# INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los Términos de Referencia el objeto de la consultoría realizada y cuyos resultados se presentan en este informe es el "Estudio de Zonificación de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados de Medidas de Prevención y Mitigación para el Barrio Caracolí, Localidad de Ciudad Bolívar".

El alcance del estudio, precisado en la visita de obra, previa a la contratación, y en el acta Nº4 de Marzo 22 de 2000, consistió en: Identificación de procesos de remoción en masa; establecer los principales agentes detonantes y contribuyentes en los fenómenos de inestabilidad de la zona; evaluación y zonificación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo en forma aproximada en la base topográfica y predial disponible, detallando las zonas críticas; elaborar los diseños detallados, presupuestos y especificaciones técnicas de construcción de la alternativa de mitigación que resulte más favorable para cada sitio.

Teniendo en cuenta la información topográfica y predial existente (planchas 1:2.000 del IGAC, año 1979 y plano de loteo del barrio, sin fecha) utilizada para el estudio, todos los productos, exceptuando los planos de diseño elaborados con topografía actualizada, se presentan sobre base topográfica y predial antigua. Por lo anterior, el uso de los mapas de zonificación por amenaza, vulnerabilidad y riesgo tienen limitaciones impuestos por la anacrónica cartográfica.

Teniendo en cuenta estas circunstancias, en general se cumplió con el propósito del estudio de llegar a una zonificación de riesgos por movimientos en masa en el Barrio Caracolí y diseñar las medidas de mitigación de estos riesgos para las áreas críticas.

Para llegar a las magnitudes de riesgos, primero en las zonas de topografía actualizada, se evaluaron las amenazas por inestabilidad de taludes bajo la ocurrencia de dos condiciones extremas de saturación (insaturado y saturado), y bajo condiciones de sismo. Con estos resultados, en combinación con un estudio de susceptibilidad de los diferentes materiales geológicos y antrópicos del área, se obtuvieron las amenazas en términos probabilisticos. Estas amenazas, multiplicadas por la vulnerabilidad de las edificaciones (tanto desde un punto de vista sectorial, como individual) – obtenida con base en encuestas – desembocaron en los riesgos; y, a su vez, éstos afectados por los costos sectoriales de las edificaciones resultan en los así denominados "costos esperados".

En términos generales, el Barrio Caracolí no presenta problemas graves de amenazas, pero sí existen algunos casos de amenazas puntuales hacia los valles estrechos de ladera, en los taludes de las antiguas cárcavas, y en los rellenos y cortes hechos para la construcción de las viviendas, aproximadamente en un 10%

del área estudiada. La vulnerabilidad de las edificaciones se evaluó teniendo en cuenta su resistencia y exposición frente a un fenómeno amenazante. La mayor parte del barrio tiene vulnerabilidad media, caracterizada principalmente por la presencia de construcciones de tipo tugurio, los cuales tienen una resistencia muy baja, pero con ubicación espacial favorable por estar construidos en lomos, donde la estabilidad del terreno es en general buena. De aquí, el riesgo, determinado como producto de la amenaza por vulnerabilidad, resultó ser bajo para la mayor parte del barrio.

La zonificación realizada permitió establecer las áreas criticas, para las que se realizó el diseño detallado de obras de mitigación o se recomendó el cambio de uso del suelo con reubicación de las viviendas.

Si se tiene en cuenta la inclinación del terreno, es evidente que en la construcción de las plataformas para las viviendas se requiere hacer excavaciones, las cuales no siempre se hacen correctamente, notándose que allí donde el terreno es débil o donde los rellenos son significativos, los taludes verticales constituyen peligros puntuales de inestabilidad. El estudio realizado no alcanzó el nivel de detalle individual de cada casa sino sectorial, razón por la cual, las casas particulares no se tuvieron en cuenta a excepción de unos pocos sitios donde se evidenciaba inestabilidad local en las zonas críticas.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

El estudio tiene por objeto evaluar y zonificar el riesgo por remoción en masa del territorio delimitado por el Barrio Caracolí, desarrollar las labores de exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad para definir las alternativas de mitigación y diseñar las obras más apropiadas con su presupuesto y las especificaciones técnicas de construcción.

Para el cumplimiento del objetivo trazado se desarrollaron las siguientes actividades:

- Elaboración del plano topográfico para cada uno de los sitios críticos que justificaban el diseño de las obras de mitigación.

- Obtención de la información básica necesaria para el cumplimiento del objetivo en lo relativo a la geología, geomorfología, hidrología, cobertura del suelo y geotecnia, efectuando el procesamiento de los datos y la elaboración de los planos requeridos con base en el plano topográfico del área a escala 1:1000, suministrado por DPAE.

- Preparación del inventario de procesos de remoción en masa, determinando los principales agentes detonantes para los fenómenos de inestabilidad.

- Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio, evaluación de la estabilidad de los taludes.

- Evaluación y zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo, junto con la elaboración de los mapas correspondientes.

- Evaluación de las medidas de mitigación en las zonas de riesgo con el fin de disminuir el peligro que se presenta para los habitantes, siendo necesaria la recomendación de evacuar viviendas en algunos sitios.

- En los sitios de riesgo, donde se justifique el diseño de obras para mitigar el peligro, se elaborarán los diseños, se efectuaron estimativos para determinar el presupuesto, y se prepararon las especificaciones técnicas de construcción.

## 1.2 DELIMITACION GEOGRAFICA

El barrio Caracolí ocupa una superficie aproximada de 24 hectáreas, se encuentra en el extremo sur de Ciudad Bolívar, y colinda con el Municipio de Soacha. Este barrio está localizado aproximadamente entre las carreras 45 a 48 y entre las calles 80 a 90 sur. En las planchas del IGAC L-23 y L-24, de escala 1:2000, el área de estudio se ubica entre las coordenadas N:97250 – 97650 / E:90000 – 89100, y entre las cotas 2640 a 2800.

En la figura 1.1 puede apreciarse la ubicación del área de estudio, la cual se encuentra densamente poblada, con aproximadamente 5179 habitantes pertenecientes al estrato 1. El barrio se ubica topográficamente en una ladera de pendiente fuerte, con viviendas de carácter subnormal, donde la dotación de servicios públicos es baja. Existen redes de electricidad, pero no cuentan con redes de acueducto y alcantarillado aprobadas, pues estas están constituidas por mangueras para el primero y tuberías provisionales construidas por la comunidad para el segundo.

| | | | |
|---|---|---|---|
| INGEMETRICA LTDA. Ingenieros Consultores | Figura 1.1 | Dirección de Prevención y atención de Emergencias | Localización general |
| | Contrato CCS-616/99 | | **Escala** 1:25000 |

## 1.3 METODOLOGIA DE ANALISIS Y DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

La ejecución de los trabajos se realizó mediante la exploración directa del terreno, apoyados por medio de la información escrita y cartográfica existente y disponible, conformada por planchas del IGAC e INGEOMINAS, fotografías áreas, registros pluviométricos y documento de concepto técnico N3260 sobre el área, elaborado por DPAE.

En general, la metodología aplicada se encaminó hacia la zonificación del área del barrio en cuanto a los aspectos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, con el fin de delimitar las áreas que ofrecen mayor peligro para la población y para plantear las medidas de mitigación más apropiadas.

Se emplearon diversas metodologías de análisis, porque fue necesario utilizar desde los conceptos subjetivos de expertos, hasta métodos matemáticos de la mecánica teórica y pasando por métodos empíricos, para tratar de explicar racionalmente los fenómenos que se presentan en el área.

El modelo considerado se basó en la suposición de la existencia inicial de un terreno que había sido conformado por diferentes eventos naturales que lo moldearon, el cual, aunque esta sujeto a unos procesos geodinámicos que lo continuaban transformando, sufrió una alteración sustancial y muy rápida debido a la acción antrópica generada por el proceso de una acelerada urbanización desordenada y antitécnica.

El principal factor desestabilizante del lugar fue la actividad humana de una población de bajos recursos, que buscaba adaptar un área para su vivienda, sin contar con el apoyo técnico apropiado para que pudiera vivir en armonía con el medio natural.

En la febril actividad de urbanización se hicieron excavaciones, se conformaron, rellenos y se trataron de manejar las aguas residuales, pero la demanda supero ampliamente la posibilidad técnica, desbordándose así la actividad humana en detrimento de la estabilidad del terreno.

En este orden de ideas, las primeras actividades se dirigieron hacia la realización de encuestas de habitantes sobre el tema de la inestabilidad para conocer las áreas problemáticas y donde debían concentrarse las investigaciones, descartando de paso aquellas zonas que no tuvieran afectación, para luego hacer su comprobación por especialistas.

De acuerdo con lo anterior los estudios se efectuaron, en las zonas más sensibles, con un mayor detalle, realizando exploración geotécnica y ensayos, postulación y evaluación de las medidas de mitigación y sus diseños detallados. Las demás zonas fueron objeto de una clasificación y categorización por medio de investigaciones superficiales con carácter de observación visual.

El plano topográfico del barrio fue elaborado por la comunidad para realizar las gestiones tendientes a su legalización y corresponde a una versión deficientemente digitalizada del plano del IGAC a escala 1:2000 del año 1979, cuando no existía ningún desarrollo urbano en el área sobre la que superpuso un loteo que no corresponde a la disposición real de las viviendas. Ese plano se utilizó como base para el estudio, pero en los sitios que ameritaban un mayor detalle para efectos del diseño de las obras, se efectuó el levantamiento topográfico correspondiente.

Con el fin de conocer las condiciones del medio geosférico donde se ubica la zona estudiada, como actividad inicial se realizó el levantamiento geológico, localizando en el plano del barrio las diferentes unidades que se presentan junto con su estructuras y detallando las características de los materiales. Para tal efecto, se hizo una evaluación de la geología regional, y luego se pasó a caracterizar con más precisión la geología local mediante la exploración directa en el terreno.

Los aspectos relativos a la Geomorfología se realizaron paralelamente con la Geología, siguiendo el mismo procedimiento que concluyó con el mapa geomorfológico de toda el área de estudio.

Con la información geológica y geomorfológica, y explorando visualmente el terreno, fue posible zonificar el área de acuerdo con los procesos geodinámicos que están actuando, y se elaboró el mapa correspondiente el cual sirvió de base para los subsiguientes trabajos de zonificación por amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

La amenaza se evaluó considerando la categorización de cada uno de los procesos de remoción en masa tanto actuantes, como aquellos que previsiblemente pueden ocurrir, incluyendo el grado de susceptibilidad de los terrenos a dichos procesos y la posibilidad de su ocurrencia. En este análisis se consideraron también las incidencias de la sismicidad del área, de acuerdo al estudio de microzonificación de Bogotá.

Según lo ya mencionado, el estudio de la vulnerabilidad se inició desde el mismo comienzo de los trabajos y tuvo como base las encuestas en todas y cada una de las viviendas que componen el barrio. Esta información se procesó y se elaboró el mapa de vulnerabilidad, empleando un método semicuantitativo de evaluación por medio de susceptibilidad de los elementos estructurales, corporales y funcionales.

El riesgo es el producto de la amenaza por vulnerabilidad. A partir de los resultados de ese producto se elaboró el mapa de riesgo y a su vez, este mapa sirvió de base para la evaluación de las medidas de mitigación.

Es evidente que el proceso de degradación del terreno se acelerará si no se emprenden las medidas de mitigación. Por tal motivo, en este informe fue necesario plantear diferentes medidas de mitigación acordes con las circunstancias de cada caso, las cuales incluyen recomendaciones dirigidas a la planeación municipal y las empresas de servicios públicos, y sobre la reubicación de viviendas y la construcción de obras.

Para estas ultimas se hizo una evaluación técnico-económica, buscando la alternativa óptima, o sea la que técnicamente fuese apropiada y que tuviese el mínimo costo.

Se elaboraron los diseños de las obras junto con su presupuesto y las especificaciones técnicas de construcción.

## 1.4 ORGANIZACION DEL INFORME

Independientemente de que el informe se haya entregado por partes, el producto final se compone de 3 volúmenes, los cuales contienen:

Volumen 1: Informe principal. Contiene todos los resultados de los estudios.
Volumen 2: Anexos. Contiene todos los documentos, formatos, cálculos, fotos que sustentan los resultados obtenidos.
Volumen 3: Anexos. Planos. Contiene todos los planos preparados.

# 2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION BASICA

## 2.1 TOPOGRAFIA

Dado que la actualización de la topografía total del barrio no estaba contemplada dentro de los alcances (ni dentro del presupuesto) del estudio; para el desarrollo del mismo se utilizó el plano topográfico suministrado por DPAE a escala 1:1000, con curvas de nivel cada 2 metros.

Una vez revisada la topografía plasmada en el plano entregado por el DPAE, en lo referente a las curvas de nivel, se encontró que esta topografía corresponde a la restituida por el IGAG a escala 1:2000 en el año de 1979 y presentada en las planchas L-23 y L-24. Por lo tanto, el plano topográfico suministrado por el DPAE está desactualizado y presenta inconsistencias al reflejar accidentes topográficos que han sido modificados en los últimos años por la acción del hombre.

Desde el punto de vista planimétrico, el plano presenta la distribución de lotes, manzanas y calles proyectadas inicialmente, pero no ilustra el área realmente construida ni la distribución actual de los lotes, observada durante las inspecciones de campo efectuadas para este trabajo.

La actividad del hombre ha modificado el relieve especialmente por ejecución de cortes de taludes y rellenos para levantar las construcciones, zonas comunales, vías de acceso, etc. La mayor intervención en dicha modificación la han tenido los drenajes naturales.

Debido a la desactualización del plano topográfico suministrado por el DPAE este no puede ser utilizado para la zonificación del área por amenaza, vulnerabilidad y riesgo por si solo, sin tener un ajuste a las condiciones reales.

Para tal fin se ha realizado el levantamiento topográfico detallado de 11 sitios y semidetallado de 5 cárcavas con posibilidad de desarrollo de fenómenos de remoción en masa, que corresponde a drenajes naturales de aguas lluvias y ubicado en diferentes partes del barrio Caracolí, tal como se muestra en la figura 2.1 adjunta.

El levantamiento topográfico se realizó con estación total y se hizo el amarre a la placa del IGAC CD-614A (N:98094.307; E:90566.429; cota:2612.518), la cual está referenciada a la Iglesia de Monserrate mediante el azimut 76º 07´ 13.651” y distancia de 12226.71 m, tal como se indica en el certificado anexo.

En área limítrofe al terreno se materializaron los puntos M-17; Delta GPS 035; V-8; R-3 (tanque del acueducto) a los que se les dio coordenadas y de donde se partió para los levantamientos topográficos realizados. En la Figura 2.2 se presenta la ubicación de estos puntos y sus coordenadas se pueden ver en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Coordenadas de puntos topográficos base

| PUNTO | NORTE | ESTE | COTA |
|---|---|---|---|
| M-17 | 97901.290 | 89465.703 | 2769.920 |
| GPS 035 | 97777.965 | 89323.001 | 2797.015 |
| R-3 | 97657.648 | 89728.597 | 2789.697 |
| V-8 | 97246.381 | 89299.588 | 2664.188 |

El plano topográfico se presenta en el anexo junto con las carteras de tránsito y servirá de base para el diseño de obras.

Además, la DPAE entregó el ortofotomapa del área, suministrado por la EAAB, en escala 1: 1000 con curvas de nivel de cada 5 m, elaborado con base en fotografías aéreas de Marzo de 1999. La DPAE, el consultor y la Interventoría estuvieron de acuerdo en que la altimetría presentada en el plano no muestra con fidelidad los detalles topográficos de los cortes efectuados para la construcción de vías y viviendas, los escarpes, las cárcavas y las zonas de relleno. Todos estos detalles son necesarios para las evaluaciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. El ortofotomapa, aunque presenta la distribución actual de predios tampoco cubre la totalidad del área de estudio. Este mapa solo tiene utilidad como medio visual para observar la distribución de viviendas, pero técnicamente su uso para el estudio es nulo.

## 2.2 GEOLOGÍA

### 2.2.1 Objetivo y Alcance

El objetivo del estudio geológico está orientado a la identificación de los diferentes factores litológicos y estructurales que controlan la estabilidad de las laderas del sector, el cual constituye la base para la zonificación por fenómenos de remoción en masa del Barrio Caracolí.

El alcance del trabajo comprendió el levantamiento litoestratigráfico - estructural del área y la descripción de las unidades geológicas, y la elaboración del mapa geológico a escala 1:1000 con sus respectivos perfiles geológicos.

### 2.2.2 Metodología del Trabajo

Con el propósito de comprender el modelo geológico en el cual se encuentra enmarcado el sector del Barrio Caracolí, se consultó y analizó la información correspondiente, entre la que se destaca la Geología para la Zonificación por Procesos de Remoción en Masa de Diferentes Localidades de Santafé de Bogotá, realizada en el año de 1998 por la empresa consultora INGEOCIM LTDA para la UPES – FOPAE. Se interpretaron las fotografías aéreas 2950 – 2952 del vuelo R1181 de 1990 a escala 1:5000, y 267, 268, 212 y 213 del vuelo SAV-453 del 6 de Julio de 1998 que cubren el área de esta parte de la ciudad de Santafé de Bogotá D.C.

Una vez consultada y analizada la información mencionada anteriormente, se prosiguió a efectuar un control de campo, con el objeto de hacer el reconocimiento de las unidades litológicas y de las estructuras geológicas que afloran e inciden en la estabilidad de las laderas al occidente de la Localidad de Ciudad Bolívar, donde se ubica el Barrio Caracolí. Como resultado de esta etapa de trabajo se obtuvo un foto-mapa geológico a escala 1:5000 (ver figura 2.3), que corresponde básicamente a la microcuenca del zanjón La Muralla, cuyo curso sirve de límite del barrio Caracolí en su parte baja. Este mapa consiste en la actualización de la geología a escala 1:10.000 nombrada en el párrafo anterior, en lo que respecta al complemento de los datos estructurales y al ajuste de los contactos de las diferentes unidades geológicas.

### 2.2.3 Geología Regional

La síntesis del entorno geológico regional en el que se localiza el Barrio Caracolí de la Localidad de Ciudad Bolívar es la siguiente: Las rocas que afloran en el área de estudio corresponden al Grupo Guadalupe del Cretáceo Superior. Este grupo comprende de base a techo las formaciones: Arenisca Dura (Ksgd), Nivel Plaeners (Ksgp), Arenisca de labor (Ksgl) y Arenisca Tierna (Ksgt). Discordantemente sobre las rocas cretáceas aparecen importantes depósitos cuaternarios que cubren gran parte de la ladera donde se ubica el barrio.

**Formación Arenisca Dura (Ksgd)**

Esta formación aflora en las márgenes de un cauce afluente (izquierdo) del Zanjón La Muralla que desemboca en este último unos 20 metros aguas arriba de la Laguna de Terreros (ver figura 2.3). La formación está compuesta por una gruesa sucesión de areniscas en bancos muy gruesos con delgadas intercalaciones de limolitas, lodolitas, porcelanitas (chert) y arcillolitas de colores claros y en capas finas. Las areniscas están compuestas por ortocuarcitas de grano muy fino. El espesor de los bancos de areniscas fluctúa entre 2 y 15 metros.

El contacto de la Arenisca Dura con la formación suprayacente (Formación Plaeners) que se observa claramente en el sector de Terreros, es normal. La tectónica del área y los agentes meteorizantes la han hecho menos resistente, y por esta razón en el sector del foto-mapa sus características son similares a las de la Arenisca de Labor (ver foto 1), aunque las características de la Arenisca Dura también pueden variar por cambios de fácies.

**Formación Plaeners (Ksgp)**

La Formación Plaeners que en castellano traduce “panelas” por el aspecto en que se presentan las rocas en el terreno, aflora a todo lo largo de la vertiente izquierda del Zanjón La Muralla, en el sector del Barrio Potosí y más hacia el occidente de este último. La formación consta de una sucesión de limolitas silíceas, porcelanitas (Chert), liditas y areniscas de grano fino en bancos de unos 8 metros de espesor. El conjunto presenta estratificación fina a media (foto 1).

El contacto de esta formación con la infrayacente Formación Arenisca Dura es normal, mientras que con la suprayacente Formación Arenisca Tierna es fallado. En el Cerro Potosí se explota como recebo.

Foto 1. Detalle de la estratificación de la Arenisca Dura que está en contacto con la Formación Plaeners en la Cantera Terreros.

**Formación Arenisca de Labor (Ksgl)**

En el área estudiada, esta formación aflora al occidente del Barrio Caracolí, conformando un cerro “aislado” donde se localizan algunos barrios del Municipio de Soacha. Allí se presenta la parte inferior de la formación, constituida por areniscas de grano fino, arcillosas, grisáceas a blancas, que ocurren en bancos gruesos y separados por capas finas de arcillolitas blancas. Las areniscas son duras.

En el resto del área, la Arenisca de Labor se encuentra altamente fracturada, por efectos tectónicos. Eventualmente se observan algunas ventanas de roca como en el barrio Caracolí, donde esta se encuentra muy fracturada y con presencia de caolinita (ver foto 2), que evidencia la gran actividad tectónica a la que han estado sometidos estos materiales.

Foto 2. Detalle de un afloramiento de la Arenisca de Labor en el sector del Barrio Caracolí (predio 3 de la manzana 46).

**Formación Arenisca Tierna (Ksgt)**

La Formación Arenisca Tierna comprende los escarpes rocosos del Mirador del Barrio Santa Viviana y la parte más alta del barrio Caracolí (extremo norte del área). Consta de una sucesión predominante de areniscas de grano grueso a muy grueso, algo conglomeráticas, que se presentan en bancos potentes y separados por estratos delgados de lodolitas, limolitas y arcillolitas. Predominan las areniscas de grano grueso que forman los bancos de mayor espesor y donde es notoria la estratificación cruzada. Las areniscas son arcillosas, de dureza variable, de color pardo amarillento a blanco (foto 3), y algunas veces son rojizas por la presencia de óxidos de hierro; y otras veces los óxidos de hierro le dan aspecto moteado a las areniscas.

Las areniscas son orto-cuarcitas con matriz caolinítica, friables. Una característica particular de la Arenisca Tierna es que en sus interbancos suelen presentarse estructuras sedimentarias.

En el sector del Barrio Caracolí, la parte inferior de la formación está afectada por la Falla Geológica de Terreros; y estas rocas se encuentran altamente fracturadas. Por está razón se ha definido una subunidad denominada Arenisca Tierna Fracturada (Ksgt-s).

Foto 3. Panorámica del talud de corte de la vía de acceso al barrio Caracolí, nótese el color amarillento a blanco de la arenisca Tierna.

Los depósitos de ladera tales como: Eluvio, Deluvio, Coluvión al igual que los Flujos de Tierra y los Depósitos Antrópicos se describen en detalle en numeral de Geología del área.

Se considera en el presente informe que la geología estructural es común tanto para la Geología Regional como para la Geología del área, por tal razón se describe al finalizar este último capítulo. Se aclara, que una de las diferencias halladas es la cantidad de estructuras geológicas, las cuales se presentan en mayor cantidad en la geología regional. Sin embargo, estas también son descritas en dicho capítulo.

### 2.2.4 Geología del Area

A continuación se describen las unidades litológicas sobre las cuales está fundado el Barrio Caracolí de la Localidad de Ciudad Bolívar, las cuales se presentan en el mapa geológico a escala 1:1.000 anexo al presente informe.

**Formación Arenisca de Labor (Ksgl)**

En el Barrio Caracolí aflora mediante algunas ventanas de roca supremamente fracturada por la acción tectónica, las cuales se observan hacia la parte baja del barrio. Es frecuente observar en los afloramientos arcilla caolinítica, la cual constituye una evidencia de la fuerte tectónica a la que han estado sometidos los macizos rocosos del sector.

Esta arenisca de grano fino y cemento arcilloso, se encuentra totalmente fracturada, meteorizada y alterada.

**Formación Arenisca Tierna (Ksgt)**

La Formación Arenisca Tierna aflora en el costado norte del barrio (parte topográficamente más alta). Allí se puede ver gran parte de la secuencia estratigráfica de esta formación, que consta de areniscas friables de grano grueso a conglomerático, y que se presentan en bancos potentes separados por estratos delgados de lodolitas y arcillolitas silíceas.

El material cementante de las areniscas es arcilloso (caolinítico). Su dureza es variable y son de color amarillento a blanco. En las superficies de las discontinuidades del macizo existen tonalidades rojizas por la presencia de óxidos de hierro.

**Formación Arenisca Tierna Fracturada (Ksgt - s)**

Se ha denominado Formación Arenisca Tierna Fracturada a unos materiales supremamente fracturados que afloran en la parte media alta del barrio, los cuales posiblemente están estratigráficamente más abajo de las rocas de la Formación Arenisca Tierna que aflora en el sector (foto 4), pero que también pueden corresponder al horizonte (II A) del perfil de meteorización propuesto por Deere y Patton (1971). En la opinión del geólogo del presente estudio, el sector donde se presentan estos materiales puede formar parte del Tren de falla de Terreros.

El Cuaternario en el área estudiada está representado por formación eluvio – deluvial, depósitos de pendiente tipo coluvial, además de pequeños conos proluviales. El área se encuentra cubierta por suelos negros, y materiales recientemente depositados por el hombre, denominados como rellenos antrópicos.

Foto 4. Detalle de los materiales que se presentan en la parte media alta del Barrio Caracolí.

**Depósitos de Pendiente**

Dentro de este grupo de depósitos se incluye formaciones eluvial, deluvial y coluvial.

**Suelos Eluvio – Deluvial (Qed)**

Es una formación compuesta por dos unidades: eluvial y deluvial, los cuales son muy difícil diferenciar en el campo, principalmente debido a la similitud de su composición granulométrica.

De acuerdo con Lomtadze, (1984), las formaciones eluviales son el producto de la meteorización de rocas parentales, que no han tenido el transporte alguno. El nivel eluvial es el sinónimo de suelo residual, que se produce bajo el efecto de meteorización física o química, o dos al mismo tiempo.

La composición y el espesor de las formaciones eluviales, bajo los mismos condiciones climáticas, geomorfológicas y tectónicas se predetermina por la composición de la roca-madre. Sobre las rocas resistentes a los agentes de meteorización, tales como Arenisca de la Formación Labor, el nivel eluvial (suelo residual) tiene espesor de unos pocos metros y su composición es gravosa. Sobre

las rocas débiles, fácilmente meteorizables, tales como arenisca de la Formación Tierna y niveles de lodolitas y arcillolitas, el espesor de suelo residual aumenta y su composición es más fina y arcillosa. De acuerdo con lo anterior, el espesor de la formación eluvial no es uniforme.

La variación de espesor también se debe al grado de alteración del macizo rocoso por fracturas tectónicas, que predeterminan la profundidad de alcance de agentes de meteorización. Así en el área de influencia de la falla de Terreros y otras fallas menores, presentes en el área de estudio, el espesor de eluvio (suelo residual) puede ser superior que en otras partes del terreno. En relación con esto, el límite inferior de la zona de meteorización generalmente es irregular y en algunas partes pueden formarse bolsas dentro de la roca fresca.

En el proceso de erosión la parte superior del nivel eluvial puede ser lavada y solo se conservan las franjas o manchas de material eluvial en medio de la roca sana.

Cubriendo la formación eluvial o, en caso de su ausencia, encima de las rocas sanas en algunas partes del área de estudio se aprecian los depósitos deluviales.

Según Lomtadze (1984), los depósitos deluviales son de origen continental, formados sobre laderas y sus partes bajas, como producto del lavado por aguas lluvias y de escorrentía superficial de las rocas meteorizadas y alteradas (suelo residual), ubicadas en las partes más altas. El transporte experimentado es muy corto, por lo tanto su composición o características granulométricas son similares al material erosionado. Esta es una de las razones por las cuales el depósito que conforma gran parte de la ladera del Barrio Caracolí, puede ser confundido con materiales eluviales. El mismo autor advierte que en un perfil de suelos es difícil diferenciar eluvio del deluvio, por lo que se recomienda unirlos en un solo conjunto.

El material deluvial generalmente forma mantos de poco espesor, menos frecuentes son los depósitos espesos. La composición y espesor del manto deluvial depende de la composición del material parental y de la pendiente de la ladera. En pendientes suaves, conformados por rocas arcillosas el deluvio es más espeso y más arcilloso y contiene pequeñas cantidades de bloques y gravas. En pendientes altas, conformadas por rocas más estables a la meteorización, el deluvio tiene menor espesor y es menos arcilloso, más heterogéneo y de granulometría más gruesa. El espesor aumenta en dirección de la pendiente, formando grandes mantos bajo los cuales se encuentran otros depósitos y otras formas de relieve. Estos depósitos generalmente no tienen estratificación y solamente en algunos sitios se observa la estratificación ligeramente definida en dirección de la pendiente.

Los materiales más comunes son los limos, las arcillas y las arenas limosas; frecuentemente en este tipo de depósitos se encuentran gravas y bloques de

roca. También se pueden encontrar restos vegetales y material fósil. En climas áridos la salinidad en este tipo de materiales es bastante notoria.

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, se concreta que los materiales presentes en gran parte de la ladera donde se localiza el Barrio Caracolí constituyen un depósito Eluvio – Deluvial de composición areno limosa con eventual presencia de gravas y bloques de roca, embebidos dentro de los suelos finos. Estos suelos son el producto de meteorización de las rocas (suelos residuales) de las Formaciones Arenisca de Labor o Arenisca Tierna y del lavado y depositación consecuente de sedimentos altamente meteorizados y alterados (suelo transportado) (foto 5).

Foto 5. Panorámica de un sector al occidente del Barrio Caracolí, donde se observa el depósito eluvial – deluvial que yace sobre las rocas de la Formación Arenisca Tierna.

En el área estudiada, este depósito se observa claramente en los predios 2 y 3 de la Manzana 26 del Barrio Caracolí, donde la “estratificación” de los sedimentos está ligeramente definida, buzando entre 20 - 30 grados en el mismo sentido de la pendiente del terreno. En otros sectores, los mismos materiales que constituyen el depósito brindan el aspecto de un suelo residual, que conserva la estratificación del material parental.

**Coluvión (Qdlc)**

A estos depósitos corresponden las acumulaciones de bloques y gravas sobre las vertientes de montañas y pie de laderas. Los materiales acumulados provienen de derrumbes y caídas de rocas. Se conforman como resultado de transporte bajo su propio peso (fuerzas gravitacionales) de productos de meteorización y destrucción de rocas a distancias no tan grandes desde la fuente de su generación.

Estos depósitos presentan una gradación bien marcada en su composición granulométrica en relación con la distancia desde la fuente: los fragmentos más grandes, que tienen la mayor energía, se desplazan a mayores distancias que los fragmentos pequeños. Además de la gradación horizontal, existe también la gradación en el perfil, es decir en la superficie se acumula el material más grueso y en el fondo de menor tamaño.

Son depósitos matriz soportados que afloran localmente hacia el curso del Zanjón La Muralla y están constituidos por bloques y guijos rocosos embebidos en una matriz arenosa o algo arcillosa. El espesor de los depósitos es variable, y depende de la forma del relieve preexistente y de la cantidad de material involucrado en el desplazamiento mediante el cual se originaron. En promedio, el espesor de los coluviones es de unos 5 metros (foto 6). Los depósitos coluviales presentan un alto porcentaje de bloques y constituyen terrenos relativamente estables.

Foto 6. Detalle del depósito de pendiente que se presenta en la parte baja del Barrio Caracolí (sector suroccidental).

**Depósitos de Flujos de Tierra (Qft)**

El depósito de flujos de tierra, según Lomtadze (1984), es sinónimo de un depósito proluvial, que corresponde a las acumulaciones de material que arrastran y dejan las corrientes temporales de agua en los períodos de lluvias intensas. Los depósitos proluviales típicos son los conos de deyección en la desembocadura de los ríos de montaña o de los drenajes erosionales y del fondo de las cárcavas. Para su formación solo se requiere de: material suelto dentro de las cárcavas o valles erosionales; una pendiente superior a 14º; una lluvia suficientemente fuerte para saturar dichos materiales y una corriente torrencial para arrastrarlos.

Petrográficamente los depósitos proluviales pueden tener composición muy variable, pero en relación con las propiedades físico – mecánicas principalmente se diferencian dos tipos:

a) Bloques y gravas mal gradadas, ligeramente redondeadas en matriz arenosa, limosa o arcillosa y
b) Depósitos limo-arcillosos bien gradados con propiedades típicas de un loes.

Dentro de las cárcavas y drenajes erosionales en el área de pié de ladera se observaron ambos tipos, anteriormente descritos, pero principalmente el segundo, que corresponde más a los flujos de tierra. Está compuesto por material mixto (mezcla de limo arcilloso color gris, contaminado por escombros de excavación) presentes en la salida de los valles erosionales y/o cárcavas. Estos depósitos se encuentran permanentemente saturados por afluencia de aguas vertidas de las viviendas (ver foto 7).

Foto 7. En la foto se indican algunos sectores donde se presentan depósitos proluviales.

**Rellenos Antrópicos (Qa)**

En general, los rellenos antrópicos en el área involucran un solo tipo de material, pero la disposición de los mismos tiene diferentes fines: rellenos antrópicos confinados, semiconfinados e inconfinados, en laderas o en cárcavas, para la construcción de viviendas **(Qac)**; rellenos antrópicos en zona de cárcavas para la conformación de terraplenes de las vías de acceso (foto 8); rellenos antrópicos en el talud inferior de las vías de acceso, los cuales son el producto de estériles botados durante la construcción de las mismas; y rellenos antrópicos de escombros y basuras **(Qae)**.

Los materiales que constituyen los rellenos antrópicos presentan una gradación mixta: fragmentos de roca de variados tamaños, limos arenosos algunas veces de composición orgánica, y ocasionalmente contienen restos de madera y vidrio.

**Suelos Negros**

Cubriendo toda el área donde afloran los materiales descritos anteriormente, se encuentra una capa de suelos negros de aproximadamente 0.2 - 0.3 metros de espesor, cuyo origen es posiblemente volcánico (foto 9) y que se denomina comúnmente como “Neme”. Estos suelos son areno limosos y limo arcillosos, localmente en la base contienen fragmentos pequeños (tamaño grava) de material rocoso. Cubren uniformemente toda el área de estudio excepto las zonas de valles erosionados y cárcavas.

Foto 8. Detalle de los rellenos antrópicos de escombros para superar el paso de las cárcavas en las dos vías principales del barrio.

Suprayaciendo y/o infrayaciendo a estos materiales se presenta un suelo vegetal limoso – arenoso de color gris oscuro a medio con niveles que oscilan entre 0.6 y 0.8 metros de espesor.

Ni estos suelos ni el horizonte neme se cartografiaron, debido a que, como se mencionó anteriormente, se encuentran cubriendo los demás sedimentos que constituyen el área, salvo en algunos sectores donde ya fueron erosionados. En el cuadro 2.2 se indican los espesores del horizonte neme y de los suelos vegetales medidos aleatoriamente en algunos sitios.

Cuadro 2.2. Espesores de suelos negros

| Localización | Espesor Neme (m) | Espesor Suelo Gris Oscuro (m) |
|---|---|---|
| MZ 12 – P 4 | 0.4 | 0.6 |
| MZ 13 – P 6 | 0.4 | 0.6 por encima del neme y 0.3 por debajo del neme |
| MZ 13 – P 10 | 0.2 | 0.4 por encima del neme y 0.3 por debajo del neme |
| MZ 12 – P 28 | 0.3 | 0.4 |
| MZ 10 – P 7 | 0.3 | 1.0 |
| MZ 6 – P 3 y 4 | 0.2 | 0.3 |
| MZ 63 – P 18 | 0.2 | 0.3 |
| MZ 60 – P 7 | 0.3 | 0.3 |
| MZ 47 – P 1 | 0.3 | 0.3 |
| MZ 41 – P 21 | 0.2 | 0.25 |
| MZ 14 – P 4 | 0.25 | 0.30 |
| MZ 18 – P 18 | 0.3 | 0.35 |
| MZ 16 – P 29 | 0.3 | 0.35 |
| MZ 18 – P 23 | 0.2 | 0.3 |
| MZ 19 – P 19 | 0.3 | 0.8 |
| MZ 19 – P 20 y 21 | 0.3 | 0.8 |
| MZ 20 – P 19 | 0.3 | 0.5 |
| MZ 63 – P 13, 14 y 15 | 0.2 | 0.25 |

MZ: manzana P: predio

Se aclara que debido a la alta densidad de construcciones en la zona, todos los contactos geológicos quedaron localizados sobre el mapa geológico en forma aproximada.

### 2.2.5 Geología Estructural

El área estudiada hace parte del flanco Occidental del Sinclinal de Usme – Tunjuelito, el cual es una estructura asimétrica, constituida principalmente por rocas del Grupo Guadalupe, las cuales presentan buzamientos del orden de 45º.

El flanco occidental de este sinclinal está afectado por fallas perpendiculares y oblicuas a su dirección general y por pliegues menores que se presentan especialmente en áreas donde afloran formaciones rocosas de características blandas como la Formación Guaduas y la Formación Bogotá.

En lo que respecta a la zona estudiada, las estructuras geológicas existentes (fallas) presentan una dirección NNW – SSE y NNE – SSW.

Foto 9. En la parte superior de la foto se muestran los materiales denominados “suelos negros”.

**Estructuras NNW - SSE**

Dentro de estas estructuras se encuentra la Falla de Terreros, la cual es una estructura de tipo inverso con buzamiento hacia el NNE, que afecta las rocas del Grupo Guadalupe, especialmente las de la Formación Arenisca de Labor. Esta falla geológica ha causado la desaparición de una buena parte de la secuencia estratigráfica en el sector de Terreros, más concretamente en el área donde se ubica el Barrio Caracolí. Hacia la margen izquierda del Zanjón La Muralla, la estratificación presenta un ángulo de buzamiento suave (15° - 25°) hacia el NW, mientras que sobre la margen derecha los buzamientos están por el orden de 30° – 40° hacia el NW en la parte baja de la ladera y entre 15° y 25° hacia el NW y NE en la parte alta de la misma, donde se invierten por la presencia de otras estructuras geológicas menores (zonas de cizalla) que son aproximadamente perpendiculares a la Falla de Terreros.

La Falla de Terreros adquiere una especial importancia en el sector del Barrio Caracolí, debido a que ha sido la causante de intenso fracturamiento de los macizos rocosos, lo que ha favorecido probablemente la formación de suelos residuales, por lo menos hacia la superficie de la Formación Arenisca de Labor, y de la parte inferior de la Formación Arenisca Tierna. Tan solo se dejan ver algunas "ventanas de roca" que permiten observar la intensa actividad tectónica a la que han estado sometidas las rocas de esta parte de la cordillera oriental. El tren de falla puede influir en algo más de 150 metros (ver perfiles estratigráficos en el mapa geológico a escala 1:1000 anexo al presente informe).

**Estructuras NNE – SSW**

A este sistema corresponden un gran número de estructuras geológicas menores transversales al lineamiento principal (Falla de Terreros), dentro de las cuales se encuentran La Falla de la Carbonera en jurisdicción del Municipio de Soacha, que afecta las rocas de la Formación Arenisca Tierna en el área de estudio; y permitiendo que localmente la estratificación cambie de orientación y de ángulo de buzamiento (foto 10). La Falla de la Carbonera marca precisamente el alineamiento de la Quebrada La Carbonera en el sector del barrio Santa Viviana.

Paralelamente a la Falla de La Carbonera, se presentan zonas de cizalla identificadas en el Barrio Caracolí como: Zona de Cizalla No. 1, en el extremo occidental del barrio; Zona de Cizalla No. 2, que marca el alineamiento de la cárcava más grande que se presenta en el barrio; Zonas de Cizalla No. 3 y No. 4 que cortan el cerro Chipó donde se ubican los Tanques del Acueducto; y Zona de Cizalla No. 5, en el extremo oriental del barrio.

Los criterios mediante los cuales se identificaron estas zonas de cizalla son básicamente los cambios en la dirección de la estratificación y las irregularidades del terreno: crestas en forma de silla por donde pasan las estructuras en mención y la dirección de los cursos de agua, muy seguramente alineados con zonas altamente fracturadas de los macizos rocosos (foto 11). De acuerdo con lo observado en el terreno, la brecha de falla en estas zonas de cizalla es de aproximadamente 20 metros.

Una característica estructural de gran importancia en el sector del Barrio Caracolí, donde afloran las rocas de la Formación Arenisca Tierna, es que la estratificación buza en sentido opuesto a la pendiente del terreno y con un ángulo relativamente bajo (< 25°), lo cual favorece de alguna manera la estabilidad geotécnica de la ladera.

Foto 10. En la parte superior derecha de la fotografía se indican las rocas de la Arenisca Tierna que presentan un buzamiento fuerte en comparación con las del labio occidental de la Falla de La Carbonera, las cuales presentan un buzamiento más suave.

Foto 11. En la fotografía se indica la brecha de la Zona de Cizalla No. 1 en el extremo occidental y parte alta del Barrio Caracolí.

### 2.2.6 Características Hidrogeológicas

Las características hidrogeológicas del área de estudio se obtuvieron a partir de las unidades litoestratigráficas, de su composición, del grado de fracturamiento y de las observaciones de campo sobre los afloramientos de aguas subterráneas.

Por sus mismas características de fábrica y estructura las areniscas de la formación Arenisca Tierna son altamente permeables, y a pesar de que la ladera donde se localiza el Barrio Caracolí es en contrapendiente, se presentan flujos de agua subterránea. En proximidades al contacto Roca fracturada – Roca Sana se presentan afloramientos de agua subterránea, los cuales por fortuna no han generado problemas de estabilidad en el terreno, pero sí ponen en evidencia un problema de humedad en las viviendas construidas sobre esta zona.

Los suelos Eluvial - Deluviales provenientes de las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna, han tomado el aspecto de arenas limosas endurecidas y fisuradas. Estos pueden tener una permeabilidad media, que puede facilitar el flujo subterráneo. Pero de acuerdo con las visitas de campo, no se observaron afloramientos de agua subterránea en las áreas constituidas por este tipo de materiales. Los coluviones presentan una permeabilidad relativamente alta, estos retienen humedad debido a que están constituidos por una matríz arenosa.

Por sus mismas características composicionales (materiales mixtos), los rellenos antrópicos presentan una permeabilidad media a baja. Esta característica es muy desfavorable para la estabilidad geotécnica de los rellenos en zonas de cárcavas, por donde pueden circular caudales importantes de agua durante tormentas o aguaceros, debido a que si no se permite un drenaje suficiente, los materiales se pueden saturar fácilmente y pueden llegar a un estado de falla.

Es muy probable que en el contacto entre los rellenos antrópicos y los suelos residuales sobre los cuales están expuestos, se presenten flujos de agua subsuperficial. Sin embargo, estos únicamente pueden ser controlados localmente por los moradores del sector, en la medida en que se detecte la humedad.

En el cuadro siguiente se indican algunas de las características hidrogeológicas de las unidades litoestratigráficas presentes en el área:

Cuadro 2.3. Características Hidrogeológicas de las Unidades Litoestratigráficas

| UNIDAD | POROSIDAD | PERMEABILIDAD | CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS |
|---|---|---|---|
| Arenisca de Labor<br>Ksgl<br>(por efectos de la Falla de Terreros) | Secundaria<br>Media<br>a<br>alta | Media 5 - 20 m/día | Acuífero |
| Arenisca Tierna<br>Ksgt | Primaria y Secundaria<br>Media – alta | Media-alta 5-20 m/día | Acuífero |
| Arenisca Tierna Fracturada<br>Ksgt – s<br>(por efecto de la Falla de Terreros) | Primaria y secundaria<br>Alta | Muy alta > 20 m/día | Acuífero |
| Depósitos Eluvial - Deluviales<br>Qsr | Primaria por estructuras heredadas<br>Media | Media 5-20 m/día | Acuitardo |
| Coluvión<br>Qdlc | Primaria media | Permeabilidad Media 5-20 m/día | - |
| Rellenos antrópicos<br>(Qra) | Primaria media | Depósitos de mediana a baja permeabilidad < 5 m/día | - |

### 2.2.7 Conclusiones

- El barrio Caracolí está fundado sobre materiales correspondientes a las Formaciones Arenisca Tierna y Arenisca de Labor, y sobre suelos residuales producto de la meteorización avanzada de las rocas de la Arenisca de Labor y en parte de las de la Arenisca de Tierna. También se presentan depósitos de pendiente tipo coluvión hacia la parte baja del barrio contiguos al Zanjón La Muralla y depósitos Eluvial – Deluviales en la parte media del barrio. Los Flujos de tierra se localizan en los valles estrechos de antiguas cárcavas, la mayoría de las cuales han sido rellenadas para la construcción de viviendas.

- En toda la zona se destaca la presencia de suelos negros que cubren los sedimentos mencionados anteriormente, salvo en los sectores que han sido removidos mediante la actividad antrópica o mediante el proceso erosivo en las cárcavas. Existen viviendas cimentadas sobre suelos negros de origen volcánico, situación que se tendrá en cuenta en el análisis de vulnerabilidad.

- La estratificación de las rocas de la Formación Arenisca Tierna buza en sentido opuesto a la pendiente del terreno, lo cual es favorable para la estabilidad geotécnica le las rocas del área en general. Sin embargo, los macizos rocosos también presentan fracturamiento y son posibles aquellos procesos de remoción en masa relacionados con la caída de bloques.

- La característica geoestructural más importante en el área estudiada es el alto grado de fracturamiento de las rocas de la Formación Arenisca de Labor e inclusive de la parte inferior de la Arenisca Tierna. El fracturamiento y la meteorización de las rocas de la primera unidad han sido intensos. La acción tectónica de la Falla de Terreros también ha influenciado en las rocas de la parte inferior de la Formación Arenisca Tierna.

- En general, las unidades litoestratigráficas presentan características de porosidad y permeabiliadad relativamente altas, especialmente las Formaciones Arenisca de Labor, Arenisca Tierna y Arenisca Tierna Fracturada, las cuales permiten tanto el almacenamiento como el flujo del agua subterránea. Por esto, los problemas de humedad se presentan hacia la parte media alta del barrio en proximidades al contacto roca sana – roca fracturada y hacia la parte baja del barrio respectivamente.

- Geológicamente, el área se puede dividir en tres sectores bien diferenciados para la zonificación objeto del presente estudio, a saber: a) Sector Norte: Al norte de la Falla de Terreros, conformado por los materiales de la Formación Arenisca Tierna (roca y Saprolito); b) Sector Central: constituido superficialmente por un depósito Eluvial – Deluvial (Tren de la Falla de Terreros); y c) Sector Sur: En el pie de la ladera, donde se presentan

depósitos coluviales y algunos afloramientos rocosos de la Formación Arenisca de Labor.

## 2.3 GEOMORFOLOGÍA

La vertiente derecha del Zanjón la Muralla en la Localidad de Ciudad Bolívar donde se ubica el Barrio Caracolí objeto del presente estudio, antes de ser urbanizada presentaba un relieve quebrado a escarpado, con pendientes generalmente altas y un drenaje subparalelo a subdendrítico, el cual se desarrolló como consecuencia de la baja resistencia a la erosión que presentan los materiales que constituyen el terreno. Esta característica del relieve es muy similar al de actualidad, solo que el paisaje ha sido modelado por la actividad antrópica.

### 2.3.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

El criterio que se ha considerado para la definición de unidades geomorfológicas es el proceso geodinámico dominante que se ha evidenciado en dichas áreas en los últimos tiempos geológicos.

Inicialmente se diferenciaron dos áreas homogéneas: una donde predomina el proceso denudativo y otra con el acumulativo.

Cada una de las geoformas principales identificadas de origen denudativo o acumulativo, a su vez se dividieron en unidades geomorfológicas de acuerdo a forma de relieve y su desarrollo actual.

En el cuadro 2.4 y en el mapa de unidades geomorfológicas anexo al presente informe, se indican las diferentes geoformas identificadas en el área comprendida por el Barrio Caracolí y los procesos geomorfológicos probables correlacionados con ellos.

**Ladera Estructural en Contrapendiente (D-1)**

Esta unidad de origen denudativo se caracteriza por presentar un relieve con pendientes naturales entre 24º y 38º, localmente cerca de 45º, corresponde a sectores donde afloran las rocas de la Formación Arenisca Tierna, las cuales se encuentran buzando en el sentido opuesto a la pendiente del terreno, situación por la que se denominó a la unidad Ladera Estructural en Contrapendiente.

De la geoforma también hace parte el área constituida por los materiales altamente fracturados de la Formación Arenisca Tierna, los cuales son responsables del primer quiebre en la pendiente del terreno (ligeramente más suave entre 20º y 33º) en sentido descendente, a partir de la parte más alta del

barrio, debido a que presentan unas características de resistencia menores que la roca sana.

En general, el drenaje de la unidad es de tipo paralelo a subparalelo. El proceso morfodinámico que la caracteriza en la erosión laminar en superficies desprovistas de capa vegetal. En áreas de cortes y/o excavaciones como la que se realizó para la construcción de la vía de acceso desde la parte más alta del barrio hasta el punto llamado Tres Esquinas se presenta el proceso de caída de bloques de roca y cascajo. Es de resaltar que este proceso es inducido por la actividad humana, que aumenta las pendientes naturales. Se destaca la presencia de aguas subterráneas que afloran en proximidades al contacto entre la roca sana y las areniscas fracturadas de la parte inferior de la Formación Arenisca Tierna.

Cuadro 2.4. Unidades Geomorfológicas Barrio Caracolí – Ciudad Bolívar

| GEOFORMA | UNIDADES GEOFORFOLOGICAS | MATERIAL PARENTAL | CARACTERÍSTICAS DE LAS FORMAS | PROCESOS MORFODINÁMICOS |
|---|---|---|---|---|
| DENUDATIVAS (D) | LADERA ESTRUCTURAL EN CONTRAPENDIENTE (D-1) | Rocas de la Formación Arenisca Tierna y Saprolito | Relieve escarpado a quebrado, pendientes fuertes y largas, cerros con cimas redondeadas y alargadas | Caída de rocas<br>Erosión Laminar<br>Afloramiento de aguas subterráneas |
| | LADERA EROSIONAL (D-2) | Elúvio - Delúvio | Relieve con pendientes moderadas a muy inclinadas. | Erosión Laminar<br>Erosión en Surcos |
| ACUMULATIVAS (A) | VALLES EROSIONALES ESTRECHOS (A-1) | Elúvio, Delúvio, Prolúvio | Relieve de cárcavas con valles estrechos de paredes casi verticales, en su mayoría modeladas por la acción antrópica | Erosión en Cárcavas<br>Flujo de tierras<br>Reptación<br>Hundimientos |
| | PIE DE LADERAS (A-2) | Coluviones | Relieve con superficies suavemente convexas hacia la parte alta de los depósitos y con pendientes inclinadas hacia la parte baja de los mismos | Caída de bloques<br>Erosión laminar<br>Erosión en surcos |
| | VALLE ZANJON LA MURALLA (A-3) | Proluvio | Valle estrecho con pendiente longitudinal muy suave y terrazas de baja altura (< 1 m) | Flujos de tierra |
| | TERRACETAS ANTRÓPICAS (A-4) | Depósitos de Escombros | Superficies parcialmente planas, con taludes laterales de pendiente alta, hasta del 100%. | Deslizamientos<br>Erosión Laminar<br>Erosión en surcos |

**Ladera Erosional Eluvial – Deluvial (D- 2)**

Aunque es una geoforma de origen mixto, que está constituida por un depósito eluvial – deluvial. se ha clasificado como una geoforma de origen denudativo, debido al fuerte proceso de erosión al que ha estado sometida. Presenta pendientes de 10º a 30º.

La baja resistencia de los suelos areno-limosos que conforman la unidad, hacen que esta geoforma sea altamente susceptible a la erosión, tanto laminar, como concentrada en surcos y cárcavas, especialmente en áreas desprovistas de capa vegetal.

Los procesos que actualmente se desarrollan son la erosión laminar y en surcos. Se aclara que las antiguas cárcavas, ahora modificadas por la actividad antrópica, se desarrollaron sobre esta unidad. Sin embargo, estas últimas se separan y se describen dentro de una unidad diferente, debido a que presentan características muy particulares, y a que los procesos morfodinámicos que se desarrollan en estas son diferentes.

**Valles Erosionables Estrechos (A-1)**

Se ha dado este nombre al antiguo relieve denudativo y ahora acumulativo que ocupa el área de antiguas cárcavas, las cuales en el Barrio Caracolí han sido recuperadas en gran parte por la actividad antrópica. La geoforma adopta características diferentes, dependiendo del manejo o intervención a que han estado sometidas, así:

- Rellenos para construcción de viviendas: suaviza el relieve preexistente.

- Rellenos para superar el paso de grandes cárcavas (vías principales del barrio): suaviza parcialmente el relieve, pero se originan taludes con pendientes altas hacia aguas abajo.

- Cortes y explanaciones: suaviza el relieve preexistente. Los moradores han utilizado este sistema para disminuir el volumen de material de relleno.

- Materiales botados en el cauce de antiguas cárcavas: la integración de basuras, escombros de excavación, suelos orgánicos erosionados y aguas lluvias y servidas, han contribuido con la recuperación de las cárcavas, debido a que se han formado gramas de pasto, donde se desarrollan procesos morfodinámicos relacionados con flujos de tierra incipientes y reptación.

Además de los procesos morfodinámicos mencionados anteriormente, en esta unidad se presenta erosión concentrada en surcos y cárcavas y erosión laminar, todos estos tipos de erosión en los taludes de las cárcavas mayores que aún subsisten.

**Pie de Laderas (A-2)**

Esta geoforma de origen acumulativo; se refiere al relieve de la parte baja de ladera, constituido por depósitos tipo coluvión, que se caracteriza por presentar pendientes moderadas y altas hacia el curso del Zanjón La Muralla. El proceso morfodinámico más notorio es la caída de bloques, especialmente en sectores donde los pobladores del sector han realizado excavaciones a media ladera, dejando bloques sueltos potencialmente inestables. También se presenta erosión laminar y en surcos.

**Valle del Zanjón La Muralla**

Comprende el valle estrecho del Zanjón La Muralla, el cual se caracteriza por presentar un relieve suave con pendientes menores del 5%. Los materiales que lo constituyen son flujos de tierra, los cuales son el resultado de una mezcla de suelos erosionados y transportados actualmente hasta el valle por corrientes torrenciales temporales y canales de aguas negras. En lo que respecta a la zona de estudio, el Zanjón está canalizado en un 70%, lo cual ha sido favorable para la estabilidad de la zona en general. A pesar de lo estrecho del valle, se han formado pequeñas terrazas a lo largo de su curso, las cuales no superan el metro de altura en el área estudiada, pero sí alcanzan alturas hasta de 5 metros en proximidades a la laguna de Terreros.

**Terracetas Antrópicas (A-4)**

Son pequeñas geoformas de relieve plano, con taludes naturales de pendiente alta (hasta del 100%), conformadas por escombros de excavación y basuras, en las cuales se presentan problemas de estabilidad debido a que han sido conformadas de manera antitécnica. Los procesos que se desarrollan en esta unidad son deslizamientos, erosión laminar y erosión en surcos.

### 2.3.2 Identificación y Definición de Procesos

En general, en el barrio Caracolí no se presentan problemas graves debidos a inestabilidad natural del terreno y estos son muy puntualizados y de poca magnitud; los problemas de estabilidad del terreno se presentan principalmente hacia los valles estrechos de ladera, en los taludes de antiguas cárcavas, y en los rellenos sueltos conformados sobre las mismas. También en los taludes de corte realizados para la construcción de viviendas. Existen numerosas viviendas que sufren asentamientos por estar construidas sobre los rellenos mal conformados o sobre los suelos negros descritos en el capítulo de geología local (foto 12).

Los factores antrópicos que condicionan los procesos morfodinámicos en el barrio Caracolí son los siguientes:

a) La carencia total de las un manejo adecuado de aguas superficiales, tanto de lluvias como los servidas, las cuales han contribuido a la erosión. Las calles del barrio en general son destapadas y constituyen canales intermitentes, el agua toma velocidad, y ante la ausencia de cunetas y disipadores, erosiona rápidamente el terreno.

b) Vertimiento de aguas servidas, que de alguna manera han contribuido con la recuperación de cárcavas debido a que le brindan humedad a los suelos que constituyen el lecho de la misma, pero que en otras ocasiones han contribuido con el reblandecimiento de los materiales, generando reptación y flujos de tierra dentro de la cárcava.

c) El relleno de las cárcavas, mediante la depositación de escombros de excavación, que en general se ha realizado de una manera antitécnica y por tal razón se han generado algunos procesos relacionados con deslizamientos pequeños y puntuales (derrumbes) y los asentamientos de algunas viviendas.

A continuación se describen los procesos morfodinámicos del área estudiada, los cuales se presentan en el mapa de inventario de procesos morfodinámicos anexo al presente informe:

**Flujos de Tierra**

Como flujo de tierra en el presente estudio se denomina el fenómeno de remoción en masa que está correlacionado con escorrentía torrencial de aguas lluvias, que erosionan y transportan gran cantidad de material suelto y saturado, acumulado en las laderas de los valles erosionales o represado en sus cauces.

Según Lamtadze (1977), para su formación se requiere de 3 factores principales:

1. Una lluvia prolongada y una precipitación crítica.
2. Existencia de depósitos no consolidados dentro de los cauces o en las laderas de corrientes temporales.
3. La pendiente del terreno superior a 14º

El contenido de material sólido en un flujo puede variar desde 10 – 15% hasta 40 – 60%.

Los flujos de tierra son fenómenos súbitos y de corta duración (hasta 3 – 5 horas). En el área de estudio los flujos pueden involucrar todos los depósitos cuaternarios cruzados por las cárcavas: eluvio, deluvio, coluvio, escombros de excavación,

basuras arrojadas por los pobladores del sector y aguas de escorrentía tanto superficial como de vertimientos (foto 13).

En el sector estudiado los flujos de tierra se evidencian hacia el lecho de los drenajes de antiguas cárcavas. Uno de los posibles conductos de flujos de tierra lo constituye el valle del Zanjón La Muralla, aunque actualmente se evidencia cierto grado de estabilidad en el terreno, debido a la canalización de las aguas que fluyen por el zanjón, mediante un canal colector.

**Reptación**

Se manifiesta como un desplazamiento muy lento de la parte superficial del terreno, en sectores de pendiente moderada con cobertura vegetal, como en los costados laterales de algunas cárcavas. Principalmente involucra el suelo orgánico. Este fenómeno puede pasar inadvertido, puesto que puede tener una velocidad muy baja (hasta de 1 cm/año). De acuerdo con la teoría, en veranos prolongados el movimiento puede ser prácticamente nulo, pero en inviernos pronunciados puede alcanzar velocidades hasta 3 cm/año. Esta es una razón por la cual conviene controlar la construcción de viviendas hacia el curso de las antiguas cárcavas.

**Deslizamientos**

Los deslizamientos que han ocurrido en la zona estudiada son muy puntualizados y de poca magnitud. Por tal razón conviene llamarlos derrumbes, los cuales se manifiestan por el colapso de taludes de corte durante inviernos fuertes. Llama la atención un deslizamiento de tipo traslacional localizado en la parte baja de la manzana 69 del barrio, el cual se generó a través de la interfase material insitu – depósito de escombros, en un terreno de pendiente alta (foto 14).

El flujo de tierras, localizado al sur de la manzana 72 del barrio ha evolucionado localmente a un deslizamiento de tipo rotacional (hundimiento), el cual afecta a tres viviendas localizadas en zona de invasión. Como deslizamientos potenciales se pueden mencionar: el de la parte alta de las manzanas 53 y 54 del barrio y el de la calle 47 B a la altura de la cárcava más grande del sector, que involucran materiales de rellenos antrópicos. Otros deslizamientos potenciales los constituyen las áreas de viviendas construidas en pendientes altas y sobre suelos negros, debido a que estos son altamente susceptibles a inestabilizarse en presencia de agua.

## Asentamiento de Viviendas

Los asentamientos de viviendas se presentan en los rellenos sueltos o poco compactados que se han efectuado en las antiguas cárcavas de la ladera, por parte de los moradores del sector, con el propósito de construir sus viviendas. La gran mayoría de las viviendas presentan poco peso debido a que son de tipo tugurial; sin embargo, los asentamientos se acentúan y se evidencian donde existen viviendas de mampostería tipo confinadas y semiconfinadas. Tal como se indica en el mapa de procesos morfodinámicos elaborado especialmente para el presente proyecto, la mayoría de los asentamientos de viviendas se presentan en el costado oriental del barrio, en áreas de antiguas cárcavas, que fueron rellenadas. Las evidencias consisten principalmente en grietas y fisuras que aparecen en paredes y pisos.

## Caída de Bloques

Aunque la caída de bloques un proceso referido a taludes en roca, con pendientes superiores a 35º en el presente informe se han referido tanto al macizo rocoso propiamente dicho, como a los depósitos coluviales conformados por grandes bloques donde existe la posibilidad de su rodamiento. Para el primer caso, son producto de cortes realizados para la construcción de viviendas en la parte alta del barrio y para la construcción de la vía de acceso también por la parte alta del barrio.

En el segundo caso (caída y rodamiento de bloques), se generan por excavaciones realizadas para la construcción de viviendas en la parte baja del barrio, hacia el curso del Zanjón La Muralla, donde se presentan depósitos de pendiente tipo coluvial (foto 15). En ambos casos se debe al aumento de la pendiente natural hasta 90º.

Las fotografías aéreas previas a la urbanización del barrio e interpretadas especialmente para el presente estudio, indican la existencia de depósitos de ladera tipo talus en la parte media alta del barrio (no existentes en la actualidad), lo que indica que la caída de bloques en épocas anteriores era un proceso natural pero que hoy está controlado por la actividad antrópica. Esta actividad ha cumplido una doble función: Estabilización mediante la conformación de terrazas y paredes de roca o mal llamados por los moradores del sector “muros de contención” para la construcción de viviendas; y de desestabilización debido a los cortes y/o excavaciones realizadas para la misma actividad.

## Erosión

Es el proceso que más se manifiesta en la zona estudiada. La baja resistencia de los suelos areno - limosos y arcillosos que en general conforman el área, y la pendiente relativamente alta del terreno, hacen de los mismos materiales que sean altamente susceptibles a la erosión, tanto laminar, como concentrada en surcos y cárcavas, especialmente en áreas desprovistas de capa vegetal. El clima árido a semiárido del sector favorece este proceso. Por esta razón, antes de la fundación del Barrio Caracolí (fotografías aéreas de 1990) se veía un paisaje despejado de viviendas, con fuertes incisiones del terreno debido a la erosión concentrada como la que se observa en el Barrio Oasis del Municipio de Soacha, vecino del Barrio Caracolí.

Los tipos de erosión que actualmente se desarrollan son: la erosión laminar y en surcos. Se aclara que en las antiguas cárcavas, ahora modificadas por la actividad antrópica (foto 16), el proceso como tal de carcavamiento es incipiente y muy localizado (fotos 17 y 18). La erosión en surcos se concentra especialmente en las carreras del barrio, las cuales se orientan de norte (parte alta) a sur (parte baja).

## Conformación de rellenos

Se refiere a la actividad del hombre que modela continuamente el relieve.

Actualmente se continúa con la depositación de escombros de excavación en las cárcavas mayores de la zona, generando taludes potencialmente inestables. También se arrojan basuras en algunos sectores del barrio.

**Foto 12. Panorámica del costado oriental del Barrio Caracolí. Con las Letras Rae se denotan los sitios donde están presentes los rellenos antrópicos de excavación; con las letras Ecs erosión concentrada en surcos y con las letras Cbr caída de bloques de roca.**

**Foto 13. En la panorámica se observa el relleno antrópico de escombros de la carrera 47. Mediante este proceso se están realizando rellenos antitécnicos, generando taludes potencialmente inestables. Las letras Ft indican flujos de tierras y las letras Br indican bloques de roca retirados del relleno para la construcción de viviendas.**

**Foto 14. El depósito de escombros que se observa en la fotografía, localizado en la parte baja de la manzana 69 del Barrio Caracolí, se ha desplazado en anteriores oportunidades sobre los materiales limoarcillosos que lo infrayacen. Estos últimos materiales afloran en la excavación sobre la cual está parado el señor de chaqueta roja. El depósito presenta un espesor aproximado de 5 metros y el mecanismo de falla es translacional.**

**Foto 15. La caída de bloques de roca (Cbr en la foto), no solamente sucede en la parte alta del Barrio Caracolí, sino también en la parte baja, donde existen depósitos coluviales con bloques de roca sueltos y expuestos en terrenos de pendiente alta; la actividad antrópica (explanaciones para construcción de viviendas) acelera el proceso en mención. Las letras Rab indican un sitio de botadero de basuras.**

**Foto 16. En el costado occidental de la Escuela "Amigos de La Naturaleza" del Barrio Caracolí, se aprecia claramente el relleno de la antigua cárcava (Qac), apreciándose además el espesor gradual del relleno que yace sobre el depósito Eluvial – Deluvial Qed.**

**Foto 17. La gran mayoría de las cárcavas que existían en el área estudiada, fueron rellenadas o intervenidas para la construcción de viviendas; en otras partes como en el costado occidental de la manzana 77, la cárcava fue rellenada, pero el drenaje sigue su curso normal. La erosión que se genera sobre el relleno es severa.**

**Foto 18. Detalle de las fuertes incisiones del terreno de la ladera derecha del Zanjón La Muralla. El carcavamiento se acentúa sobre suelos de características areno - limosas. La foto fue tomada en la parte baja de la manzana 74 del Barrio Caracolí.**

## 2.4 HIDROLOGIA Y CLIMA

### 2.4.1 Objetivo y Alcance

El área de estudio se encuentra en la margen derecha del cauce llamado Zanjón La Muralla, el cual hace parte de la cuenca de la Laguna de Terreros y atraviesa los barrios Jerusalén, Potosí, Caracolí y El Oasis.

La zonificación por fenómenos de remoción en masa, y el diseño de las medidas de mitigación, constituyen el objetivo general del proyecto, razón por la cual es necesario tener un conocimiento integral de la zona en los aspectos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, topográficos, e hidrológicos. El estudio hidrológico tiene importancia fundamental en el trabajo, pues constituye una herramienta valiosa para evaluar la amenaza, sobretodo el parámetro de precipitación crítica. Además, los análisis de flujos producidos por la lluvia es necesario analizarlos con el fin de evaluar los cauces existentes y dimensionar las obras de drenaje requeridas.

### 2.4.2 Metodología de Trabajo

El estudio hidrológico se desarrollo en tres fases:

- Recopilación y análisis de la información existente

- Información meteorológica obtenida por intermedio de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB – ESP, en su informe sobre el análisis y caracterización de las tormentas en la Sabana de Bogotá (IRH, 1995).

- Coeficientes de escorrentía antes y después de la transformación del sector, obtenidos del análisis de fotografías aéreas de la ultima década, complementado con el trabajo de campo y la encuesta realizada en el área de estudio.

Con base en esto se procedió al análisis de información para determinar su influencia sobre la estabilidad del área de estudio y definir los parámetros de diseño de las obras de drenaje.

- Reconocimiento de campo

Esta actividad permitió determinar la utilización y el uso del suelo, estimando así el tipo de cobertura, su densidad y distribución, lo mismo que las obstrucciones del sistema de drenaje, junto con los procesos de erosión y sedimentación.

### 2.4.3 Climatología de la Zona de Estudio

Para determinar las características climatológicas de la zona de intereses se emplearon las estaciones referenciadas en el cuadro 2.5

Cuadro 2.5. Localización de estaciones climatológicas utilizadas en el estudio

| ESTACION | CODIGO | OPERADOR | TIPO | ELEVACION m.s.n.m | COORDENADAS | | AÑOS DE REGISTRO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | NORTE | ESTE | |
| La Regadera | 2120509 | EAAB | MET | 3050 | 978730 | 993289 | 29 |
| Tanque Jalisco | 2120059 | EAAB | PVG | 2599 | 996900 | 991500 | 40 |

La estación Regadera se ubica 300 m por encima de la cota más alta del terreno del Barrio Caracolí y la estación Tanque Jalisco 40 m más baja que la cota mínima del área de estudio. La estación más cercana al Barrio Caracolí es la del Tanque Jalisco.

En el cuadro 2.6 se puede observar que la estación Regadera tiene registro de precipitación y evaporación, y la del Tanque Jalisco únicamente de precipitación. Para el análisis climático se han tenido en cuenta los datos de ambas estaciones, complementadas con información secundaria, extraída de los estudios realizados para EAAB (IRH, 1995) y DPAE (INGEOCIM,1998).

- Temperatura: La temperatura media multianual en el sector es de 14.8°C.

- Humedad relativa: Está en función de la temperatura y la altura sobre el nivel del mar, y se encuentra estrechamente relacionado con la precipitación. Los valores más altos se presentan en la época lluviosa y son del orden del 83%, y los valores más bajos son del orden del 75% en los meses más secos.

- Brillo solar: Se encuentra directamente relacionado con la precipitación. El tiempo de brillo solar alcanza sus valores más bajos en los periodos de precipitación alta (abril- mayo, octubre – noviembre), con un intervalo de valores de 99 y 114 horas/mes, mientras los valores más altos se presentan en los períodos secos en los meses de diciembre a marzo (139 a 170 horas/mes), y de julio a septiembre (entre 122 y 136 horas/mes).

- Precipitación y Evaporación

Con base en el estudio para el análisis y caracterización de las tormentas en la Sabana de Bogotá, se obtuvo que el área de estudio se encuentra ubicada pluviograficamente en la zona 4, que corresponde a la zona suroccidental (A. González, 1999),.

La distribución temporal de la lluvia correspondiente a la estación Tanque Jalisco tiene un comportamiento bimodal: dos periodos de precipitación alta, presentándose el primero en los meses de abril y mayo (75-70 mm), mientras el segundo en octubre y noviembre (80 – 71 mm). La estación Regadera registra para los mismos períodos las precipitaciones de 130 – 135 mm y 75 – 100 mm. El comportamiento de lluvias se puede apreciar en las figuras 2.4 y 2.5, donde también se presenta la evaporación.

La relación entre la precipitación y la evaporación está en función de su distribución temporal, la evaporación se incrementa en períodos en los cuales la precipitación disminuye y la temperatura aumenta. Este fenómeno es característico de los primeros 2 meses del año y se repite en el mes de diciembre. Por otro lado, en la gráfica correspondiente a la estación Regadera se observa un predominio de la precipitación sobre la evaporación en la mayor parte del año, en un intervalo de tiempo que va desde el mes de marzo hasta el mes de noviembre. Este hecho significa que para este período aumenta la escorrentía superficial y la infiltración.

Es importante considerar la relación entre la precipitación (P), la evaporación (E) y la escorrentía superficial (i) que define el balance hidrológico del área de estudio y el índice de recarga (J) de los acuíferos, representado por la siguiente ecuación:

$$J = (P - i)/E$$

Como se puede apreciar en las gráficas de la figura 2.4 los valores del índice de recarga en general son inferiores a 1, calculados para la estación de Tanque Jalisco, indicando características de clima árido, donde la recarga de acuíferos es muy pequeña.

El cálculo realizado para la estación Regadera, 300 m más alta que el área de estudio, también indican sobre la misma situación, excepto en los meses de mayo, junio y julio, lo que quiere decir que en este período el nivel freático puede acercarse más a la superficie y producirse la mayor saturación de los depósitos no consolidados.

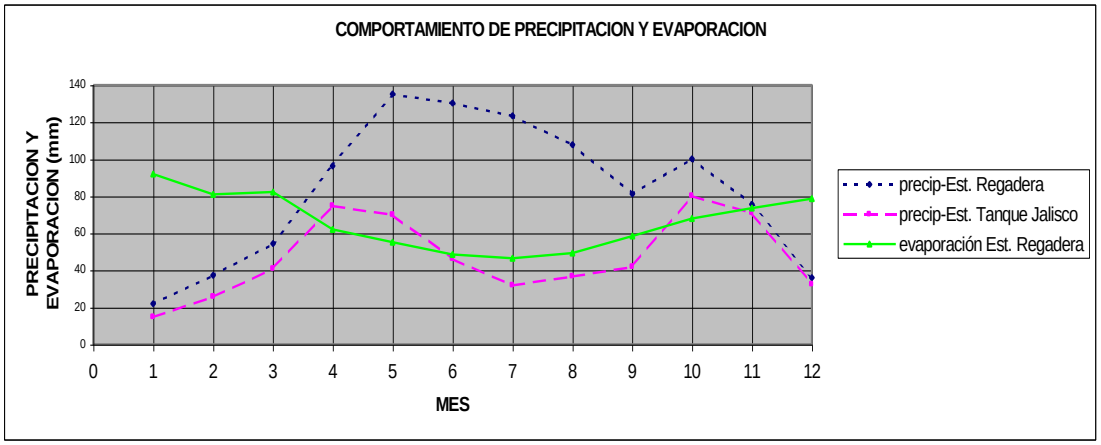
### 2.4.4 Análisis de precipitación critica para el área de estudio

Para la estimación de la precipitación critica y su duración en el Zanjón La Muralla sector Caracolí se adopta la metodología desarrollada en el estudio “Relación de precipitación critica duración de lluvias que disparan movimientos en masa en Santa Fe de Bogotá – Colombia” de A. González el cual hace parte del estudio de “Amenazas, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa para

varias localidades de Santa Fe de Bogotá" (INGEOCIM – UPES, 1998), razón por la cual se ajusta al cálculo de lluvia critica y su correspondiente duración mediante la relación:

**Cuadro 2.6.** Precipitación y Evaporación del área de estudio

| MES | PRECIPITACION (mm) | | EVAPORACION Est. Regadera (mm) | INDICE RECARGA | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ESTACIONREGADERA | ESTACIONTANQUE JALISCO | | ESTACIONREGADERA | ESTACIONTANQUE JALISCO |
| ENERO | 21,9 | 14,9 | 92,09 | 0,10 | 0,06 |
| FEBRERO | 37,3 | 25,8 | 81,1 | 0,18 | 0,13 |
| MARZO | 54,4 | 40,8 | 82,33 | 0,26 | 0,20 |
| ABRIL | 96,3 | 74,8 | 62,05 | 0,62 | 0,48 |
| MAYO | 135,1 | 69,9 | 55,12 | 0,98 | 0,51 |
| JUNIO | 130,2 | 46,2 | 48,49 | 1,07 | 0,38 |
| JULIO | 123,3 | 32 | 46,62 | 1,06 | 0,27 |
| AGOSTO | 107,9 | 36,8 | 49,28 | 0,88 | 0,30 |
| SEPTIEMBRE | 81,2 | 41,8 | 58,4 | 0,56 | 0,29 |
| OCTUBRE | 100,1 | 80,1 | 68,05 | 0,59 | 0,47 |
| NOVIEMBRE | 75,6 | 71,1 | 73,52 | 0,41 | 0,39 |
| DICIEMBRE | 36,1 | 32,5 | 78,66 | 0,18 | 0,17 |
| MEDIA ANUAL | 967,8 | 566,7 | 691,18 | | |



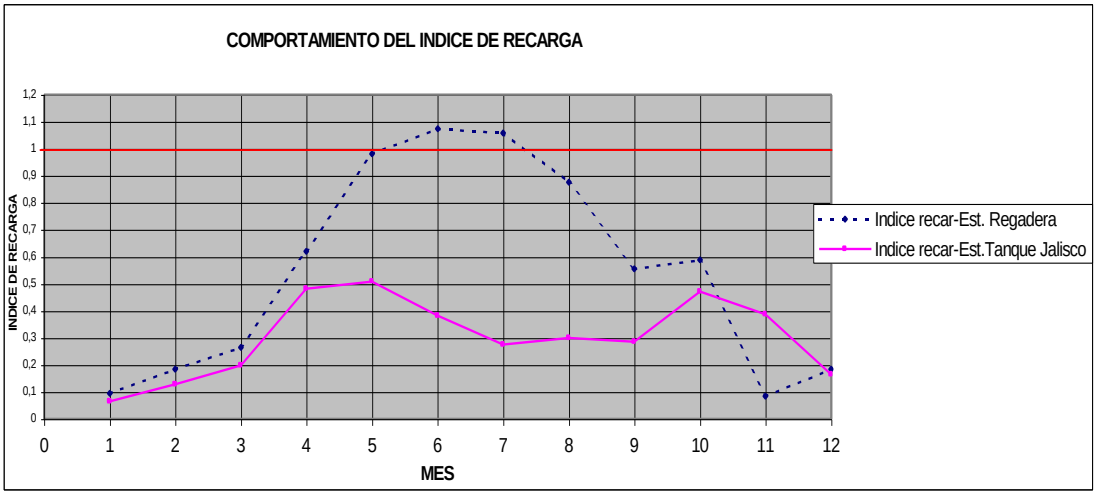
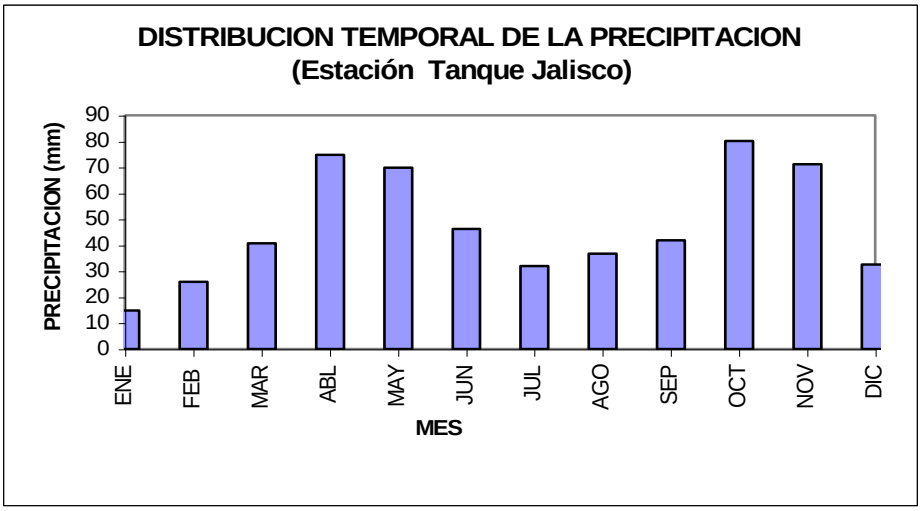
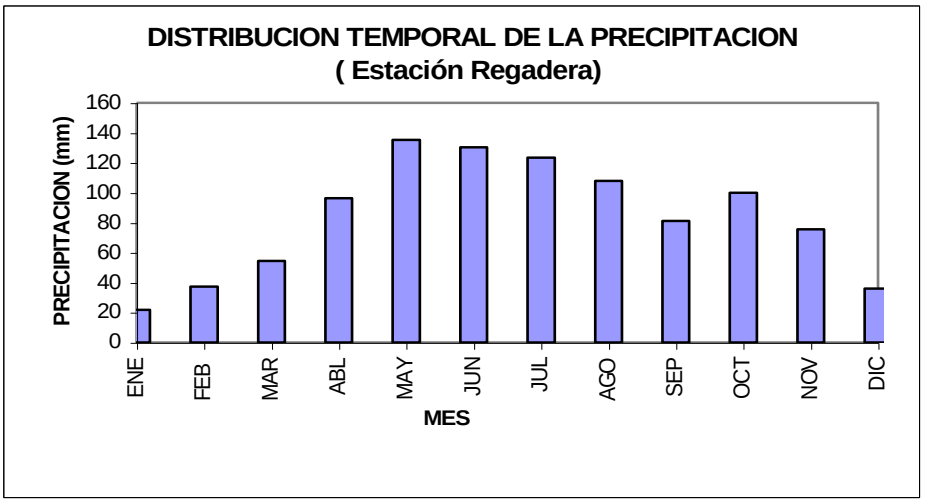




**Figura 2.4** Relación de la Precipitación - Evaporación - Indice de recarga



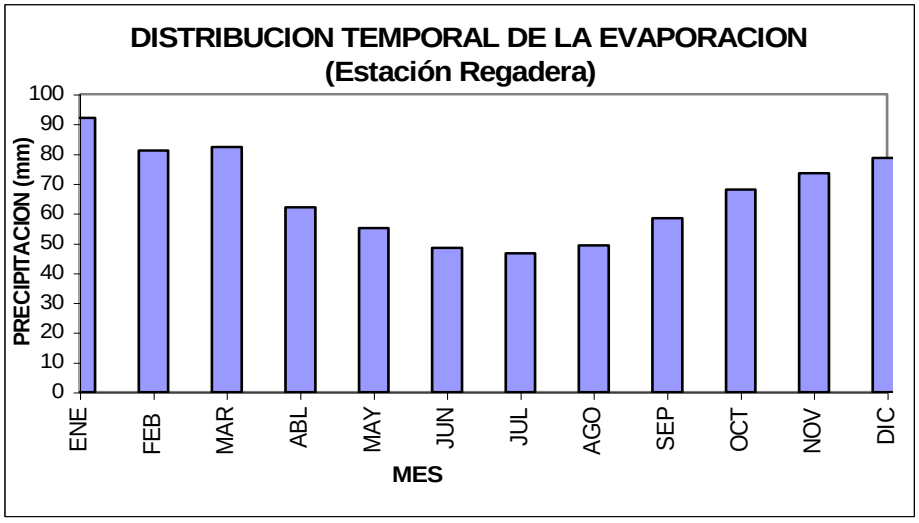




**Figura 2.5** Histogramas de Precipitación - Evaporación

Lluvia critica = 0.3609 x la lluvia media anual en mm

La precipitación media anual para el área de estudio es de 650 mm, dando como resultado una lluvia crítica de 234 mm

La duración de la lluvia critica esta expresada por la relación:

$D = 3.2829 \times (LL.Critica)^{0.4157}$

El resultado para Caracolí es:

$D = 3.2829 \times (234)^{0.4157} = 30.9$ Días

Los valores obtenidos encajan bien en los rangos establecidos para la zona suroccidental.

De acuerdo con estudios realizados en la zona (UPES, 1998), el periodo de retorno de la lluvia crítica es de 26.5 para la Estación Tanque Jalisco.

### 2.4.5 Clasificación Genética del Sistema de Drenaje

El drenaje principal es el Zanjón La Muralla, que corre en sentido oblicuo a los drenajes secundarios, los cuales son paralelos entre sí.

El sistema de drenaje del área de estudio se caracteriza por estar controlado estructural y litológicamente, y estar estrechamente relacionado con los afloramientos de aguas subterráneas. La densidad del drenaje es baja, de redes subparalelas con una dirección preferencial de los cauces que coincide con la orientación de un sistema de fallas locales asociadas a la Falla de Terreros.

### 2.4.6 Características Hidrográficas del Zanjón La Muralla y su Cuenca

Cada uno de los cauces principales y su respectiva microcuenca se caracterizan cuantitativa y cualitativamente, y tal evaluación conduce a una caracterización hidrográfica, tomando parámetros como el área de la cuenca, la longitud de sus drenajes y su correspondiente densidad, la pendiente de los cauces, el factor de forma y la orientación de las microcuencas.

El Zanjón La Muralla nace en la parte alta del Barrio Potosí a una altura aproximada de 2750 msnm. El curso de su cauce hace un recorrido por la parte baja del área de estudio, atravesándola totalmente en una dirección E-W.

Con el objeto de desarrollar un análisis hidrológico más detallado, la zona de estudio se dividió en cinco microcuencas que integran todo el sistema de drenaje del barrio

Caracolí, para cada una de las cuales se hallaron las características hidrológicas (ver Figura 2.6)

Tomando como base las fotografías áreas y su correspondiente complementación con las observaciones de campo, se determinó que la mayor parte del área total de la cuenca se encuentra urbanizada, y que en un porcentaje de área muy pequeño se encuentra una cubierta vegetal distribuida de manera puntual y con una baja densidad, concentrándose en las márgenes, del Zanjón La Muralla.

Por otra parte, de acuerdo con las características hidrogeológicas, el área de estudio se encuentra conformada por rocas y depósitos cuaternarios, cuya permeabilidad es media a alta.

Las dimensiones de las cinco microcuencas se determinaron utilizando la cartografía del año 1979.

Los parámetros climatológicos se determinaron en la siguiente forma:

- Periodo de retorno: Para efectos de cálculo se consideraron períodos de retorno de 10 y 25 años, para evaluar las variaciones de intensidad de lluvia y caudales, tomándose como representativo el periodo de retorno de 25 años, el cual es la cifra redonda más próxima al valor hallada en la Estación Tanque Jalisco.

**Figura 2.6**. Zonificación hidrológica para el cálculo de caudales

- Duración: El tiempo de duración tomado es el mínimo y corresponde a 15 minutos, tomado de la gráfica I-D-F de la figura 2.7

- Intensidad: Conocido el periodo de retorno, y la duración de la lluvia, se obtienen las intensidades de la figura 2.7 referenciada así

| PERIODO DE RETORNO | DURACION | INTENSIDAD mm/h |
|---|---|---|
| 10 años | 15 min | 68 |
| 25 años | 15 min | 82 |

- Coeficiente de escorrentía: ( C )

El coeficiente de escorrentía ( C ) esta en función de las pendientes, las condiciones de permeabilidad y la cobertura vegetal. Con el propósito de establecer un parámetro de comparación, en el cálculo de caudales se determinaron dos coeficientes de escorrentía, teniendo en cuenta el cambio de las características del terreno en un intervalo de tiempo inferior a 10 años. Las memorias de cálculo se presentan en el anexo y toda la información obtenida se resume en el cuadro 2.6:

**Figura 2.7.** Curva Intensidad frecuencia duración (IDF) Adoptada para la zona de estudio[2]

2. Tomada del Informe General del Estudio para el Análisis y caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá (E.A.A.B. – E.S.P.) 1995

**Cuadro 2.6**. Resumen del cálculo de caudales.

| PARAMETRO / ZONA | AREA $m^2$ | PENDIENTE | LONG AXIAL m | LONG. TOTAL DE CAUCES (m) | LONG. CAUCE PRINCIPAL | PERIMETRO (m) | TIEMPO DE CONCENTRACION Tc (min) | DURACION MINUTOS | INTENSIDAD (mm/h) | | COEFIC. DE ESCORRENTIA C | CAUDAL ($m^3$/seg) | | ORIENTACION | DENSIDAD DE DRENAJE | FACTOR DE FORMA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | 25 AÑOS | 10 AÑOS | | 25 AÑOS | 10 AÑOS | | | |
| Z1 | 80432.6 | 0.36 | 440 | 1320 | 300 | 1220 | 0.145 | 15 | 82 | 68 | 0.613 | 1.347 | 1.117 | NE-SW | 0.016 | 0.42 |
| Z2 | 86933.2 | 0.25 | 510 | 1270 | 520 | 1290 | 0.24 | 15 | 82 | 68 | 0.6075 | 1.433 | 1.197 | NE-SW | 0.014 | 0.33 |
| Z3 | 51703.1 | 0.46 | 300 | 820 | 220 | 1080 | 0.11 | 15 | 82 | 68 | 0.618 | 0.873 | 0.724 | N-S | 0.015 | 0.57 |
| Z4 | 35298.6 | 0.34 | 316 | 940 | 260 | 860 | 0.133 | 15 | 82 | 68 | 0.612 | 0.590 | 0.489 | NE-SW | 0.026 | 0.35 |
| Z5 | 36010.7 | 0.17 | 280 | 940 | 270 | 830 | 0.155 | 15 | 82 | 68 | 0.6035 | 0.594 | 0.492 | NE-SW | 0.026 | 0.45 |
| **TOTALES** | 290378.2 | 0.316 | | 5290 | | 5280 | | | | | 0.6108 | 4.837 | 4.019 | | | |

## 2.5 FACTOR ANTROPICO

Para el año 1990 el área de estudio se encontraba baldía (ver Figura 2.3). El inicio de la presión antrópica data desde el año de 1994, y como lo atestigua la fotografía aérea 1832 del vuelo SAC-390, para el año 1996 el barrio Caracolí se encontraba intervenido por el hombre en un 20% del área (ver Figura 2.2). En ese momento ya se había construido la vía principal de acceso, algunas vías secundarias y cerca de 200 viviendas, como también se había conformado la explanación del área para el parqueadero de buses.

Todos los tipos de construcción han requerido trabajos de movimientos de tierra tales como cortes y rellenos. Por tal motivo, fue modificado el relieve natural de la vertiente norte del Zanjón La Muralla. Han aparecido nuevos depósitos denominados como antrópicos, que principalmente constituyen los botaderos del material sobrante de excavación que rellena los drenajes naturales. De esta forma, también se ha modificado la red hidrográfica y los parámetros hidrológicos tales como el coeficiente de escorrentía superficial y de evapo-transpiración, los cuales están estrechamente correlacionados con el cambio de pendiente, tipo de suelo, tipo de subsuelo y la cobertura vegetal.

En su mayor parte las zonas intervenidas por vías y viviendas corresponden a los drenajes naturales.

Desde el punto de vista del desarrollo de los procesos, el análisis comparativo de las fotografías aéreas de los años 90, 96 y 98, demuestra que la erosión hídrica es el único proceso relevante que afecta el área de estudio, limitándose principalmente a las áreas ocupadas por los drenajes naturales. Este proceso tuvo su mayor incidencia en el año de 1990, y la menor en el año de 1998, principalmente debido al recubrimiento del área y a la redistribución del flujo por las calles del barrio. El flujo concentrado se convirtió en difuso, y produjo una variación del caudal de los drenajes naturales. Sin embargo, la explotación del terreno ha demostrado que el proceso erosivo se ha concentrado en unos sitios bien definidos y correlacionados con los antiguos drenajes y los depósitos antrópicos, en su mayoría ubicados en los mismos drenajes.

La ocupación del área por las viviendas ha generado otros elementos en el balance hídrico del área, como lo son los vertimientos de aguas servidas y las fugas del sistema de agua potable provisional.

El caudal vertido sobre el terreno y/o los drenajes naturales se estima en 1000 $m^3$/día (10 l/seg), que aunque constituye una centésima parte del caudal calculado para una lluvia crítica de 10 años, es importante debido a su existencia permanente y que, en su mayoría, fluye a cielo abierto y por calles destapadas.

Al crear los rellenos antrópicos mal compactados, o totalmente sueltos, sobre la vertiente natural inclinada a más de 45%, se han generado las condiciones propicias para la generación de zonas que evidencian el fenómeno de flujo de tierras que se observa en el terreno actualmente.

En resumen, la intervención antrópica sobre el área de estudio se ha reflejado en:

- Cambio del relieve natural (cortes y rellenos para las construcciones).
- Cambio de la cubierta vegetal por un recubrimiento impermeable en la mayor parte del área.
- Aumento del coeficiente de escorrentía y el caudal de las aguas vertidas.
- Aparición de nuevos fenómenos de remoción en masa.
- Disminución del área afectada por procesos erosivos y su concentración en las vías secundarias destapadas y en las partes más bajas de los drenajes naturales.
- Contaminación por desechos líquidos y sólidos de la Quebrada Zanjón La Muralla y Laguna de Terreros. Se aclara que actualmente esta laguna se encuentra en un estado avanzado de sedimentación y eutrofización como consecuencia del acelerado desarrollo urbano de la microcuenca del Zanjón La Muralla.
- Conformación de nuevos depósitos.

El factor antrópico se tuvo en cuenta en la evaluación de amenaza a través del modelo de perfil de subsuelo y disminución de los parámetros de cohesión “c” y ángulo de fricción “$\varphi$” utilizados en los cálculos de estabilidad en áreas críticas. Sin embargo, este factor no se pudo tener en cuenta en la evaluación de amenaza sectorial por discrepancias entre la topografía de trabajo y la ubicación real de los predios, es decir no se pudo ubicar los sitios transformados por el hombre.

## 2.6 USO DE SUELO Y COBERTURA

Antes de abordar el tema en cuestión es importante diferenciar los términos de uso y cobertura, a fin de tener una visión general del mapa correspondiente.

El término cobertura se aplica a un atributo natural de la tierra que da origen a los elementos de paisaje; dichos elementos son denominados COBERTURA y ocupan un lugar en la superficie, por ejemplo: un predio, una vía, entre otras. Con respecto al USO DE LA TIERRA; hace referencia al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura; de tal manera que éstos resultan de la interacción entre los factores naturales y los culturales o humanos, por ejemplo residencia, colegio, restaurante entre otros.

### 2.6.1 La Clasificación

El sistema de clasificación empleado para el propósito de los estudios de zonificación de riesgos por fenómenos de remoción en masa y diseños detallados de medidas de mitigación par el barrio Caracolí, Localidad de Ciudad Bolívar se fundamentó en la elaboración de un censo predial; el cual tuvo como objetivos específicos:

- Identificar los atributos generales de los predios, tales como el número del Lote; tipo de la construcción; Número de habitantes en el día y en la noche; existencia o no de servicios públicos y estado general de las viviendas; este último se refirió al grado de afectación que tiene la vivienda por la influencia de un proceso natural.

- Hacer una descripción puntual del sector en lo referido a estado general de las vías, tipos de comercios existentes, dinámica urbanística y costos de las viviendas y tipos de transporte.

- Evaluar los procesos geomorfológicos y geodinámicos que afectan las construcciones y el sector en general (erosión, hundimientos, deslizamientos y caída de bloques).

- Identificar los tipos de cobertura vegetal.

Todo esto con el fin de crear base de datos para la evaluación de vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza por FRM.

### 2.6.2 Metodología

El enfoque metodológico para el levantamiento se basó, como se indicó anteriormente, en un reconocimiento de campo preliminar para identificar los aspectos más sobresalientes en la zona y establecer llaves de fotointerpretación.

En una segunda etapa, la fotointerpretación final fue seguida de una visita de campo en la cual se levantaron encuestas en 2.341 predios, con el fin de hacer una descripción de los predios.

Posteriormente, se conformo de uso de tierra y cobertura el mapa a escala 1:1.000 (con los datos de referencia) con base en la información predial proyectado (mapa base) suministrada por el Departamento Distrital de Planeación y mediante el modulo de entrada de datos del SIG, se vectorizó.

La información proveniente del censo predial, se proceso en una base de datos, con la cual se alimento el mapa en el SIG Arcview 3.0 (ver mapa 5).

Para el establecimiento del mapa se ha establecido una correspondencia entre cada clase del nivel categórico con cada unidad cartográfica delimitada.

Para el establecimiento del símbolo de cada tipo de cobertura, se tienen en las letras iniciales de los atributos. En el cuadro 2.7 se reportan los tipos de cobertura, con su correspondiente símbolo:

**Cuadro 2.7.** Tipos de cobertura

| Tipo de Construcción | Nº Habitantes | Servicios públicos | Daño en la Vivienda | Procesos | Cobertura Vegetal |
|---|---|---|---|---|---|
| LV: Lote Vacío | D: Día | Ac: Acueducto | N: Ninguno | N: Ninguno | SD: Sin destapado |
| MC: Mampostería contifada | N: Noche | Alc: Alcantarillado | L: Ligero | E: Erosión | H: Huerta |
| MSC: Mampostería semiconfinada | | EE: Energía Eléctrica | M: Moderado | H: Hundimiento | P: Pasto |
| P: Prefabricada | | T: Teléfono | F: Fuerte | D: Deslizamiento | |
| T: Tugurio | | B: Basura | S: Severo | CB: Caída de bloques | |

Es de anotar, que el mapa de uso y cobertura del suelo elaborado es inexacto, pues el mapa predial base suministrado por FOPAE no concuerda con la ubicación real de los predios. Por esta razón, la información del mapa de cobertura del suelo no puede emplearse en evaluación individual y solo tiene utilidad para estudios de vulnerabilidad zonales.

A continuación se presenta la descripción de los resultados obtenidos.

### 2.6.3 Uso de la Tierra

El uso actual de la tierra es predominantemente residencial o de uso compartido con comercio en prácticamente todas las viviendas que se ubican sobre las calles principales, en total 247 de las 1331 edificaciones habitadas.

En el barrio existen dos (2) colegios:

- Escuela de Amigos de Naturaleza, que trabaja en dos jornadas: mañana 6:45 a 12 m y tarde 12:30 a 5:30 p.m. La escuela cuenta con 16 profesores de los cuales 2 trabajan en ambas jornadas y de los 14 restantes 7 en la mañana y 7 en la tarde.

  El total de estudiantes es de 200 en la jornada de la mañana y 200 en la tarde. Se ubica en la manzana 43. Cuenta con la cancha de fútbol y zona comunal.

- Colegio Alianza, de enseñanza preescolar y primaria. Se ubica en la manzana 38 lote 27. Cuenta con 44 niños en total y funciona en dos jornadas con 22 niños por la mañana y 22 por la tarde.

Además de esto, existen dos guarderías comunitarias en la manzana 13, lote 9 donde se cuidan 14 niños y en la manzana 7 lote 12, con 8 niños.

Iglesias: manzana 71, lotes 20 y 21 no construidos.

En el lote 2 de la manzana 13 funciona una iglesia cristiana que puede reunir hasta 30 personas, principalmente en el horario nocturno.

El barrio también cuenta con amplias zonas comunales destinadas para:

- Plaza de mercado, que actualmente funciona con 11 casetas y/o puestos.

- Terminal de transporte se usa por: dos empresas de buses y busetas, y una de colectivos:

  Buses: Transervilujo y Cootraunidos

  Frecuencia 4 minutos reales y de planilla 5 minutos.
  Horario: 4AM – 11 o 12 PM por seguridad del conductor.

  Transporta pasajeros hacia la Avenida 68- Tercer Puente - La Inmaculada

  En el momento las empresas cuentan con 55 buses y próximamente con 25 buses más que pone en funcionamiento la empresa Cootraunidos que está trabajando en unión con Cootraservilujos. Los conductores manifiestan la necesidad de la ampliación del sitio de parqueo.

  Colectivos: Cootranskennedy Ltda

  Rutas C9: Frecuencia 6 minutos con destino a Alamos-Fontibón-Bachue
  C10: Frecuencia 6 minutos hacia carrera 30 a Bachue.
  Servicio permanente, transportan a los habitantes de Caracolí a Abastos.

De acuerdo al Régimen Legal del Medio Ambiente vigente (Titulo III, Capitulo IV, Destinación y dominio de las aguas y sus cauces) y la reglamentación de la E.A.A.B., la margen derecha del Zanjón de La Muralla, en un ancho de 15 m desde el cauce corresponde a la zona de uso público y de protección de las márgenes de la quebrada. Actualmente esta zona presenta un conflicto de uso debido a su invasión por construcción de viviendas en los siguientes predios:

| MANZANA | LOTE | MANZANA | LOTE | MANZANA | LOTE |
|---|---|---|---|---|---|
| 55 | 1 | 65 | 17 | 70 | 44,46 |
| 56 | 1, 1A, 2 | 66 | 17,18,19,20 | 71 | 43,45 |
| 57 | 2, 3, 4 | 67 | 22 | 72 | 41,43,44,45 |
| 63 | 19, 20 | 68 | 30 | 73 | 39,40,41,42,44 |
| 64 | 15,17,18,19 | 69 | 37, 38 | 76 | 30 |

79 27,28,29,30,31

Los predios anteriores deben ser reubicados desde la zona de protección ambiental.

### 2.6.4 Cobertura

En el cuadro 2.8 que se presenta a continuación, se resumen los resultados acerca de la cobertura de la zona en las 80 manzanas que han sido encuestadas y cuya localización se puede ver en el mapa de uso y cobertura anexo.

**Cuadro 2.8**. Uso y Cobertura de la Zona

| Tipo de Construcción | Número de lotes | % | Costo aprox. Miles de $ | Area, $m^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Lote Vacío | 1.012 | 43.19 | 1.500 a 4.000 | 77.108,45 |
| Mampostería Confinada | 233 | 9.9 | 10.000 a 20.000 | 17.166,76 |
| Mampostería Semi-confinada | 364 | 15.5 | 4.000 a 10.000 | 25.729,29 |
| Tugurio | 619 | 26.4 | 1.500 a 4.000 | 43.244,71 |
| Prefabricado | 101 | 4.3 | 2.000 a 4.000 | 7.149,75 |
| Zona Verde | 4 | 0.17 | - | 284.30 |
| Caño | 10 | 0.42 | - | 680.24 |
| Total de predios | 2.343 | 100 | - | 171.363,51 |

En el cuadro 2.9 y en la figura 2.8 se relacionan los predios afectados por uno u otro proceso geodinámico, reportado por los habitantes de las viviendas, que posteriormente fueron tenidos en cuenta en el estudio geotécnico y en la identificación de los procesos.

**Cuadro 2.9** Procesos reportados por habitantes

| Tipo de Proceso | Número de lotes | % | Area, $m^2$ |
|---|---|---|---|
| Deslizamiento* | 164 | 6.99 | 11572.8 |
| Caída de Bloques | 44 | 1.8 | 3137.14 |
| Erosión | 216 | 9.21 | 17314.89 |
| Hundimientos | 83 | 3.5 | 6608.73 |
| Ninguno | 1822 | 77.76 | 131765.38 |
| Zona Verde | 7 | 0.2 | 284.30 |
| Caño | 7 | 0.2 | 680.24 |
| Total de predios | 2.343 | 100 | 171363.48 |

* Posible asentamiento de la vivienda

Es de anotar que el censo de viviendas fue realizado con ayuda del personal, suministrado por la Junta Comunal del Barrio Caracolí, que no tienen conocimientos

específicos sobre el tipo de proceso que afecte el terreno y su capacitación para este tipo de trabajo fue muy rápida, por lo tanto el nivel de precisión en diferenciación del tipo del proceso es bastante bajo, Es así que frecuentemente el hundimiento y/o asentamiento de la vivienda se describe como el deslizamiento.

### 2.6.5 Población

La población total del barrio es de 4494 habitantes de día y 5179 de noche. La distribución de población se presenta en la figura 2.9.

El análisis de la distribución de población arrojó los siguientes resultados:

| | |
|---|---|
| 1.012 lotes | Están deshabitados |
| 311 viviendas | Tienen por lo menos un habitante |
| 578 viviendas | Son habitadas por 2 a 4 personas |
| 423 viviendas | Son habitadas por 5 a 10 personas |
| 16 edificaciones | Tienen de 11 a 28 personas |
| El colegio de los Amigos de la Naturaleza | Tiene en horario diurno (6 AM a 18 PM) hasta 215 personas |