas	0.1
Nudos pórticos	0.1
Muros corte	0.25
Escaleras	0.07
Pisos	0.06
Cubiertas	0.07

Tabla 6-2. Factores de ponderación para los elementos estructurales.

ELEMENTO EVALUADO P_i	FACTOR DE PONDERACIÓN χ_i
Tabiques divisorios	0.30
Instalaciones eléctricas	0.20
Instalaciones sanitarias	0.25
Canalización de gas	0.25

Tabla 6-3. Factores de ponderación para los elementos no estructurales e instalaciones.

Los valores así calculados y para cada una de la viviendas de la zona en estudio se presenta en las últimas seis columnas de la tabla No. 1 del anexo No. 5.

Se destaca que las dos últimas columnas y bajo el nombre de “general” se presenta el Valor de Daño de la Casa General (VDCG) asignado por la afectación global de la

vivienda a causa de los daños detectados tanto en los elementos estructurales como no estructurales. Este número se obtuvo de la siguiente manera:

$$VDCG = VDC_e * 0.65 + VDC_{ne} * 0.35$$

Donde:

VDC_e = Valor de daño de la casa en sus elementos estructurales.

VDC_{ne} = Valor de daño de la casa en sus elementos no estructurales e instalaciones.

0.65 y 0.35 son los valores de ponderación asignados a los valores de daño definidos tanto para los elementos estructurales como no estructurales respectivamente.

6.3.3.3 CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO

La calificación de daño se realizó con base en los criterios indicados en la Tabla 6-4.

RANGO DEL VDCG	DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE DAÑO
0.00 – 0.25	Ninguno
0.25 – 0.50	Ligero
0.50 – 1.00	Moderado
1.00 – 2.00	Fuerte
>2.00	Severo

Tabla 6-4. Rangos para el Valor de Daño de las Casas General

Con base en estos rangos se clasificó cada una de las viviendas y se elaboró el plano No. 2 (zonificación de afectación por daños en las viviendas y planteamiento de tala y replazo de árboles) adjunto al presente informe.

6.3.3.4 VALOR DE DAÑO DE LA MANZANA

El Valor de Daño de la Manzana (VDM) se obtuvo de la siguiente manera:

$$VDM = (\sum P_i * \chi_i) / n$$

Donde:

n = Número de casas de cada una de las manzanas

i = Varía entre 1 y n.

En la figura No. 3 del anexo No. 5 se presentan estos valores y la comparación con respecto al total de las viviendas (manzanas) evaluadas.

6.4 ESTADO ACTUAL Y COMPORTAMIENTO

Un alto porcentaje de las viviendas ha sido ampliado en planta y en altura hacia el frente de la fachada principal y también en la zona originalmente dispuesta como patio trasero, en donde actualmente pueden encontrarse estructuras hasta de dos y tres pisos, las cuales en su mayoría fueron adelantadas sin ningún tipo de diseño estructural y con procesos constructivos deficientes.

Es importante resaltar que las viviendas que no han sido ampliadas, presentan un comportamiento adecuado bajo las cargas impuestas desde su construcción y las fisuras que se observan en buena parte se consideran propias de la falta de un adecuado mantenimiento. Por ejemplo, en el pañete del cielorraso se aprecian fisuras y desprendimientos probablemente generados por filtraciones de la cubierta (ver Fotografía 3).

Para las viviendas ampliadas, el entrepiso de la segunda etapa se apoyó en el muro de mampostería de esta fachada. En la mayoría de las viviendas, tanto en el sitio de unión de la edificación inicial y la ampliación como en el sector de la ampliación, se presentan fisuras que se pueden considerar propias del sistema constructivo utilizado, ya que no fueron independizadas y la edificación inicial no era competente para asumir las nuevas cargas impuestas. Adicionalmente estas ampliaciones en su mayoría de acuerdo con la información suministrada por los residentes, se realizaron con una posterioridad del orden de los diez años, lo cual implica que la consolidación del suelo de fundación de la primera y segunda etapas de estas viviendas sea diferente, de modo que el comportamiento estructural de las mismas también lo sea; lo cual se hace más crítico por tratarse de cimentaciones superficiales.



Fotografía 3. Desprendimientos y fisuras en cielorraso. Puede apreciarse la esterilla de guadua y el pañete que lo conforman.

Adicional a los anteriores factores se suma la consolidación por desecación del terreno, producto de las épocas de baja precipitación, combinadas con la acción de los eucaliptos que se localizan en el parque adyacente, lo que agrava los asentamientos de las cimentaciones de las viviendas, ocasionando fisuras en los muros de mampostería, los cuales en razón de su fragilidad no se encuentran en capacidad de absorber estas sollicitaciones.

Las viviendas localizadas en los números 28 A-24 Sur y 28 A-36 Sur, presentan en términos generales el comportamiento descrito anteriormente pero muy acentuado, para cada una de éstas a continuación se describe su estado actual y comportamiento:

Vivienda Carrera 12 Bis No. 28A - 24 Sur

Esta vivienda fue ampliada en planta y en altura hacia el frente de la fachada principal, se observan grietas tanto en la edificación inicial como en la ampliación, las cuales tienen un tamaño considerable (Ver fotografía No.9 Anexo Fotográfico).

En la zona adyacente a la unión de la primera y segunda etapas de construcción, se observan en los muros grietas que además de su apreciable ancho, ya han sufrido desplazamientos considerables en el sentido transversal de éstos (Ver fotos Nos. 12 a 19 Anexo Fotográfico). En la zona de la vivienda inicial, a diferencia de las demás edificaciones, en la dilatación del hall de alcobas se observa una grieta que también evidencia desplazamiento.

El ventanal del muro de la sala de la fachada posterior fue ampliado considerablemente, hecho que afecta de una manera negativa el comportamiento de este muro, por cuanto genera pérdida en su rigidez y por consiguiente en su capacidad de carga.

Vivienda Carrera 12 Bis No. 28A - 36 Sur (No. 12 - 36 sobre la calle 29 sur)

Esta vivienda fue ampliada en planta y en altura de la fachada del costado Occidental de la edificación inicial hacia la carrera 12 Bis (Ver fotografía No. 8 del Anexo Fotográfico). De acuerdo con la información de sus ocupantes el sector de la vivienda inicial no presenta problemas, sin embargo, en el sector de la ampliación se observan fisuras del mismo tipo que las que se presentan en la vivienda descrita anteriormente.

En las fotografías No. 21 a 25 del Anexo Fotográfico se observan las grietas del sector de unión de la edificación inicial y la ampliación.

7 CONSIDERACIONES FORESTALES

El bosque localizado en el costado occidental del parque Bosques de San Carlos, se encuentra conformado por una plantación de árboles de la especie ***Eucalyptus globulus. Labill*** (ver Fotografía 4), distribuida en líneas paralelas uniformes, distanciadas aproximadamente 5 m y corresponde a un bosque maduro o sobremaduro coetáneo de más de 50 años de edad (existen fotografías aéreas antiguas en donde se aprecia su existencia desde antes de 1951), con árboles entre 10 m y 26 m de altura aproximada, de diámetros que varían entre 0.20 m y 1.15 m de diámetro, encontrándose los más robustos en el borde de la plantación que da a la carrera 12 Bis, ya que los del interior tienen un diámetro y altura menor debido a la competencia de sus vecinos.



Fotografía 4. Aspecto general del *Eucalyptus globulus. Labill*

A partir de la conformación de la plantación forestal descrita, se considera que el bosque se plantó con el fin de ejercer sobre él un aprovechamiento forestal a futuro, el cual no fue realizado.

El crecimiento de los árboles en plantíos o masas boscosas de la misma edad ejerce poca o ninguna influencia sobre los árboles dominantes en las primeras etapas de crecimiento, es por eso que en una plantación de una misma época los árboles crecen a un ritmo más rápido que en otra con árboles de edades diferentes y no se ven perjudicados por sus vecinos. Pero el corte o la entresaca de árboles en mal estado o pequeños dentro de una plantación, hace que los árboles que permanecen cerca de los ya cortados crezcan en desigualdad ya que la competencia por los nutrientes y la luz es mínima.

Debe tenerse en cuenta que en la etapa posterior a la entresaca las succiones ejercidas por estos árboles para extraer agua del subsuelo se elevan dramáticamente, (lo cual está demostrado por el aumento de la biomasa), generando efectos de diversa intensidad en el suelo, de acuerdo con el tipo de material que conforma los depósitos térreos presentes y la especie arbórea plantada. En el caso de los ***Eucalyptus globulus. Labill***, es reconocida la capacidad que tiene la especie para desecar el suelo.

El ciclo de una plantación de ***Eucalyptus globulus. Labill***, como la de este caso en estudio, se completa aproximadamente a los 17 años de plantado para un aprovechamiento total, teniendo en cuenta la realización de una entresaca de limatón a los 7 años y otra de vara de corredor a los 11 años.

La hipótesis que el bosque esté afectando el sector cobra validez si se considera que éste ha venido perdiendo biomasa en diferentes sectores por corta y tala con el único propósito de retirar el material maderero que presenta peligro para la comunidad que disfruta de este espacio ambiental, presentándose crecimientos desmedidos en algunos ejemplares que al no tener competencia por el espacio y nutrientes crecen en volúmenes importantes y afectan la estructura del suelo por desecación, al aumentar las succiones ejercidas.

Es importante tener en cuenta que los árboles se encuentran a una distancia no mayor de 25 m de las edificaciones más cercanas y sus raíces se extenderían hasta una distancia de por lo menos 20 a 25 m, y que como primera opción podrían estar tomando agua del colector Albina o de los alcantarillados pluvial y sanitario de las construcciones vecinas (Carrera 12 Bis) o por lo menos concentrando su acción extractiva sobre el costado oriental del bosque en la sección transversal de la Carrera 12 Bis, ya que los suelos cercanos a los árboles presentan excesiva desecación y por ende daño en su estructura agronómica que presenta asentamientos en donde localmente se encuentran suelos duros (Claypan).

Con respecto al ***Eucalyptus globulus. Labill***, debe anotarse que es una especie foránea y que de ella no se conocen índices de crecimiento, requerimientos ambientales y otros necesarios para darle un manejo adecuado en áreas verdes urbanas.

Por otra parte es importante indicar que el bosque ocupó primero el espacio y que fue, sin ningún estudio, la ciudad la que fue encerrándolo y restringiéndole su espacio de desarrollo. Esta condición exigía practicar un manejo silvícola adecuado que garantizara el desarrollo de la especie en condiciones controladas, que permitieran manejar los efectos de su interacción con el medio y la infraestructura que lo limita. Dado que este manejo no se puso en práctica, el bosque se desarrolló de manera desordenada. Hoy una de las alternativas es la de reemplazar el bosque por uno nuevo de especies nativas, con manejo programático en el que se tengan en cuenta los ciclos de la especie, las intervenciones necesarias y la calidad de sitio para evitar futuros inconvenientes.

8 ANÁLISIS DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE LAS PATOLOGÍAS

8.1 ANÁLISIS DE HIPÓTESIS PRELIMINARES

Con base en los elementos de juicio acopiados a partir del estudio geotécnico, puede descartarse la presencia de suelos expansivos en el sector, cuyo comportamiento volumétrico cambiante con las condiciones estacionales de humedad pudiese ser asociado a las patologías que exhiben las viviendas localizadas sobre la zona estudiada.

Si bien, la presencia de suelos expansivos se planteó dentro de las hipótesis iniciales, a partir de la inspección y clasificación visual de los materiales extraídos durante las actividades de exploración del subsuelo y de la determinación en laboratorio de los límites de Atterberg de dichos suelos, no se reportaron evidencias que demostraran actividad expansiva de los suelos del sector.

De la misma forma, con base en el estudio de los perfiles unitarios de exploración de las perforaciones realizadas en el subsuelo, se descartó la presencia de materiales con altos contenidos de arena, que pudieran ser afectados por fenómenos de erosión interna, conducentes a la pérdida progresiva de material, con la consecuente generación de espacios vacíos en el subsuelo, los cuales ante la acción continuada de flujos de agua y la presencia de cargas provenientes de las edificaciones e infraestructura del sector, pudieran colapsar, generando asentamientos y deformaciones de las estructuras en superficie.

En relación con la presencia de antiguos tocones o raíces de tamaño apreciable, así como la existencia de depósitos de materiales de relleno no controlados, localizados dentro de la zona de los desarrollos habitacionales o en las áreas inmediatamente adyacentes, debe citarse que en las actividades de exploración y reconocimiento de campo no se recuperaron materiales de relleno, ni cantidades apreciables de restos de madera o acumulaciones de material orgánico asociable a su completa descomposición, que permitieran considerar la pasada existencia de componentes orgánicos. No obstante, dado el carácter puntual de la investigación del subsuelo que es viable realizar, no es posible descartar completamente la existencia de rellenos o de restos de materiales orgánicos en descomposición parcial o completa por fuera de los puntos explorados, que podrían asociarse en un momento dado a patologías puntuales de ciertas edificaciones.

Sin embargo, se aclara que a la luz de las evidencias recopiladas durante el desarrollo del estudio, se considera que ésta no es la causa fundamental de las patologías generalizadas que presentan las viviendas agrupadas a lo largo de la Carrera 12 Bis, entre las calles 27A sur y 31 sur.

8.2 DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTADAS EN LAS VIVIENDAS

Teniendo en cuenta las consideraciones antes citadas y el análisis conjunto de la información registrada en campo en relación con la naturaleza de los materiales que componen el subsuelo, su condición geomecánica, la conformación geomorfológica inicial de la zona, los antecedentes del problema tratado, las características típicas de las viviendas localizadas en el área y la interacción de todos estos elementos con los factores del medio ambiente tales como precipitación, evapotranspiración y vegetación, se conformó un modelo conceptual que permite explicar la problemática del sector, asociada a la generación de las patologías que exhibe la infraestructura ubicada sobre la carrera 12 Bis.

En relación con lo anterior, debe tenerse en cuenta en primer lugar, que los materiales depositados en el sector son suelos arcillosos con compresibilidad alta en el estrato más superficial y baja en el subyacente (reportado en el estudio hasta una profundidad máxima de 8.00 m). En vista de lo anterior, las condiciones de humedad del subsuelo juegan un papel preponderante en su comportamiento mecánico, dado que la resistencia y la condición volumétrica y de esfuerzos de la masa de suelo, se encuentran estrechamente relacionadas con dicha variable. Dentro de estas características cabe mencionar la pérdida de resistencia dramática que se presenta en estos suelos con el aumento de humedad y el incremento de resistencia, así como la disminución de volumen y consecuente agrietamiento con su disminución.

En la zona de estudio las condiciones de humedad del subsuelo se relacionan con: el aporte de agua de la precipitación natural que se presenta en el área y desde el punto de vista de las pérdidas de ésta, con la evapotranspiración y la extracción de agua del subsuelo por parte de los eucaliptos del parque que ejercen fuertes succiones para su obtención.

A partir de la evaluación de resistencia mecánica de los materiales del sector y de su condición de humedad, se aprecia claramente una tendencia de incremento de resistencia y disminución de humedad a medida que se avanza desde la fachada de las viviendas hacia la primera línea de árboles del bosque del Parque Bosques de San Carlos. Ésto evidencia en primer lugar un desbalance hídrico entre la cantidad de agua requerida por los árboles más aquella que se pierde por evapotranspiración y la disponible en el subsuelo gracias a la precipitación de la zona. Dada la concentración y distribución de los árboles dicho desbalance se acentúa en el área más cercana a éstos y decrece en cercanías de las viviendas, tal como lo indican las evidencias de campo.

Como resultado de esta situación se generan fenómenos de consolidación por desecación, que en el mismo orden de ideas van incrementando su intensidad con la cercanía a los árboles de eucalipto, en relación directa con la abundancia de raíces de estos árboles que realizan succiones sobre el suelo, conllevando a la generación del fenómeno mencionado.

En el proceso de consolidación por desecación, se reduce el contenido de humedad del suelo progresivamente, presentándose presiones de poros negativas, con el consecuente aumento de los esfuerzos efectivos y por ende de resistencia (que se incrementa

notoriamente cerca de la superficie, tal como se evidenció en la exploración de campo y se señaló en el numeral 5.4.1 a partir de los datos de resistencia obtenidos mediante ensayos) y la disminución del volumen del suelo. Al ocurrir esta disminución, con los consecuentes asentamientos sufridos por el suelo arcilloso, se presenta su agrietamiento vertical y horizontal que conduce a la generación posterior de inestabilidad interna. El efecto puede ser multiplicador al provocar agrietamiento del subsuelo y facilitar la entrada posterior de agua hasta mayores profundidades.

Debe tenerse en cuenta además que la succión ejercida por los árboles se incrementa en los periodos de menor disponibilidad de agua, que corresponden a periodos de lluvias muy escasas y en consecuencia de intensa evapotranspiración, todo lo cual conlleva a la disminución progresiva de la humedad presente en el suelo con los efectos ya mencionadas. Adicionalmente, de acuerdo con las ideas presentadas en el Capítulo 7, las succiones se ven acrecentadas al adelantar entresacas del bosque, por lo cual su ejecución podría resultar más perjudicial que la conservación de la totalidad de los árboles.

Con los cambios continuados en el uso del suelo de la zona adyacente a la que se encuentra plantado el bosque (urbanización y canalización de la Quebrada La Albina), se ha venido reduciendo paulatinamente el área de infiltración directa y por ende la disponibilidad de agua en el suelo, por lo cual la actividad de los árboles se ve acrecentada, con alta probabilidad de concentrarse hacia la zona donde se presenta menos competencia por la no presencia de vegetación de gran porte, como lo es el área donde se localizan las casas y por la eventual mayor disponibilidad de agua proveniente de imperfecciones en las conexiones hidráulicas de los sistemas de abastecimiento y recolección de agua potable y servidas, generadas por el mismo proceso de reacondicionamiento del suelo.

En relación con este último aspecto, debe mencionarse que durante la inspección del colector Albina no se registraron daños que permitan contemplar pérdidas apreciables del caudal que éste transporta, ni tampoco se registraron raíces en su interior. No obstante, en los colectores locales, pueden presentarse imperfecciones menores en las conexiones que incentiven la expansión y actividad de micro raíces en esta zona.

Dado el proceso de consolidación por desecación del subsuelo (que en últimas conlleva deformaciones sobre éste), los sistemas de cimentación se ven sometidos a diversas deformaciones, ocasionando fisuras en los muros de mampostería, los cuales en razón de su fragilidad no se encuentran en capacidad de absorber las sollicitaciones asociadas.

La magnitud de las afectaciones de las viviendas por lo tanto se relaciona con la intensidad de las succiones (de difícil cuantificación puntual dada la diversidad de factores asociados: distribución y porte de los árboles, área de infiltración y disponibilidad de agua no proveniente de precipitación, entre otros), el sistema estructural existente y la magnitud y distribución de las cargas actuantes. Ésto puede observarse con base en el análisis de daños realizado en el cual se aprecia que las casas con entramado de tabiques en general presentan mayores afectaciones que aquellas conformadas con pórticos de concreto.

Para las viviendas ampliadas, el entrepiso de la segunda etapa de construcción se apoyó en el muro de mampostería de la fachada original. En la mayoría de las viviendas, tanto en el sitio de unión de la edificación inicial y la ampliación como en el sector de la

ampliación, se presentan fisuras que se pueden considerar propias del sistema constructivo utilizado, ya que no fueron independizadas y la edificación inicial no era competente para asumir las nuevas cargas impuestas. Adicionalmente estas ampliaciones en su mayoría de acuerdo con la información suministrada por los residentes, se realizaron con una posterioridad del orden de los diez años, lo cual implica adicionalmente que la consolidación del suelo de fundación de primera y segunda etapa de estas viviendas sea diferente, de modo que el comportamiento estructural de las mismas también lo sea; lo cual se hace más crítico por tratarse de cimentaciones superficiales.

De disponerse de sistemas estructurales de mayor competencia los efectos ocasionados por la desecación sobre las estructuras se verían minimizados. Como referencia puede mencionarse que los edificios localizados sobre el costado occidental del parque Bosques de San Carlos (ver Fotografía 5) conformados con pórticos de concreto, en la actualidad no presentan afectaciones apreciables, a pesar de encontrarse en la zona adyacente al bosque existente sobre este costado del parque, el cual podría estar ocasionando efectos similares sobre el subsuelo a los ya indicados para la carrera 12 Bis.



Fotografía 5. Edificaciones costado occidental del parque Bosques de San Carlos

De otra parte, es necesario tener en cuenta que de no realizarse intervención alguna en el sector, el problema continuará acrecentándose ante la inexistencia de manejo silvícola del bosque, el cual permitirá el desarrollo continuo de los árboles bajo condiciones no controladas que continuarían incrementando el efecto de consolidación por desecación. De esta forma, en un futuro cercano podrían verse afectadas por deformaciones y agrietamientos un mayor número de viviendas, la infraestructura vial: ciclo-ruta y calzada vehicular de paso restringido, las redes de abastecimiento y evacuación de agua, así como otras redes de servicios.

Dadas estas condiciones y teniendo en cuenta la importancia ambiental que presenta el bosque, a nivel general pueden plantearse las siguientes alternativas de intervención, la primera relacionada con el aseguramiento de condiciones más cercanas al equilibrio hídrico del sector mediante el suministro controlado de agua a los árboles hasta el momento de su extinción, reduciendo así su acción sobre las zonas aledañas. La segunda se relaciona con la compra y demolición de la totalidad de las casas de la zona estudiada para evitar la afectación de estructuras por la acción de los árboles. Una tercera

alternativa consiste en la construcción de una barrera rígida que limite el desarrollo de raíces más allá del parque. Por último podría considerarse el reemplazo paulatino del bosque por una especie con menores requerimientos de agua y que se adapte a las condiciones agrológicas actuales del terreno y a futuro garantice condiciones ambientales similares en el sector, sin perjudicar el entorno en el que se localizará.

A continuación se exploran conceptualmente algunas posibilidades de intervención a partir de las alternativas antes planteadas.

- Con el objeto de asegurar condiciones más cercanas de equilibrio hídrico en la zona, se plantea el diseño y construcción de un sistema de riego controlado, que tenga en cuenta mediante un estudio detallado el régimen hidrológico de la zona y los requerimientos de agua de la plantación existente de eucaliptos, con el objeto de minimizar las necesidades de extracción de agua del subsuelo por parte de los árboles y de esta forma minimizar a corto plazo (mientras se establece nuevamente el equilibrio de la zona) y detener o llevar a niveles tolerables a largo plazo el fenómeno de consolidación por desecación que afecta la infraestructura del sector.
- Como alternativa, para dotar de riego al plantío de eucaliptos, se propone el desvío parcial o total del vallado que discurre por el costado sur del parque, iniciando en la calle 31 sur, modificando el trazado al interior del parque para suministrar agua a las primeras filas de árboles localizados junto a la carrera 12 Bis. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este vallado, solo transporta agua en época de precipitaciones abundantes (en la cual la succión de los árboles se hace menor por la disponibilidad natural del líquido), por lo cual se tendría la necesidad de rediseñar el sistema de drenaje de aguas lluvias y de escorrentía de la zona, para reencausar las aguas de tal forma que se provea al bosque de agua en cualquier época. Se anota que de acuerdo con la información disponible, el colector Albina presenta flujo continuo a lo largo de todo el año.
- En relación con la tercera alternativa planteada, teniendo en cuenta la alta actividad de las raíces de los árboles de eucalipto, se plantea la construcción de una barrera construida con alineamiento paralelo al cerramiento actual del parque, de forma que ésta impida el paso de las raíces más allá del parque. Esta barrera podría conformarse con una sección rígida, que no pueda ser traspasada por las raíces (concreto) y por una sección de material granular, en la cual se incorporen partículas de alita, que eviten el crecimiento de las raíces más allá de ella, en conjunto con la sección rígida. No obstante, es necesario anotar que esta opción presenta como limitación su alto costo, dado que la alta avidéz de agua por parte de los eucaliptos y su tamaño actual, haría necesario llevar esta barrera hasta profundidades mínimas del orden de 10 m.

9 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

El presupuesto elaborado corresponde a las actividades de tala y reemplazo por siembra de árboles nuevos del bosque de eucaliptos existente en el parque Bosques de San Carlos. De acuerdo con el alcance del presente estudio, no es posible establecer la nueva especie a sembrar, dado que está debe ser definida a partir de la realización de un estudio agrológico detallado de la zona, en el cual se considere la condición actual de los suelos y las condiciones hidrológicas, entre otras variables, con el fin de seleccionar una especie arbórea de adecuada capacidad de adaptación a las condiciones propias del sector. Con base en estas consideraciones, se ha contemplado un precio unitario representativo para la actividad de siembra de árboles en la sabana, de acuerdo con las especies que comúnmente se manejan en la ciudad. Debe tenerse en cuenta adicionalmente que el número de árboles dependerá también de la especie a sembrar, con base en lo cual se definirá el espaciamiento requerido entre los individuos de la plantación y por ende el número a plantar en el área de reemplazo del bosque.

Sin embargo, no se han incluido los costos asociados a los eventuales tratamientos que pueda requerir el suelo para asegurar el pleno desarrollo de los árboles, ni los costos de fertilizantes, insecticidas y demás actividades de control y mantenimiento de la plantación, los cuales deben evaluarse de acuerdo con la especie seleccionada.

En la Tabla 9-1 se presenta el presupuesto aproximado para adelantar las medidas de intervención propuestas en el estudio.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. PARCIAL	SUBTOTAL
1	REEMPLAZO BOSQUE DE EUCALIPTOS					\$ 107.094.173
1.1	Tala de árboles de gran porte	un	188	\$ 425.000	\$ 79.900.000	
1.2	Suministro y siembra de árbol	un	200	\$ 40.000	\$ 8.000.000	
1.3	Tierra negra	m ³	188.5	\$ 31.800	\$ 5.994.173	
1.4	Revegetalización	m ²	6000	\$ 2.200	\$ 13.200.000	
2	COMPRA Y DEMOLICIÓN DE VIVIENDAS					\$ 70.000.000
2.1	Vivienda localizada en la carrera 12 Bis 28A - 24	gl	1	\$ 70.000.000	\$ 70.000.000	
TOTAL						\$ 177.094.173

Tabla 9-1. Presupuesto estimado

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del estudio geotécnico del área se establece que en ésta predominan los materiales arcillosos. En profundidad el perfil estratigráfico se encuentra distribuido aproximadamente de la siguiente forma: superficialmente, en un espesor medio de 0.50 m, se localizan limos orgánicos y rellenos arcillosos con material granular y escombros de construcción, o rellenos constituidos con material granular contaminado. A partir de 0.50 m y hasta 4.10 m se encuentra una arcilla habana grisácea de compresibilidad y plasticidad alta, la cual sobreyace un estrato de arcilla gris rojiza de baja compresibilidad y plasticidad media. Es necesario indicar que en las perforaciones 5, 6 y 7, se reportó la presencia de una arcilla gris verdosa de compresibilidad baja y plasticidad media a partir de profundidades comprendidas entre 0.70 y 2.00 m y hasta una profundidad de 3.70 m aproximadamente.

Con base en el análisis de la resistencia al corte no drenada, se estableció que ésta disminuye con la profundidad y es mayor cerca de los árboles y menor en el lugar donde se encuentran las viviendas. Considerando los datos obtenidos en las dos secciones donde se concentró la exploración se concluye que la resistencia al corte no drenada es mayor en el costado norte del área de estudio y menor en la ubicada en la parte central de la zona estudiada; en relación con las humedades naturales exhibidas por los materiales en el momento de realizar la exploración de campo, puede señalarse que en su totalidad se encuentran muy cerca del límite plástico obtenido.

A partir de la evaluación estructural de las viviendas localizadas dentro de la zona de estudio, se realizó una sectorización con base en la intensidad de los daños exhibidos, a partir de la cual se estableció que la mayor concentración de daños se presenta en el costado sur de la manzana 2 (comprendida entre las calles 28 Sur y 29 Sur) y en las dos primeras casas de la manzana 3, ubicada entre las calles 29 Sur y 30A Sur (área que corresponde a la zona uno de intervención indicada en el plano 2), con excepción de algunas casas que no exhiben daños significativos, pero que han sido incorporadas por su cercanía con las más afectadas.

Como aspecto importante cabe resaltar que las viviendas en las que no se han realizado ampliaciones en general presentan grados de afectación menores que aquellas que fueron modificadas.

Con base en la inspección visual preliminar realizada sobre las viviendas y la información acopiada a partir del levantamiento estructural, se estableció que las viviendas más afectadas corresponden a las identificadas con los números 28A – 24 Sur y 28A – 36 Sur (No. 12-36 sobre la calle 29 sur), por lo cual se decidió instalar en éstas siete puntos de control de desplazamiento, ubicados en las grietas de mayor abertura. Los datos registrados se presentan en detalle en el Anexo 6.

Con respecto a la casa No. 28A-36 Sur (esquinera), de los tres sitios monitoreados tan solo el A (localizado en el corredor del segundo piso junto a la escalera del garaje principal, en la junta de la zona de ampliación), ha presentado movimientos relativos importantes entre los puntos de control. Para este sitio se ha encontrado que el bloque

derecho (zona de ampliación) con respecto al izquierdo (muro del bloque original), ha bajado y se ha alejado. El movimiento relativo máximo registrado entre los dos bloques es de 3.2 mm en cuarenta y cuatro (44) días (febrero 7 a marzo 23 de 2002).

Para la casa No. 28A-24 Sur, los cuatro sitios monitoreados han sufrido movimientos relativos; sin embargo, el sitio B (localizado frente a la llegada de la escalera en el segundo piso, en la junta de la casa original y la ampliación) es el de mayor movimiento. En éste, el bloque derecho (zona de ampliación) se ha alejado del izquierdo una distancia máxima de 3.85 mm en cuarenta y cuatro (44) días (febrero 7 a marzo 23 de 2002). El segundo punto en importancia de movimiento es el A (localizado sobre el costado izquierdo del acceso principal del primer piso, junto a la escalera, en la junta de la zona de ampliación y el bloque original de la vivienda), en el cual y al igual que en el punto B, el bloque izquierdo (zona de ampliación) se ha separado del derecho una distancia horizontal máxima de 4 mm en el mismo periodo indicado para los movimientos anteriores. Es adecuado indicar que las distancias de este punto de control se determinaron empleando el medidor con aproximación al milímetro.

En relación con el seguimiento realizado en el muro oriental que confina la escalera de la vivienda con número 28A-24 (ver esquema de localización en el Anexo 6), se registró un desplazamiento máximo de 1.5 mm entre el 13 de febrero y el 23 de marzo de 2002. Los datos anteriores al de febrero no se consideraron en esta evaluación, dado que no se registraron con el mismo instrumento de precisión a 1/20 de mm empleado desde febrero 13.

Desde el punto de vista de la condición de las viviendas, es importante tener en cuenta que éstas tienen un sistema estructural que a la luz de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, es deficiente ante la presencia de eventos sísmicos, por tratarse de mampostería no reforzada ni confinada. Asimismo estas viviendas han presentado un comportamiento adecuado ante las sollicitaciones de cargas verticales, pero ante la presencia de eventos sísmicos correspondientes al espectro de diseño de la zona, en razón de su sistema estructural carecen de elementos estructurales con capacidad para responder ante los requerimientos de esfuerzos y deformaciones que le impone el sismo de diseño establecido por la NSR-98.

En razón de lo anterior y de que el alcance del presente estudio tiene como objeto llevar a cabo la evaluación estructural de los problemas que se han presentado en las viviendas localizadas sobre la carrera 12 Bis, se recomienda efectuar un estudio de vulnerabilidad estructural y actualización de comportamiento sísmico a las viviendas, de acuerdo con la reglamentación vigente.

Con base en la información recopilada a lo largo del estudio se realizó el análisis conducente a integrar un modelo conceptual que permitiera establecer las causas de las patologías presentadas en las viviendas localizadas sobre la Carrera 12 Bis. A partir de dicho análisis puede concluirse que el sector ha venido siendo afectado por un fenómeno de consolidación por desecación, el cual se ve potenciado por la presencia de los árboles de eucalipto localizados junto a la Carrera 12 Bis, dentro del parque Bosques de San Carlos, dadas las succiones que éstos ejercen sobre el subsuelo para la extracción de agua. Este fenómeno genera deformaciones en el suelo que afectan la cimentación de las viviendas, ocasionando fisuras en los muros de mampostería y en las juntas de las ampliaciones realizadas a las edificaciones, las cuales en razón de su fragilidad no se encuentran en capacidad de absorber las sollicitaciones asociadas.

En vista de lo anterior, puede apreciarse que el bosque del parque Bosques de San Carlos juega un papel fundamental dentro de la problemática del sector. A partir del levantamiento de árboles realizado se determinó que sus diámetros varían entre 0.20 m y 1.15 m, mientras las alturas fluctúan entre 10 m y 26 m aproximadamente, con lo cual puede comprobarse que se trata de árboles de gran porte. En cuanto a su distribución en planta, vale decir que a partir del levantamiento puede constatarse que los de mayor diámetro se localizan en el borde de la plantación que da a la carrera 12 Bis debido a la menor competencia por nutrientes que éstos tienen en relación con sus vecinos.

A partir de la conformación de la plantación forestal descrita, se considera que el bosque se plantó con el fin de ejercer sobre él un aprovechamiento forestal a futuro, con el propósito de generar recursos madereros en un tiempo determinado y ésto implica un aprovechamiento del bosque en un tiempo determinado. En este caso la plantación no fue aprovechada, ni se le dio manejo alguno, presentándose en la actualidad todos los problemas seniles de las plantaciones como son: caídas prematuras de árboles, crecimiento desmedido de solo algunos y por último madera de mala calidad que en muy pocos casos puede ser aprovechable. No obstante, dado el uso presente del suelo, el bosque actualmente tiene gran importancia ambiental para la comunidad del sector, como fuente de recreación visual y elemento depurador del aire.

El planteamiento relacionado con el hecho que el bosque esté afectando el sector cobra validez si se considera que éste ha venido perdiendo biomasa en diferentes sectores por corta y tala con el único propósito de retirar el material maderero que presenta peligro para la comunidad que disfruta de este espacio ambiental, presentándose crecimientos desmedidos en algunos ejemplares que al no tener competencia por el espacio y nutrientes crecen en volúmenes importantes y afectan la estructura del suelo por desecación, al aumentar las succiones ejercidas.

Si bien se han identificado en las viviendas problemas asociados a las condiciones estructurales deficientes que éstas presentan, las cuales en algunos casos a la luz del problema identificado se acentúan por la existencia de ampliaciones, partiendo de la base de mantener las condiciones estructurales actuales de las viviendas, puede considerarse que el problema estudiado se relaciona con un desequilibrio hídrico del sector, dado que a partir del fenómeno identificado de consolidación por desecación, se aprecia que los árboles ejercen fuerte succión sobre el subsuelo para la obtención de agua en periodos donde su disponibilidad se reduce, extendiendo su acción hasta la zona donde se localizan las viviendas.

Dadas estas condiciones y teniendo en cuenta la importancia ambiental que presenta el bosque, a nivel general se plantearon las siguientes alternativas de intervención, la primera relacionada con el aseguramiento de condiciones más cercanas al equilibrio hídrico del sector mediante el suministro controlado de agua a los árboles hasta el momento de su extinción, reduciendo así su acción sobre las zonas aledañas. La segunda se relaciona con la compra y demolición de las casas para evitar la afectación de estructuras por la acción de los árboles. Una tercera alternativa consiste en la construcción de una barrera rígida que limite el desarrollo de raíces más allá del parque. Por último podría considerarse el reemplazo paulatino del bosque por una especie con menores requerimientos de agua y que se adapte a las condiciones agrológicas actuales del terreno y a futuro garantice condiciones ambientales similares en el sector, sin perjudicar el entorno en el que se localizará.

Con el objeto de evitar que este fenómeno de desecación continúe afectando las viviendas del sector en el futuro, así como los diferentes elementos de infraestructura, se recomienda acometer el reemplazo del bosque de eucaliptos.

Se considera que de las diferentes soluciones propuestas la más conveniente es la realización de tal reemplazo, dado que la plantación existente de eucaliptos se encuentra en etapa senil, por lo cual en el futuro se incrementarán los problemas ya mencionados de una plantación de tales características, tal como se empieza a evidenciar en la actualidad. De esta forma, al iniciar el cambio de la plantación se evitarán situaciones riesgosas para la comunidad y se posibilitará la implementación de la solución a las afectaciones que se vienen presentando en las viviendas de la zona estudiada.

Es necesario tener en cuenta que en la actualidad el suelo donde se localiza la plantación de eucaliptos presenta condiciones agrológicas muy pobres, por lo cual para llevar a cabo con éxito el reemplazo del bosque es necesario realizar los estudios conducentes a determinar la especie que mejor adaptación presente a las condiciones del suelo, así como sus necesidades de riego, fertilización, manejo de la especie, etc., los cuales se encuentran fuera del alcance del presente estudio.

10.1 RECOMENDACIONES

De acuerdo con las condiciones establecidas a partir de la evaluación estructural realizada, para la vivienda localizada sobre la carrera 12 Bis en el número 28A-24 Sur, se recomienda la evacuación de sus residentes y la demolición de la estructura, dado que presenta un alto grado de grietas de magnitud considerable que han generado discontinuidad en los muros de mampostería y pérdida de estabilidad y capacidad de carga de los mismos, asimismo el avance de este proceso de deterioro en la estructura puede conllevar a su colapso, poniendo en peligro la integridad de sus ocupantes y de las edificaciones vecinas. Dado el grado de deterioro que presenta esta vivienda tanto en la construcción inicial como en la ampliación, no se considera apta para una intervención estructural conducente a su reparación para llevarla al nivel de exigencia de la NSR-98.

En cuanto a la vivienda identificada con el número 28A-36 Sur sobre la carrera 12 Bis (No 12-36 sobre la calle 29 Sur), en razón de que las grietas relevantes se presentan en el sector de la ampliación, una vez se establezca el comportamiento de su suelo de fundación, este sector es factible de intervenir estructuralmente para corregir sus deficiencias actuales y llevar la estructura al estado en que se encontraba antes de presentarse el fenómeno de desecación del suelo. Es importante tener en cuenta que una intervención estructural cumpliendo a cabalidad con la NSR-98 no sería sensato ni práctico ejecutarla, en razón de las características del sistema estructural que adolece de elementos con capacidad para responder ante los requerimientos de esfuerzos y deformaciones que le impone el sismo de diseño. Cabe anotar que la edificación inicial no se intervendría dado que el fenómeno de consolidación por desecación no la afectó.

En relación con las viviendas restantes de la zona estudiada, se recomienda acometer las reparaciones después de un periodo de aproximadamente seis meses a partir del momento en que se realice la tala del bosque (tal como se indicará posteriormente), dado que es posible que se presenten movimientos y reacomodaciones del terreno aún después de acometer el derribo de los árboles.

A partir de las consideraciones expuestas para la definición del origen de las patologías y la revisión de las alternativas de intervención planteadas, con el objeto de evitar que este fenómeno de desecación continúe afectando las viviendas del sector en el futuro, así como los diferentes elementos de infraestructura, se recomienda acometer el reemplazo del bosque de eucaliptos.

Dado el alto valor ambiental y ecológico que tiene actualmente el bosque, el cual debe ser considerado al acometer cualquier tipo de acción, se propone la tala y reemplazo gradual de los árboles. Con el objeto de definir el área de tala y reemplazo y el número de etapas requerido para esta actividad, se realizó una sectorización del área estudiada tomando como criterio el grado de afectación actual que presentan las viviendas, identificado a partir de la evaluación estructural realizada. Como resultado de este análisis se establecieron cuatro zonas, priorizando su intervención en orden descendente de magnitud de daños reportados, tal como se indica en el plano 2: Zonificación de afectación por daños en las viviendas y planteamiento de tala y reemplazo de árboles, anexo al presente informe; se estima que el reemplazo del bosque podría realizarse en un periodo de 4 años.

En vista del tamaño de los árboles y su localización con respecto a las viviendas, se recomienda talar cada árbol llevando a cabo su derribo en varias secciones verticales, minimizando el efecto de su caída sobre la zona adyacente donde se localizan las viviendas.

El reemplazo debe ser ejecutado por la entidad Distrital a cargo del parque, empleando especies nativas de buena adaptación a las condiciones agrológicas actuales del terreno, menores requerimientos de agua con el objeto de minimizar los efectos que su succión sobre el suelo y que en el futuro garantice condiciones ambientales similares en el sector, sin perjudicar el entorno en el que se localizará. Se recomienda que se realicen los estudios de laboratorio que determinen las propiedades físico-químicas del suelo con el propósito de que las especies nuevas se adapten al sitio con los menores inconvenientes de manejo y enfermedades.

Es recomendable que una vez se adelante la tala de la primera zona (a la cual se asocia la mayor densidad de daños) se evalúe la evolución de los fenómenos en ésta, lo cual serviría de guía inicial para adelantar una evaluación conducente a establecer si se requiere talar y reemplazar en adelante zonas de mayor o menor amplitud a las planteadas. En este proceso en principio podría continuarse con el seguimiento de desplazamientos en los puntos monitoreados a lo largo de este estudio.

En el marco de esta solución, es necesario tener en cuenta que durante el periodo en el cual se adelantó el estudio, en el costado oriental del bosque existente, frente a la primera fila de eucaliptos, se estaba llevando a cabo la siembra de nuevos árboles (ver Fotografía 6), lo cual en primera instancia podría estar orientado al futuro reemplazo de los árboles existentes.

Dado el carácter gradual que requiere la implementación de las soluciones, se recomienda que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, continúe realizando el monitoreo continuo del colector Albina.



Fotografía 6. Siembra de nuevos árboles frente a los eucaliptos existentes

Cabe señalar que durante la inspección realizada al colector Albina, que discurre a lo largo de la carrera 12 Bis, se observó que a pesar de la antigüedad de la estructura, la sección transversal original conserva su regularidad, sin apreciarse la existencia de deformaciones puntuales en la sección, ni el desprendimiento generalizado de materiales (solo se aprecia este fenómeno en un tramo corto adyacente a la calle 27 sur, de acuerdo con el reporte de la inspección realizada por la EAAB el día 5 de septiembre de 2001), o su desgaste agudizado. No obstante, en la clave del colector se encuentra una grieta que persiste a todo lo largo del tramo evaluado, por lo cual es posible suponer que esta estructura haya sufrido desconfinamiento lateral continuado debido al reajuste paulatino del suelo ante el fenómeno de desecación, con lo cual se presentaron sollicitaciones de tracción que condujeron a la ocurrencia de la grieta.

Teniendo en cuenta las consideraciones previamente mencionadas en relación con el estado y funcionamiento del colector Albina, se descarta que la afectación principal de las viviendas se encuentre asociada a desplazamientos horizontales y/o verticales de dicha estructura, que a su vez pudieran generar asentamientos en la zona de las viviendas.

En relación con el uso del corredor vial de la carrera 12 Bis, se recomienda continuar con la restricción existente para la circulación del tránsito pesado, con el objeto de evitar la aplicación de cargas dinámicas sobre el colector y los depósitos de material alledaño, dado que éstas podrían conllevar al deterioro progresivo de la estructura.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Juárez Badillo E.- Rico Rodríguez A., Mecánica de suelos. Mexico, 1976. Tercera edición, editorial Limusa.
- Jiménez Salas J.A.– de Justo Alpañes J.L., Geotecnia y Cimientos. Madrid, 1975. Segunda edición, editorial Rueda.



Secretaría
GOBIERNO

ALCALDÍA MAYOR SANTA FE DE BOGOTÁ

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

**ESTUDIO GEOTÉCNICO, ESTRUCTURAL Y DISEÑO DETALLADO
DE LAS OBRAS CORRECTIVAS EN EL BARRIO COUNTRY SUR,
LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE, DE LA CIUDAD DE
BOGOTÁ D.C.**

**CONTRATO
CCS-366-01**

INFORME EJECUTIVO



CIVILES LTDA
INGENIEROS CONSULTORES

BOGOTÁ D.C. ABRIL DE 2002

1 GENERALIDADES

1.1 ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente estudio comprende la evaluación geotécnica y estructural del área que se desarrolla sobre la carrera 12 Bis, entre la calle 27 A Sur y la calle 31 Sur, junto al Parque Bosques de San Carlos, en el Barrio Country Sur localizado al sur de la ciudad de Bogotá D.C., haciendo parte del estudio la primera línea de casas localizada sobre la Carrera 12 Bis, en el tramo antes mencionado.

A partir de las evaluaciones realizadas se busca determinar las causas imputables a las patologías que han presentado en los últimos años las viviendas localizadas en el área de estudio, establecer el nivel de afectación y la condición de servicio actual de las viviendas y finalmente determinar las medidas de control requeridas para contrarrestar dichos fenómenos.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las patologías que se observaron en las casas en general se pueden describir como desplomes de los muros de cerramiento de antejardines y patios traseros y agrietamientos verticales y diagonales tanto en los muros de carga como en los tabiques de las casas y en los que conforman sus ampliaciones (anteriores y posteriores), dados los movimientos de estas estructuras, que se presentan fundamentalmente en sentido perpendicular a la carrera 12 Bis.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

1.3.1 Levantamiento topográfico

Se realizó una topografía general de la zona en estudio, llevando a cabo el levantamiento detallado de los vértices de cada manzana y de la localización de cada una de las casas ubicadas en la zona de estudio, al igual que los elementos que componen la sección transversal de la zona de estudio, incluyendo la localización general del bosque existente dentro del parque Bosques de San Carlos. Como resultado de los trabajos topográficos realizados, se conformó el "Mapa Barrio Country Sur" en escala 1:500.

1.3.2 Caracterización geotécnica de los materiales

Con el propósito de identificar los materiales existentes y su espesor, así como sus características geomecánicas, se llevó a cabo una campaña de exploración geotécnica adelantada en dos etapas, en las cuales en total se ejecutaron trece perforaciones manuales con profundidades 2.5 y 8.0 m. La localización de los puntos de exploración se indica en la [Figura 4.1](#).

Durante el proceso de perforación se recuperaron muestras inalteradas mediante el tubo de pared delgada y alteradas (almacenadas en bolsa), sobre las cuales en campo se determinó la resistencia a la penetración inalterada (RPI) y alterada (RPR) respectivamente, con el penetrómetro de bolsillo. Adicionalmente, con el objeto de evaluar las características de resistencia in situ, sobre los materiales que presentaron

consistencias dura y muy dura¹, se ejecutó el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), con muestreador de cuchara partida.

1.3.3 Evaluación de redes principales

A lo largo de la zona en estudio se encuentra localizado el colector Albina (que transporta aguas lluvias), cuya construcción, que data del año 1960 aproximadamente, fue adelantada empleando mampostería pegada con mortero de cemento Portland, en sección ovoide. En la actualidad, el colector conserva la sección inicial y con respecto a la rasante del pavimento de la vía, la clave se encuentra a profundidades que van desde 1.38 m en el costado sur hasta 2.00 m frente a la calle 28 Sur.

Dadas las dimensiones y características del colector se decidió solicitar a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la realización de una inspección con equipo de circuito cerrado de televisión, a lo largo del tramo que se desarrolla sobre la Carrera 12 Bis, con el objeto de establecer su estado actual y su interacción con las estructuras localizadas en la zona de interés. Esta inspección se realizó el día 30 de enero de 2002 y adicionalmente se contó con los registros de la inspección realizada en condiciones similares por la EAAB en el mes de septiembre de 2001.

1.3.4 Monitoreo de desplazamientos en las viviendas

Con el objeto de establecer las tasas de desplazamiento que presentan en la actualidad los muros de las viviendas en las que se manifiesta el mayor grado de afectación, correspondientes a las identificadas sobre la carrera 12 Bis con el número 28 A – 36 Sur (No. 12-36 sobre la Calle 29 sur) y 28 A – 24 Sur, se instalaron en éstas siete puntos de control de desplazamiento, ubicados en las grietas de mayor abertura, los cuales se monitorearon semanalmente en cuatro ocasiones y por último un mes después de finalizar las lecturas semanales.

1.3.5 Levantamiento de árboles del Parque Bosques de San Carlos

Como actividad complementaria al levantamiento topográfico inicial de la zona, se determinó la localización en planta de la totalidad de los árboles que conforman las cuatro filas adyacentes a la carrera 12 Bis, mediante referenciación con cinta métrica. Adicionalmente, con el fin de caracterizar los ejemplares, en campo se estableció el perímetro de cada árbol a la “altura del pecho” (con el cual se calculó su diámetro medio) y la altura aproximada de cada uno de éstos. La información obtenida a partir de las actividades descritas se consignó en el plano correspondiente al levantamiento topográfico detallado del área de estudio.

2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

De acuerdo con el Mapa Geológico de Santa Fe de Bogotá, incluido dentro de la Microzonificación Sísmica de Santa Fe Bogotá (1997), el sitio en estudio corresponde a los depósitos fluvio-lacustres (Qtb) pertenecientes a la Formación Sabana (Qs), caracterizada por la presencia de arcillas limosas blandas, las cuales, sin embargo, en el sitio se presentan sobreconsolidadas por desecación.

¹ Evaluadas de acuerdo con el criterio establecido en la norma I.N.V.E.-102: Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual).

Dada la cercanía de la zona en estudio a los cerros orientales de Bogotá, los cuales en el sector que circunda el área estudiada están conformados por materiales de las formaciones Bogotá y Regadera (caracterizadas por la presencia de areniscas, con intercalaciones de arcillolitas), dentro de los materiales finos del depósito fluvio-lacustre, no se descarta la presencia de materiales en diferentes proporciones y diversos tamaños, correspondientes a fragmentos y partículas procedentes de la meteorización y posterior erosión de las areniscas citadas.

3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

3.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Con el propósito de identificar los materiales existentes en el área estudiada y distribución, se llevó a cabo una campaña de exploración geotécnica, subdividiendo su ejecución en dos etapas. La primera tuvo como objeto realizar la identificación general de los materiales que componen el perfil típico del subsuelo en la zona estudiada y sus características geomecánicas fundamentales (ver localización en la Figura 4.1). En la segunda se planteó la realización de 10 perforaciones, concentradas entre las calle 28 sur y 29 sur, abarcando transversalmente la zona comprendida entre la fachada de las viviendas y la primera línea de árboles del parque Bosques de San Carlos.

A lo largo de toda la exploración del subsuelo se recuperaron muestras alteradas e inalteradas para ensayos en laboratorio y se adelantaron diversos ensayos in-situ tales como, resistencia a la penetración remoldeada (RPR) e inalterada (RPI) con el penetrómetro de bolsillo y el Ensayo de penetración estándar – SPT-. En laboratorio se practicaron ensayos de clasificación y resistencia; después de analizar los registros de exploración del subsuelo, así como los resultados de laboratorio, se definió el siguiente perfil promedio:

PROF. (m)	DESCRIPCIÓN	γ_t (t/m ³)	γ_d (t/m ³)
0.00 - 0.50	Limos orgánicos y rellenos arcillosos con material granular y escombros de construcción, o rellenos constituidos con material granular contaminado.		
0.50 – 4.10	Arcilla habana grisácea de consistencia firme a media, con manchas de oxidación, fisurada y presencia de raíces; de compresibilidad y plasticidad alta. LL: 50 – 70; LP: 21 – 27; Wn: 18 – 35 En las perforaciones 5, 6 y 7, se reportó la presencia de una arcilla gris verdosa, oxidada, fisurada, con presencia de raíces; compresibilidad baja y plasticidad media. Este material se registró a partir de profundidades comprendidas entre 0.70 y 2.00 m y hasta una profundidad de 3.70 m aproximadamente. LL: 44; LP: 19; Wn: 19 – 37	1.99	1.59
4.10 – 8.00	Arcilla gris rojiza, oxidada, fisurada, con presencia de raíces, de consistencia firme a dura; baja compresibilidad y plasticidad media. LL: 39 - 53; LP: 19-25; Wn: 15.4 - 29.3	2.05	1.69

Tabla 1. Perfil promedio del subsuelo

Con base en la información del perfil promedio del subsuelo y la carta de plasticidad obtenida a partir de las pruebas de límites de Atterberg, es posible concluir que a nivel general la arcilla gris habana corresponde, de acuerdo con el criterio de Casagrande, a un

suelo arcilloso de alta compresibilidad y plasticidad. El material subyacente, arcilla gris rojiza, de acuerdo con el mismo criterio, puede clasificarse como una arcilla de baja compresibilidad y plasticidad media y la arcilla gris verdosa presenta compresibilidad baja y plasticidad media.

3.2 EVALUACIÓN DE RESISTENCIA DEL SUELO

Para llevar a cabo el análisis de resistencia al corte no drenada C_u (a partir de los resultados de los ensayos de compresión inconfiada y Resistencia a la Penetración Inalterada) se agruparon los datos obtenidos en dos secciones. La sección No. 1 se encuentra ubicada aproximadamente a 8.00 m al norte de la calle 29 sur y a ésta se asocian las perforaciones No. 1, 6, 7, 8 y 10. Se consideró dicha sección para el presente análisis dado que es en esta zona donde se presentan las mayores afectaciones a las viviendas. En la sección 2 se asocian las perforaciones No. 4, 5 y 9. Aunque en la zona donde se ubica esta sección no se presentan daños considerables de las viviendas, se efectuó el análisis respectivo a fin de poder comparar cambios de resistencia con respecto a la sección 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en las dos secciones la resistencia al corte no drenada (C_u) disminuye con la profundidad. En el sentido transversal a la Carrera 12 Bis, se observó que la resistencia es mayor cerca de los árboles y menor en el lugar donde se encuentran las viviendas. En el sentido longitudinal a las viviendas (sentido SW-NE), se concluye que la resistencia al corte no drenada (C_u) es mayor en la zona de la sección 2, localizada en el costado norte del área de estudio y menor en la sección 1 ubicada en la parte central de la zona estudiada.

4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Las viviendas en estudio fueron construidas por el Instituto de Crédito Territorial INSCREDIAL hace aproximadamente 40 años. El sistema estructural de la mayor parte de las viviendas originales es en muros de mampostería no reforzada ni confinada, algunos en ladrillo tolete y otros en bloque hueco de arcilla, se desarrollan en dos pisos, su entepiso es en madera, el cielorraso en esterilla de guadua y pañete y la cubierta en teja ondulada de asbesto cemento.

Con el objeto de conocer en detalle la condición estructural de cada una de las viviendas localizadas en la zona de estudio, se realizó un levantamiento estructural mediante entrevista directa con los residentes e inspección visual. La información acopiada fue consignada en un formato de evaluación preestablecido en conjunto con el Ingeniero estructural y a partir de ésta se realizó una evaluación estadística de los daños presentes en cada una de las viviendas. Con base en esta información se procedió a establecer la cantidad de viviendas afectadas por cada nivel de daño y para cada uno de los ítem que se consideró representativo tanto para los elementos estructurales como los no estructurales de cada una de las edificaciones. De igual manera se llevó a cabo una categorización de cada una de las viviendas con base en la calificación cualitativa asignada a los daños observados tanto en los elementos estructurales como no estructurales, para finalmente clasificar cada una de las viviendas dentro de uno de los cinco rangos de daño establecidos, a partir de lo cual se elaboró el plano No. 2: "Zonificación de afectación por daños en las viviendas y planteamiento de tala y reemplazo de árboles".

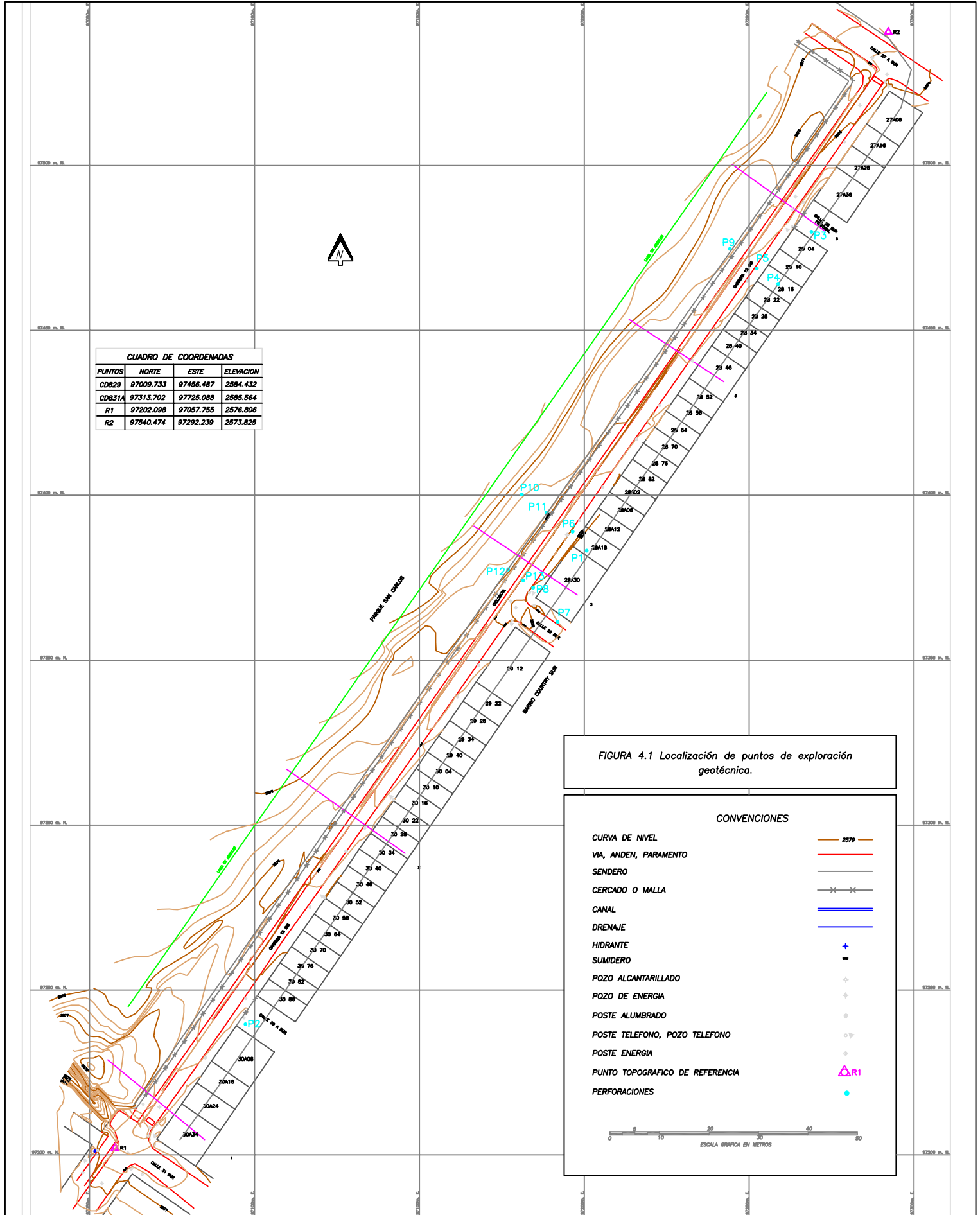
CUADRO DE COORDENADAS			
PUNTOS	NORTE	ESTE	ELEVACION
CD829	97009.733	97456.487	2584.432
CD831A	97313.702	97725.088	2585.564
R1	97202.098	97057.755	2576.806
R2	97540.474	97292.239	2573.825



FIGURA 4.1 Localización de puntos de exploración geotécnica.

CONVENCIONES

- CURVA DE NIVEL — 2570 —
- VIA, ANDEN, PARAMENTO — — —
- SENDERO — — —
- CERCADO O MALLA x x
- CANAL = = =
- DRENAJE — — —
- HIDRANTE +
- SUMIDERO ■
- POZO ALCANTARILLADO +
- POZO DE ENERGIA +
- POSTE ALUMBRADO +
- POSTE TELEFONO, POZO TELEFONO ○
- POSTE ENERGIA ○
- PUNTO TOPOGRAFICO DE REFERENCIA △ R1
- PERFORACIONES ●



Por último, se definió para cada una de las cuatro manzanas, el porcentaje del valor de daño que le corresponde con respecto a las demás. El trabajo así desarrollado, permitió definir cuatro zonas por afectación o daños, a las cuales se les asignó una zona específica de atención para tala de árboles. El orden de prioridad corresponde primero a la zona de mayores daños y la última a la de menor.

A partir de los análisis realizados se concluye que las manzanas 2 y 3 (la numeración inicia en el costado norte) corresponden a aquellas en las que mayor porcentaje de sus viviendas presentan daños tanto en sus elementos estructurales como no estructurales e instalaciones. Así mismo debe destacarse que en casi la totalidad de casas evaluadas se encontró como sistema estructural los muros de corte y portantes, lo cual resulta lógico si se tiene en cuenta la antigüedad de las mismas y la época en la cual se construyeron. Debe resaltarse el hecho de que las manzanas No. 2 y 3 son las que más porcentajes de viviendas afectadas en sus muros de corte y portantes presentan.

4.1 ESTADO ACTUAL Y COMPORTAMIENTO

Un alto porcentaje de las viviendas ha sido ampliado en planta y en altura hacia el frente de la fachada principal y también en la zona originalmente dispuesta como patio trasero, en donde actualmente pueden encontrarse estructuras hasta de dos y tres pisos, las cuales en su mayoría fueron adelantadas sin ningún tipo de diseño estructural y con procesos constructivos deficientes. Es importante resaltar que las viviendas que no han sido ampliadas, presentan un comportamiento adecuado bajo las cargas impuestas desde su construcción y las fisuras que se observan en buena parte se consideran propias de la falta de un adecuado mantenimiento. Por ejemplo, en el pañete del cielorraso se aprecian fisuras y desprendimientos probablemente generados por filtraciones de la cubierta.

Para las viviendas ampliadas, el entepiso de la segunda etapa se apoyó en el muro de mampostería de esta fachada. En la mayoría de las viviendas, tanto en el sitio de unión de la edificación inicial y la ampliación como en el sector de la ampliación, se presentan fisuras que se pueden considerar propias del sistema constructivo utilizado, ya que no fueron independizadas y la edificación inicial no era competente para asumir las nuevas cargas impuestas.

Adicional a los anteriores factores se suma la consolidación por desecación del terreno, producto de las épocas de baja precipitación, combinadas con la acción de los eucaliptos que se localizan en el parque adyacente, lo que agrava los asentamientos de las cimentaciones de las viviendas, ocasionando fisuras en los muros de mampostería, los cuales en razón de su fragilidad no se encuentran en capacidad de absorber estas solicitaciones.

Las viviendas localizadas en los números 28 A-24 Sur y 28 A-36 Sur, presentan en términos generales el comportamiento descrito anteriormente pero muy acentuado, para cada una de éstas a continuación se describe su estado actual y comportamiento:

Vivienda Carrera 12 Bis No. 28A - 24 Sur

Esta vivienda fue ampliada en planta y en altura hacia el frente de la fachada principal, se observan grietas tanto en la edificación inicial como en la ampliación, las cuales tienen un tamaño considerable. En la zona adyacente a la unión de la primera y segunda etapas de construcción, se observan en los muros grietas que además de su apreciable ancho, ya

han sufrido desplazamientos considerables en el sentido transversal de éstos. En la zona de la vivienda inicial, a diferencia de las demás edificaciones, en la dilatación del hall de alcobas se observa una grieta que también evidencia desplazamiento.

Vivienda Carrera 12 Bis No. 28A - 36 Sur (No. 12 - 36 sobre la calle 29 sur)

Esta vivienda fue ampliada en planta y en altura de la fachada del costado Occidental de la edificación inicial hacia la carrera 12 Bis. De acuerdo con la información de sus ocupantes el sector de la vivienda inicial no presenta problemas, sin embargo, en el sector de la ampliación se observan fisuras del mismo tipo que las que se presentan en la vivienda descrita anteriormente.

5 CONSIDERACIONES FORESTALES

El bosque localizado en el costado occidental del parque Bosques de San Carlos, se encuentra conformado por una plantación de árboles de la especie ***Eucaliptus globulus***, (y corresponde a un bosque maduro o sobremaduro coetáneo de más de 50 años de edad), el cual en razón de su conformación se considera fue plantado con el fin de ejercer un aprovechamiento forestal a futuro. No obstante este aprovechamiento no fue realizado.

A la fecha, los árboles existentes presentan alturas aproximadas entre 10 m y 26 m y diámetros que varían entre 0.20 m y 1.15 m, encontrándose los más robustos en el borde de la plantación que da a la carrera 12 Bis, ya que los del interior tienen un diámetro y altura menor debido a la competencia de sus vecinos.

El ciclo de una plantación de ***Eucaliptus globulus***, como la de este caso en estudio, se completa aproximadamente a los 17 años de plantado para un aprovechamiento total, teniendo en cuenta la realización de una entresaca de limatón a los 7 años y otra de vara de corredor a los 11 años.

Como aspecto general cabe mencionar que la realización de cortes o entresacas de árboles en mal estado o pequeños dentro de una plantación, hace que los árboles que permanecen cerca de los ya cortados crezcan en desigualdad ya que la competencia por los nutrientes y la luz es mínima. En la etapa posterior a la entresaca las succiones ejercidas por estos árboles para extraer agua del subsuelo se elevan dramáticamente, (lo cual está demostrado por el aumento de la biomasa), generando efectos de diversa intensidad en el suelo, de acuerdo con el tipo de material que conforma los depósitos térreos presentes y la especie arbórea plantada. En el caso de los *Eucaliptus globulus*, es reconocida la capacidad que tiene la especie para desecar el suelo.

La hipótesis de que el bosque esté afectando el sector cobra validez si se considera que éste ha venido perdiendo biomasa en diferentes sectores por corta y tala con el único propósito de retirar el material maderero que presenta peligro para la comunidad que disfruta de este espacio ambiental, presentándose crecimientos desmedidos en algunos ejemplares que al no tener competencia por el espacio y nutrientes crecen en volúmenes importantes y afectan la estructura del suelo por desecación, al aumentar las succiones ejercidas.

Por otra parte es importante indicar que el bosque ocupó primero el espacio y que, sin ningún estudio, la ciudad fue encerrándolo y restringiéndole su espacio de desarrollo. Esta condición exigía practicar un manejo silvícola adecuado que garantizara el desarrollo de la especie en condiciones controladas, que permitieran manejar los efectos de su interacción con el medio y la infraestructura que lo limita. Dado que este manejo no se puso en práctica el bosque se desarrolló de manera desordenada. Hoy una de las alternativas es la de reemplazar el bosque por uno nuevo de especies nativas, con manejo programático en el que se tengan en cuenta los ciclos de la especie, las intervenciones necesarias y la calidad de sitio para evitar futuros inconvenientes.

6 ANÁLISIS DE HIPÓTESIS Y DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE LAS PATOLOGÍAS

6.1 ANÁLISIS DE HIPÓTESIS PRELIMINARES

Con base en los elementos de juicio acopiados a partir del estudio geotécnico, se descartaron una serie de hipótesis planteadas inicialmente para explicar las patologías existentes en las viviendas del sector, relacionadas con la presencia de suelos expansivos o de materiales con altos contenidos de arena que pudieran ser afectados por fenómenos de erosión interna, así como la existencia de antiguos tocones o raíces de tamaño apreciable y depósitos de materiales de relleno no controlados.

Durante la inspección realizada al colector Albina, que discurre a lo largo de la carrera 12 Bis, se observó que a pesar de la antigüedad de la estructura, la sección transversal original conserva su regularidad, sin apreciarse la existencia de deformaciones puntuales en la sección, ni el desprendimiento generalizado de materiales (solo se aprecia este fenómeno en un tramo corto adyacente a la calle 27 sur, de acuerdo con el reporte de la inspección realizada por la EAAB el día 5 de septiembre de 2001). No obstante, en la clave del colector se encuentra una grieta que persiste a todo lo largo del tramo evaluado.

Los materiales que conforman la sección, a la fecha no presentan un desgaste agudizado, observándose pérdidas menores del mortero de pega, aunque dado que en la actualidad el colector se encuentra en servicio, no es posible inspeccionar en detalle el fondo del mismo.

Dadas las condiciones descritas, en primera instancia no se considera que existan desplazamientos verticales ni horizontales (originados por esfuerzos de compresión) de magnitud apreciable en las paredes del colector. No obstante, considerando la grieta que se registra en la clave, es posible suponer que esta estructura haya sufrido desconfinamiento lateral continuado, con lo cual se presentaron sollicitaciones de tracción que condujeron a la ocurrencia de la grieta.

Teniendo en cuenta las consideraciones previamente mencionadas en relación con el estado y funcionamiento del colector Albina, se descarta que la afectación principal de las viviendas se encuentre asociada a desplazamientos horizontales y/o verticales de dicha estructura, que a su vez pudieran generar asentamientos en la zona.

6.2 DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE LAS PATOLOGÍAS PRESENTADAS EN LAS VIVIENDAS

Teniendo en cuenta las consideraciones antes citadas y el análisis conjunto de la información registrada en campo en relación con la naturaleza de los materiales que componen el subsuelo, su condición geomecánica, la conformación geomorfológica inicial de la zona, los antecedentes del problema tratado, las características típicas de las viviendas localizadas en el área y la interacción de todos estos elementos con los factores del medio ambiente tales como precipitación, evapotranspiración y vegetación, se conformó un modelo conceptual que permite explicar la problemática del sector, asociada a la generación de las patologías que exhibe la infraestructura ubicada sobre la carrera 12 Bis.

A partir de la evaluación de resistencia mecánica de los materiales del sector y de su condición de humedad, se evidencia un desbalance hídrico entre la cantidad de agua requerida por los árboles más aquella que se pierde por evapotranspiración y la disponible en el subsuelo gracias a la precipitación de la zona. Dada la concentración y distribución de los árboles dicho desbalance se acentúa en el área más cercana a éstos y decrece en cercanías de las viviendas.

Como resultado de esta situación se generan fenómenos de consolidación por desecación, que en el mismo orden de ideas van incrementando su intensidad con la cercanía a los árboles de eucalipto. En el proceso de consolidación por desecación, se reduce el contenido de humedad del suelo progresivamente, presentándose presiones de poros negativas, con el consecuente aumento de los esfuerzos efectivos y por ende de resistencia y la disminución del volumen del suelo. Al ocurrir esta disminución, con los consecuentes asentamientos sufridos por el suelo arcilloso, se presenta su agrietamiento vertical y horizontal que conduce a la generación posterior de inestabilidad interna. El efecto puede ser multiplicador al provocar agrietamiento del subsuelo y facilitar la entrada posterior de agua hasta mayores profundidades.

Con los cambios continuados en el uso del suelo de la zona adyacente a la que se encuentra plantado el bosque, se ha venido reduciendo paulatinamente el área de infiltración directa y por ende la disponibilidad de agua en el suelo, por lo cual la actividad de los árboles se ve acrecentada, con alta probabilidad de concentrarse hacia la zona donde se presenta menos competencia por la no presencia de vegetación de gran porte, como lo es el área donde se localizan las casas y por la eventual mayor disponibilidad de agua proveniente de imperfecciones en las conexiones hidráulicas de los sistemas de abastecimiento y recolección de agua potable y servidas, generadas por el mismo proceso de reacomodamiento del suelo.

Dado el proceso de consolidación por desecación del subsuelo (que en últimas conlleva deformaciones sobre éste), los sistemas de cimentación se ven sometidos a diversas deformaciones, ocasionando fisuras en los muros de mampostería y en las juntas de las zonas de ampliación, los cuales en razón de su fragilidad no se encuentran en capacidad de absorber las sollicitaciones asociadas.

La magnitud de las afectaciones de las viviendas por lo tanto se relaciona con la intensidad de las succiones (de difícil cuantificación puntual dada la diversidad de factores asociados: distribución y porte de los árboles, área de infiltración y disponibilidad de agua no proveniente de precipitación, entre otros), el sistema estructural existente y la magnitud

y distribución de las cargas actuantes. Ésto puede observarse con base en el análisis de daños realizado en el cual se aprecia que las casas con entramado de tabiques en general presentan mayores afectaciones que aquellas conformadas con pórticos de concreto.

De disponerse de sistemas estructurales de mayor competencia los efectos ocasionados por la desecación sobre las estructuras se verían minimizados. Como referencia puede mencionarse que los edificios localizados sobre el costado occidental del parque Bosques de San Carlos conformados con pórticos de concreto, en la actualidad no presentan afectaciones apreciables, a pesar de encontrarse en la zona adyacente al bosque existente sobre este costado del parque, el cual podría estar ocasionando efectos similares sobre el subsuelo a los ya indicados para la carrera 12 Bis.

De otra parte, es necesario tener en cuenta que de no realizarse intervención alguna en el sector, el problema continuará acrecentándose ante la inexistencia de manejo silvícola del bosque, el cual permitirá el desarrollo continuo de los árboles bajo condiciones no controladas que continuarían incrementando el efecto de consolidación por desecación. De esta forma, en un futuro cercano podrían verse afectadas por deformaciones y agrietamientos un mayor número de viviendas, la infraestructura vial: ciclo-ruta y calzada vehicular de paso restringido, las redes de abastecimiento y evacuación de agua, así como otras redes de servicios.

Dadas estas condiciones y teniendo en cuenta la importancia ambiental que presenta el bosque, a nivel general pueden plantearse las siguientes alternativas de intervención, la primera relacionada con el aseguramiento de condiciones más cercanas al equilibrio hídrico del sector mediante el suministro controlado de agua a los árboles hasta el momento de su extinción, reduciendo así su acción sobre las zonas aledañas. La segunda se relaciona con la compra y demolición de las casas para evitar la afectación de estructuras por la acción de los árboles. Una tercera alternativa consiste en la construcción de una barrera rígida que limite el desarrollo de raíces más allá del parque. Por último podría considerarse el reemplazo paulatino del bosque por una especie con menores requerimientos de agua y que se adapte a las condiciones agrológicas actuales del terreno y a futuro garantice condiciones ambientales similares en el sector, sin perjudicar el entorno en el que se localizará.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del estudio geotécnico del área se establece que en ésta predominan los materiales arcillosos. En profundidad el perfil estratigráfico se encuentra distribuido aproximadamente de la siguiente forma: superficialmente, en un espesor medio de 0.50 m, se localizan limos orgánicos y rellenos arcillosos con material granular y escombros de construcción, o rellenos constituidos con material granular contaminado. A partir de 0.50 m y hasta 4.10 m se encuentra una arcilla habana grisácea de compresibilidad y plasticidad alta, la cual sobreyace un estrato de arcilla gris rojiza de baja compresibilidad y plasticidad media. Es necesario indicar que en las perforaciones 5, 6 y 7, se reportó la presencia de una arcilla gris verdosa de compresibilidad baja y plasticidad media a partir de profundidades comprendidas entre 0.70 y 2.00 m y hasta una profundidad de 3.70 m aproximadamente.

Con base en el análisis de la resistencia al corte no drenada, se estableció que ésta disminuye con la profundidad y es mayor cerca de los árboles y menor en el lugar donde se encuentran las viviendas. Considerando los datos obtenidos en las dos secciones donde se concentró la exploración se concluye que la resistencia al corte no drenada es mayor en el costado norte del área de estudio y menor en la ubicada en la parte central de la zona estudiada.

A partir de la evaluación estructural de las viviendas localizadas dentro de la zona de estudio, se realizó una sectorización con base en la intensidad de los daños exhibidos, a partir de la cual se estableció que la mayor concentración de daños se presenta en el costado sur de la manzana 2 (comprendida entre las calles 28 Sur y 29 Sur) y en las dos primeras casas de la manzana 3, ubicada entre las calles 29 Sur y 30A Sur, con excepción de algunas casas que no exhiben daños significativos, pero que han sido incorporadas por su cercanía con las más afectadas.

Como aspecto importante cabe resaltar que las viviendas en las que no se han realizado ampliaciones en general presentan grados de afectación menores que aquellas que fueron modificadas.

Con base en la inspección visual preliminar realizada sobre las viviendas y la información acopiada a partir del levantamiento estructural, se estableció que las viviendas más afectadas corresponden a las identificadas con los números 28A – 24 Sur y 28A – 36 Sur (No. 12-36 sobre la calle 29 sur), por lo cual se decidió instalar en éstas siete puntos de control de desplazamiento, ubicados en las grietas de mayor abertura.

Con respecto a la casa No. 28A-36 Sur (esquinera), de los tres sitios monitoreados tan solo el A (localizado en el corredor del segundo piso junto a la escalera del garaje principal, en junta de la zona de ampliación), ha presentado movimientos relativos importantes entre los puntos de control. Para este sitio se ha encontrado que el bloque derecho (zona de ampliación) con respecto al izquierdo (muro del bloque original), ha bajado y se ha alejado. El movimiento relativo máximo registrado entre los dos bloques es de 3.2 mm en cuarenta y cuatro (44) días (febrero 7 a marzo 23 de 2002).

Para la casa No. 28A-24 Sur, los cuatro sitios monitoreados han sufrido movimientos relativos; sin embargo, el sitio B (localizado frente a la llegada de la escalera en el segundo piso, en la junta de la casa original y la ampliación) es el de mayor movimiento. En éste, el bloque derecho (zona de ampliación) se ha alejado del izquierdo una distancia máxima de 3.85 mm en cuarenta y cuatro (44) días (febrero 7 a marzo 23 de 2002).

Desde el punto de vista de la condición de las viviendas, es importante tener en cuenta que éstas tienen un sistema estructural que a la luz de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, es deficiente ante la presencia de eventos sísmicos, por tratarse de mampostería no reforzada ni confinada. Asimismo estas viviendas han presentado un comportamiento adecuado ante las solicitaciones de cargas verticales, pero ante la presencia de eventos sísmicos correspondientes al espectro de diseño de la zona, en razón de su sistema estructural carecen de elementos estructurales con capacidad para responder ante los requerimientos de esfuerzos y deformaciones que le impone el sismo de diseño establecido por la NSR-98.

En razón de lo anterior y de que el alcance del presente estudio tiene como objeto llevar a cabo la evaluación estructural de los problemas que se han presentado en las viviendas localizadas sobre la carrera 12 Bis, se recomienda efectuar un estudio de vulnerabilidad estructural y actualización de comportamiento sísmico a las viviendas, de acuerdo con la reglamentación vigente.

Con base en la información recopilada a lo largo del estudio se realizó el análisis conducente a integrar un modelo conceptual que permitiera establecer las causas de las patologías presentadas en las viviendas localizadas sobre la Carrera 12 Bis. A partir de dicho análisis puede concluirse que el sector ha venido siendo afectado por un fenómeno de consolidación por desecación, el cual se ve potenciado por la presencia de los árboles de eucalipto localizados junto a la Carrera 12 Bis, dentro del parque Bosques de San Carlos, dadas las succiones que éstos ejercen sobre el subsuelo para la extracción de agua. Este fenómeno genera deformaciones en el suelo que afectan la cimentación de las viviendas, ocasionando fisuras en los muros de mampostería y en las juntas de las ampliaciones realizadas a las edificaciones, las cuales en razón de su fragilidad no se encuentran en capacidad de absorber las sollicitaciones asociadas.

En vista de lo anterior, puede apreciarse que el bosque del parque Bosques de San Carlos juega un papel fundamental dentro de la problemática del sector. A partir del levantamiento de árboles realizado se determinó que sus diámetros varían entre 0.20 m y 1.15 m, mientras las alturas fluctúan entre 10 m y 26 m aproximadamente, con lo cual puede comprobarse que se trata de árboles de gran porte. En cuanto a su distribución en planta, vale decir que a partir del levantamiento puede constatarse que los de mayor diámetro se localizan en el borde de la plantación que da a la carrera 12 Bis debido a la menor competencia por nutrientes que éstos tienen en relación con sus vecinos.

A partir de la conformación de la plantación forestal descrita, se considera que el bosque se plantó con el fin de ejercer sobre él un aprovechamiento forestal a futuro, con el propósito de generar recursos madereros en un tiempo determinado y ésto implica un aprovechamiento del bosque en un tiempo determinado. En este caso la plantación no fue aprovechada, ni se le dio manejo alguno, presentándose en la actualidad todos los problemas seniles de las plantaciones como son: caídas prematuras de árboles, crecimiento desmedido de solo algunos y por último madera de mala calidad que en muy pocos casos puede ser aprovechable. No obstante, dado el uso presente del suelo, el bosque actualmente tiene gran importancia ambiental para la comunidad del sector, como fuente de recreación visual y elemento depurador del aire.

El planteamiento relacionado con el hecho que el bosque esté afectando el sector cobra validez si se considera que éste ha venido perdiendo biomasa en diferentes sectores por corta y tala con el único propósito de retirar el material maderero que presenta peligro para la comunidad que disfruta de este espacio ambiental, presentándose crecimientos desmedidos en algunos ejemplares que al no tener competencia por el espacio y nutrientes crecen en volúmenes importantes y afectan la estructura del suelo por desecación, al aumentar las succiones ejercidas.

Si bien se han identificado en las viviendas problemas asociados a las condiciones estructurales deficientes que éstas presentan, las cuales en algunos casos a la luz del problema identificado se acentúan por la existencia de ampliaciones, partiendo de la base de mantener las condiciones estructurales actuales de las viviendas, puede considerarse que el problema estudiado se relaciona con un desequilibrio hídrico del sector, dado que a

partir del fenómeno identificado de consolidación por desecación, se aprecia que los árboles ejercen fuerte succión sobre el subsuelo para la obtención de agua en periodos donde su disponibilidad se reduce, extendiendo su acción hasta la zona donde se localizan las viviendas.

Dadas estas condiciones y teniendo en cuenta la importancia ambiental que presenta el bosque, a nivel general se plantearon las siguientes alternativas de intervención, la primera relacionada con el aseguramiento de condiciones más cercanas al equilibrio hídrico del sector mediante el suministro controlado de agua a los árboles hasta el momento de su extinción, reduciendo así su acción sobre las zonas aledañas. La segunda se relaciona con la compra y demolición de las casas para evitar la afectación de estructuras por la acción de los árboles. Una tercera alternativa consiste en la construcción de una barrera rígida que limite el desarrollo de raíces más allá del parque. Por último podría considerarse el reemplazo paulatino del bosque por una especie con menores requerimientos de agua y que se adapte a las condiciones agrológicas actuales del terreno y a futuro garantice condiciones ambientales similares en el sector, sin perjudicar el entorno en el que se localizará.

Con el objeto de evitar que este fenómeno de desecación continúe afectando las viviendas del sector en el futuro, así como los diferentes elementos de infraestructura, se recomienda acometer el reemplazo del bosque de eucaliptos.

Se considera que de las diferentes soluciones propuestas la más conveniente es la realización de tal reemplazo, dado que la plantación existente de eucaliptos se encuentra en etapa senil, por lo cual en el futuro se incrementarán los problemas ya mencionados de una plantación de tales características, tal como se empieza a evidenciar en la actualidad. De esta forma, al iniciar el cambio de la plantación se evitarán situaciones riesgosas para la comunidad y se posibilitará la implementación de la solución a las afectaciones que se vienen presentando en las viviendas de la zona estudiada.

7.1 RECOMENDACIONES

De acuerdo con las condiciones establecidas a partir de la evaluación estructural realizada, para la vivienda localizada sobre la carrera 12 Bis en el número 28A-24 Sur, se recomienda la evacuación de sus residentes y la demolición de la estructura, dado que presenta un alto grado de grietas de magnitud considerable que han generado discontinuidad en los muros de mampostería y pérdida de estabilidad y capacidad de carga de los mismos, asimismo el avance de este proceso de deterioro en la estructura puede conllevar a su colapso, poniendo en peligro la integridad de sus ocupantes y de las edificaciones vecinas. Dado el grado de deterioro que presenta esta vivienda tanto en la construcción inicial como en la ampliación, no se considera apta para una intervención estructural conducente a su reparación para llevarla al nivel de exigencia de la NSR-98.

En cuanto a la vivienda identificada con el número 28A-36 Sur sobre la carrera 12 Bis (No 12-36 sobre la calle 29 Sur), en razón de que las grietas relevantes se presentan en el sector de la ampliación, una vez se establezca el comportamiento de su suelo de fundación, este sector es factible de intervenir estructuralmente para corregir sus deficiencias actuales y llevar la estructura al estado en que se encontraba antes de presentarse el fenómeno de desecación del suelo. Es importante tener en cuenta que una intervención estructural cumpliendo a cabalidad con la NSR-98 no sería sensato ni práctico ejecutarla, en razón de las características del sistema estructural que adolece de

elementos con capacidad para responder ante los requerimientos de esfuerzos y deformaciones que le impone el sismo de diseño. Cabe anotar que la edificación inicial no se intervendría dado que el fenómeno de consolidación por desecación no la afectó.

A partir de las consideraciones expuestas para la definición del origen de las patologías y la revisión de las alternativas de intervención planteadas, con el objeto de evitar que este fenómeno de desecación continúe afectando las viviendas del sector en el futuro, así como los diferentes elementos de infraestructura, se recomienda acometer el reemplazo del bosque de eucaliptos.

Dado el alto valor ambiental y ecológico que tiene actualmente el bosque, el cual debe ser considerado al acometer cualquier tipo de acción, se propone la tala y reemplazo gradual de los árboles. Con el objeto de definir el área de tala y reemplazo y el número de etapas requerido para esta actividad, se realizó una sectorización del área estudiada tomando como criterio el grado de afectación actual que presentan las viviendas, identificado a partir de la evaluación estructural realizada. Como resultado de este análisis se establecieron cuatro zonas, priorizando su intervención en orden descendente de magnitud de daños reportados, tal como se indica en el plano 2: Zonificación de afectación por daños en las viviendas y planteamiento de tala y reemplazo de árboles, anexo al presente informe; se estima que el reemplazo del bosque podría realizarse en un periodo de 4 años.

El reemplazo debe ser ejecutado por la entidad distrital a cargo del parque, empleando especies nativas de buena adaptación a las condiciones agrológicas actuales del terreno, menores requerimientos de agua con el objeto de minimizar los efectos que su succión sobre el suelo y que en el futuro garantice condiciones ambientales similares en el sector, sin perjudicar el entorno en el que se localizará. Se recomienda que se realicen los estudios de laboratorio que determinen las propiedades físico-químicas del suelo con el propósito de que las especies nuevas se adapten al sitio con los menores inconvenientes de manejo y enfermedades.

Es recomendable que una vez se adelante la tala de la primera zona (a la cual se asocia la mayor densidad de daños) se evalúe la evolución de los fenómenos en ésta, lo cual serviría de guía inicial para adelantar una evaluación conducente a establecer si se requiere talar y reemplazar en adelante zonas de mayor o menor amplitud a las planteadas. En este proceso en principio podría continuarse con el seguimiento de desplazamientos en los puntos monitoreados a lo largo de este estudio.

Dado el carácter gradual que requiere la implementación de las soluciones, se recomienda que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, continúe realizando el monitoreo continuo del colector Albina. Adicionalmente, se recomienda continuar con la restricción existente para la circulación del tránsito pesado sobre la carrera 12 Bis, con el objeto de evitar la aplicación de cargas dinámicas sobre el colector y los depósitos de material aledaño, dado que éstas podrían conllevar al deterioro progresivo de la estructura.