RESUMEN

La zona de estudio se encuentra ubicada en el costado occidental de los cerros surorientales de la Sabana de Bogotá, entre la transversal 9 este y la carrera 21B este, entre el río San Cristóbal y la diagonal 10, sobre la margen izquierda del Río, frente al batallón Escuela Logística del Ejército Nacional; en la localidad de San Cristóbal.

Hasta el año 1991 el área de estudio era ocupada por la finca Los Molinos en la cual funcionaba un galpón. Posterior a este año se inició la urbanización de la zona, la cual se concentró en dos terrazas de origen aluvial, en las cuales estaban ubicadas los galpones. En la actualidad este proceso de urbanización se ha extendido a la parte alta de la zona, es decir la comprendida entre la vía de acceso y el límite occidental del área en estudio.

La zona hasta el año de 1991 era estable, con algunos pequeños deslizamientos en la margen izquierda del río. Debido a procesos antrópicos a causa de la urbanización se han generado una serie de deslizamientos de carácter rotacional a lo largo de toda la margen izquierda del río. De igual manera hasta el mismo año, la zona aledaña al área en estudio, por el costado suroriental, era estable y presentaba una laguna alimentada por agua subsuperficial. Posterior al año 1991 las condiciones de la laguna fueron alteradas y ésta desapareció. Con la desaparición de esta laguna se desataron una serie de deslizamientos rotacionales con carácter retrogresivo, generados probablemente por el agua subsuperficial que alimentaba la laguna.

La zona en estudio está constituida básicamente por un depósito fluviotorrencial con un espesor que varía desde 10.0 m en la parte alta del barrio, a 2.00 m en la parte baja del mismo. En algunos sectores sobre la margen izquierda del río se observan rellenos de arcilla con fragmentos de ladrillo y basuras. Bajo estos se encuentra la arcillolita de la formación Guaduas.

Los movimientos observados se concentran a lo largo de la margen izquierda del río, los cuales consisten en una serie de deslizamientos de carácter rotacional, con posibilidad de convertirse en fenómenos retrogresivos a causa del río y de las aguas que se infiltran en la masa de suelo. En la parte alta se encuentra una pequeña zona aledaña a la escuela y en el costado occidental de la vía de acceso, la cual está afectada por un deslizamiento y erosión laminar. La inestabilidad de este sector se debe probablemente a los cortes efectuados para la construcción de la vía.

Por lo observado en el estudio adelantado, el problema de inestabilidad que se presenta en el sector se debe en buena medida a la falta de sistemas de alcantarillado y acueducto adecuados. Se observa que los habitantes del barrio conducen las aguas negras mediante tubería de gres desde sus casas hasta la ladera de la ronda del río, donde son arrojadas sin ningún tipo de control. De igual manera el agua potable es conducida mediante mangueras superficiales, las cuales presentan muchas uniones rudimentarias, a

través de las cuales se presentan escapes de agua que caen directamente sobre la ladera.

A fin de conocer la situación del área en estudio y poder recomendar las medidas necesarias para estabilizar las zonas con movimientos del subsuelo, se ejecutaron varias actividades las cuales fueron coordinadas por diferentes profesionales. A continuación se resumen tales trabajos:

Como base para los estudios se llevó a cabo un levantamiento topográfico, obteniendo un plano base escala 1:500 de la zona en estudio. Este plano fue empleado para plasmar los resultados de cada una de las actividades efectuadas.

De acuerdo con los trabajos de geología, geotecnia y geoeléctrica en la zona en estudio se encuentran básicamente dos materiales claramente identificados así:

Depósito reciente de origen fluviotorrencial (Qft). Este material litológicamente constituido por fragmentos subangulares a subredondeados de arenisca cuarzosa, gris clara, grano fino, cemento silíceo; estos fragmentos varían en tamaño desde bloques de diámetro mayor a 1 m a clastos tamaño grava, predominando los tamaños de menor diámetro. La matriz es arena limosa preferencialmente, de color gris claro; el cementante es débil por lo cual las partículas son fácilmente disgregables.

Se destaca en este material su permeabilidad y la facilidad con la que el agua de escorrentía, por el alto gradiente del terreno, le produce erosión laminar y surcos que poco a poco pueden evolucionar a cárcavas.

Su espesor es variable desde 2.0 m en la parte baja de la zona a 18.0 m en la parte alta.

Formación Guaduas (Tkgu). La mejor exposición de estas rocas sedimentarias se encuentra hacia el oriente del Barrio, en el corte dejado por un carreteable que asciende hacia el sureste de la montaña. Allí se aprecia que la litología predominante es la arcillolita de color rojizo a abigarrado, en potentes paquetes, y localmente se observan dos paquetes delgados de arenisca cuarzosa débilmente cementadas, de grano fino y estratificación delgada. Cada uno de estos paquetes de arenisca tiene espesor de 3 m y están separados por un paquete de arcillolitas de 8 m de espesor. Esta secuencia esta recubierta por el depósito fluviotorrencial anteriormente descrito. Los otros sitios de afloramiento encontrados, son pequeñas ventanas ubicadas hacia el borde del cauce del Río y en la parte media del Barrio, como se aprecia en el Mapa Geológico. Las arcillolitas en el contacto con el fluviotorrencial están meteorizadas.

Sobre la margen izquierda del río se identificaron materiales de relleno producto de procesos antrópicos.

Las propiedades mecánicas de estos materiales son las siguientes:

CUADRO No 1. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES DE LA ZONA

NUM	MATERIAL	C (Kg/cm2)	ϕ °	γ_t (Kg/cm^3)	γ_d (Kg/cm^3)
1	Arcillolita	0.8	36	2.12	1.87
2	M. Relleno	0.05	21	2.04	1.62
3	Fluviotorrencial	0.03	25	1.97	1.62

Los principales procesos morfodinámicos que se desarrollan actualmente, en diferentes sitios del área, son: flujos, reptamiento y deslizamientos rotacionales sobre arcillolitas meteorizadas; fallas rotacionales y, localmente erosión concentrada sobre el relleno fluviotorrencial.

Teniendo como base los procesos morfodinámicos anteriormente citados, los rasgos topográficos, la condición de las aguas subsuperficiales y la actividad antrópica, se efectuó la siguiente zonificación:

Zona 1A.

Comprende las terrazas intermedia y alta como también la parte media y alta de la ladera. Los procesos morfodinámicos que se desarrollan son locales, de baja intensidad y superficiales, corresponden a un pequeño deslizamiento rotacional, en la parte media de la ladera, y erosión con desarrollo de surcos, en la parte alta de la ladera.

Zona 1B.

Comprende un sector de la parte media de la ladera, donde afloran arcillolitas abigarradas de la Formación Guaduas. En esta área, donde existe cobertura vegetal, hay un proceso incipiente de erosión laminar y formación de surcos.

Zona 2A.

Comprende la ribera izquierda del Río donde se presenta una hibridación de materiales por estar allí el contacto entre arcillolitas meteorizadas y la parte terminal, contra el río, del depósito fluviotorrencial. Las áreas inestables, aledañas a la ribera izquierda del Río, están afectadas por fallas rotacionales retrogresivas; algunas están localizadas sobre las arcillolitas alteradas de la Formación Guaduas, y otras sobre la parte terminal, hacia el Río San Cristóbal, del relleno de origen fluviotorrencial.

La otra parte de la zona 2A corresponde a la pequeña cañada que limita el área por el costado sureste. En lo que respecta a esta área, el pequeño lago que allí existía fue drenado mediante la construcción de una red de cunetas que conducía y entregaba el agua al río, pero esto dio origen a un proceso de inestabilidad por fallas rotacionales retrogresiva y reptamiento que dieron al traste con la microcuenca y la han convertido en un área de alta amenaza.

En estos sitios la actividad antrópica provocó los procesos de inestabilidad que la afectan y la convierten en zonas de alta amenaza.

Zona 2B.

Comprende los tramos de terrazas inestables como consecuencia del avance retrogresivo de los procesos de inestabilidad que afectan la ribera del río. Son áreas de alta amenaza.

El elemento detonante en las zonas de amenaza 2A y 2B ha sido el flujo desordenado y permanente de aguas servidas provenientes de las viviendas ubicadas en las vecindades. También se ha presentado socavamiento producido por la dinámica del río.

Al nivel de hidráulica se puede establecer que la problemática existente, la cual favorece los deslizamientos en la zona se debe a la presencia de aguas negras así como los empozamientos permanentes en la parte alta que favorecen la infiltración y lubricación del material que se encuentra en movimiento. De igual manera se identificó que la zona de ronda se encuentra invadida por algunas casas sobre la margen izquierda del río.

Desde el punto de vista de la amenaza, el área en estudio se dividió en cinco (5) zonas a las que, de acuerdo con los procedimientos seguidos y descritos en el informe, se les asignó los siguientes valores de probabilidad de falla:

CUADRO No. 2 PROBABILIDADES DE FALLA

ZONA	P.F.
1	0.8213
2	0.4568
3	0.9970
4	0.8213
5	0.1600

Con lo cual las zonas de amenaza 1,3 y 4 quedarían definidas como de amenaza muy alta, la zona 2 presenta un nivel de amenaza media y la zona 5 presenta amenaza baja.

Los valores antes definidos, se establecieron a partir de análisis de estabilidad y evaluaciones probabilísticas, considerando los efectos de lluvia, sismo y un periodo de análisis de 20 años. Sin embargo, para la zona de amenaza 4, por encontrarse como límite de la zona de estudio y a fín de considerarla dentro de las recomendaciones del estudio, se le asignó de manera cualitativa el mismo valor de probabilidad que el establecido para la zona de amenaza 1, teniendo en cuenta su alto grado de inestabilidad y la similaridad observada en campo, de los fenómenos presentes en ambas zonas.

En la zona de amenaza 4, como producto del inadecuado drenaje de un antiguo lago, se generaron fallas rotacionales retrogresivas y reptamiento, llevando a la zona a un alto grado de inestabilidad y amenaza. Por lo anterior el consorcio consultor recomienda emprender un estudio específico sobre la zona a fin de reconformarla y evitar futuros deslizamientos que obstruyan el cauce del río generando así altos niveles de riesgo para los barrios agua a bajo de este punto, los cuales pueden verse expuestos a avalanchas torrenciales.

El sector en estudio en términos generales exhibe un nivel de vulnerabilidad de alto a muy alto y de riesgo muy bajo. Aunque lo anterior parezca contradictorio, no lo es ya que la estimación de la vulnerabilidad tiene en cuenta tanto la incapacidad física y social de la comunidad para recuperarse ante un evento dado, mientras que la valoración del riesgo se hizo con base en los daños materiales que el evento causaría. Por ello para sectores de vulnerabilidad alta a muy alta se establecieron niveles de riesgo muy bajo a medio.

Por lo anterior, las soluciones a la problemática se orientarán hacia el establecimiento de las mejores condiciones para el control y el manejo de las aguas en la zona, así:

I. **Control:** 1) para impedir y/o minimizar el acceso de aguas desde la parte alta a las zonas en movimiento o con posibilidad de él; 2) para prevenir la socavación de la pata del talud, por efecto del río San Cristóbal; 3) para controlar el acceso de aguas negras a los taludes que conforman a la ribera del río San Cristóbal.

II. **Manejo:** 1) para garantizar la estabilidad de los taludes contra deslizamiento.

Las obras planteadas se describen a continuación.

Cunetas con filtro interceptor. Para interceptar los caudales provenientes de la parte alta que pueden aumentar el problema del deslizamiento. Se ubican en la parte alta, localizadas a un costado de la vía existente.

Ronda del río San Cristóbal. La capacidad del río San Cristóbal es suficiente para permitir el paso de crecientes de hasta períodos de retorno de 100 años sin presentar desborde en la zona del estudio. Por estas razones se propone la definición de una zona de ronda, incluyendo la zona de manejo y protección ambiental, ZMPA, correspondiente a la zona definida como de amenaza alta (aproximadamente 15 metros a partir del borde del río), de acuerdo con el Decreto 1106/86.

Controlar el acceso de aguas negras al río San Cristóbal. Para controlar el acceso de aguas negras al río San Cristóbal, provenientes de las viviendas ubicadas dentro de la zona del estudio, y debido a que los estudios por parte de la EAAB para la construcción de sistemas de alcantarillado en el sector no comprenden las viviendas ubicadas cerca al río, bajo la carretera de acceso, se recomienda la construcción de un sistema de alcantarillado comunal consistente en redes de drenaje que entregan a diferentes interceptores inferiores, que captarán entre dos y tres líneas de drenaje, localizados en la parte inferior a la zona de las viviendas, los cuales en su parte final contarán con un tanque sedimentador, para poder remover la carga sólida presente, y entregarán a tuberías que saldrán a galerías de infiltración de donde serán recogidas por tubería que entreguen adecuadamente río San Cristóbal a través de estructuras de salida. Este sistema funcionará como un tratamiento primario, el cual podrá ser complementado posteriormente con tratamientos secundarios.

Muro de contención. En cuanto al deslizamiento que se presenta en el costado occidental de la vía de acceso se recomienda la construcción de un muro en gaviones de dos cuerpos en una longitud de 63.0 m. El talud posterior al muro en gavión deberá

reconformarse, empradizarse y arborizarse, empleando en lo posible árboles que ayuden a la estabilización de la zona afectada.

La propuesta desarrollada para el sector por parte del grupo asesor en Urbanismo y Paisajismo, consiste en delimitar y diseñar una red de espacios públicos que logren la interacción de los ambientes en el sitio y de éste con sus vecinos. Una red que por supuesto dotará espacios comunales para el disfrute de sus habitantes. Para tal fin se proponen las siguientes acciones a seguir:

- Trazado de vías y andenes
- Definición de un parque a escala zonal
- Delimitación de la zona de ronda y de manejo y de preservación ambiental
- Arborización

Además de las medidas antes presentadas, el consorcio consultor recomienda reubicar las familias que se encuentra en la zona de riesgo 1 y 4. Estas familias se pueden ubicar en la parte alta de la zona en estudio, zona 5.

Las zonas 1 y 4, lo mismo que la zona de ronda, no deben utilizarse para construcción de viviendas sino para actividades de recreación pasiva. Su uso debe ser restringido.

Diques transversales en el río San Cristóbal. Una vez ejecutados las demás obras se deberá hacer un seguimiento de la estabilidad de la ribera izquierda del río, y en caso de continuar la inestabilidad deben construirse estas obras para darle más pata a los taludes de la ribera que se encuentran en situación inestable. Se propone la construcción de siete diques transversales a lo largo del río, separados entre 35 y 55 m, para que actúen como retenedores de sedimentos, proporcionando mayor peso en la pata del talud, reduciendo la pendiente del río y reteniendo materiales de arrastre. Estos diques serán en gavión colocados sobre un colchón Reno, debidamente anclados a las paredes laterales al cauce. Los diques actuarán como vertederos de cresta ancha, permitiendo el paso de las crecientes de período de retorno de 100 años. El efecto de estos diques es local para el tramo colindante con la zona estudiada, y aunque temporalmente retendrá sedimentos que accederían a la zona baja, este efecto desaparecerá en gran medida cuando se nivele el lecho del río entre los diques.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio es el resultado del trabajo de consultoría desarrollado por un grupo interdisciplinario de profesionales en la ladera sobre la cual se encuentra el barrio Laureles de la localidad de San Cristóbal, dentro del marco del contrato No. G-1135-179-98, celebrado entre el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE y el consorcio consultor CIVILES LTDA – HIDROCONSULTA LTDA.

El trabajo desarrollado tiene como objetivo estudiar la ladera occidental del río San Cristóbal, en la cual se encuentra el barrio Laureles, a fin de proponer las medidas correctivas y de mitigación tendientes a estabilizar la zona en estudio. El presente estudio se llevó hasta el nivel de diseño de las obras y medidas recomendadas para garantizar la estabilidad de la zona.

A lo largo del presente informe, se consignan los resultados obtenidos de las labores ejecutadas a lo largo del estudio. En campo se ejecutaron actividades tales como: levantamiento topográfico, geológico, exploración geotécnica y evaluación de las viviendas. La información recopilada de las anteriores actividades conjuntamente con la información acopiada de estudios realizados previamente en la zona, sirvió como base para los trabajos en oficina tales como: evaluación hidráulica e hidrogeológica de la zona y el río, evaluación geotécnica y geomecánica de los materiales de la zona, evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Después de identificar los diferentes fenómenos, su incidencia sobre la población y la infraestructura existente, se plantearon tres alternativas de solución.

El consorcio consultor recomienda emprender la tercera alternativa de solución, en la cual se recomienda construir diques transversales sobre el cauce del río; establecer, conservar y preservar la ronda del río; construir cunetas con filtros interceptores a fin de captar la escorrentía y el agua infiltrada en el fluviotorrencial. Para estabilizar la zona que presenta un deslizamiento en el costado occidental de la vía de acceso, se propone la construcción de un muro en gaviones y la reconformación, empradización y reforestación del talud. Adicionalmente se proponen obras complementarias, las cuales se presentan en el capítulo 10 del presente documento.

1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN Y ANTECEDENTES

El barrio Laureles está ubicado entre la transversal 9 este y la carrera 21B este, entre el río San Cristóbal y la diagonal 10, al suroriente de la capital, en los cerros orientales y sobre la margen izquierda del río San Cristóbal, frente a las instalaciones del batallón Escuela Logística del Ejercito, en la localidad de San Cristóbal, Figura No. 1.1.

Hasta el año de 1991 o 1992 en el sitio donde ahora se encuentra el barrio Laureles era ocupado por la finca Los Molinos, en la cual funcionó un galpón. Posterior al año 1991 se ha presentado la urbanización del sector, la cual en principio se concentró en las dos terrazas en las cuales estaban ubicados los galpones, sector entre la actual vía de acceso y el río. Posteriormente el proceso de urbanización se concentra en la parte alta del barrio.

Posterior al año 1991 se construyó una vía en afirmado por la margen izquierda del río desde el barrio Manila hasta las terrazas donde se encontraban los galpones. En la actualidad la vía ya no existe debido a los procesos de inestabilidad que se han generado sobre la margen izquierda del río.

Antes de iniciarse el proceso de urbanización de la zona se observaban algunos problemas de inestabilidad muy pequeños y localizados en la ronda del río. Posterior al asentamiento, estos problemas se han agravado como consecuencia de los vertimientos que los habitantes hacen de las aguas negras sobre la ladera, así como por las fugas de agua de las mangueras empleadas en el sector para conducir el agua potable.

El sector aledaño a la zona en estudio hasta el año de 1991 se observaba estable y sin problemas de deslizamientos. En la actualidad se observan una serie de deslizamientos que se han generado por la intervención antrópica de la ladera, factor que se considera detonante del problema. Debe anotarse que hasta el año de 1991 y según las fotos aéreas analizadas, en este sector y al oriente de la vía, se encontraba una pequeña laguna, la cual seguramente era alimentada por agua subsuperficial y algo de escorrentía, En algún momento las condiciones de la laguna fueron alteradas y la laguna desapareció, se considera que desde entonces y hasta la fecha el agua que alimentaba la laguna se infiltra en el terreno.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Caracterizar la zona en estudio desde el punto de vista geológico y geotécnico
- Identificar el régimen hidrogeológico de la zona en estudio.

- Ubicar y caracterizar los diferentes movimiento del terreno y zonas inestables que se están presentando en área objeto de este estudio.

- Identificar y ubicar las causas que han generado los fenómenos de inestabilidad y su evolución a lo largo del tiempo.

- Evaluar la zona en estudio a fin de identificar las diferentes fuentes de amenaza y su probabilidad de falla.

- Con base en la información acopiada determinar el grado de vulnerabilidad que exhiben las personas que habitan la zona en estudio así como la infraestructura presente en el barrio.

- Determinar los niveles de riesgo a los cuales están expuestos tanto las personas como la infraestructura.

- A partir de los análisis efectuados, plantear y diseñar soluciones preventivas y/o correctivas a los problemas de estabilidad que afectan la zona de estudio.

- Evaluadas las condiciones hidráulicas e hidrológicas de la zona en estudio, presentar soluciones acordes con las medidas geotécnicas propuestas para la estabilización de la ladera.

- Plantear un diseño paisajístico y urbanístico del sector a fin de integrar las obras propuestas con un mejor ordenamiento y aprovechamiento del espacio público y privado, con lo cual se busca brindar a al comunidad una mejor calidad de vida.

- Elaborar cantidades de obra, presupuestos y especificaciones técnicas de construcción de las alternativas de mitigación diseñadas.

1.3 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

Para lograr los objetivos propuestos se realizaron las siguientes actividades:

1.3.1 Marco General

1.3.1.1 Recopilación de información previa, clasificación y análisis

Se inició con la recopilación y clasificación de la información en los diferentes centros distritales de consulta y las entidades de orden regional y nacional en relación con el área en estudio.

Se llevaron a cabo encuestas en cada una de las viviendas del área en estudio. Con la información recopilada de esta actividad se identificó la tipología de vivienda existentes en la zona, así como de manera preliminar los diferentes fenómenos activos y de inestabilidad. Esta información permitió en primer lugar establecer la vulnerabilidad de las construcciones y, segundo, proporcionó elementos para el avalúo de las propiedades que se consideró necesario erradicar

1.3.1.2 Evaluación preliminar del riesgo zonal

Se llevó a cabo una identificación preliminar del tipo y concentración de fenómenos de inestabilidad existentes en la ladera, con lo cual se clasificó de manera global y preliminar el área en movimiento y las zonas aledañas. En esta evaluación preliminar se tuvieron en cuenta ante todo las condiciones morfológicas de la zona, las cuales resultaron muy útiles en la identificación de potenciales mecanismos de falla. Este trabajo permitió establecer de manera preliminar las zonas problema en las cuales se deberían concentrar los trabajos subsecuentes.

1.3.2 Análisis de Elementos Intrínsecos de Susceptibilidad de Inestabilidad

En esta etapa del proyecto se recopiló la información que permitió la identificación de los factores inherentes de inestabilidad del terreno.

1.3.2.1 Sensores remotos y cartografía

Se adquirieron las fotografías aéreas No. 1580 y 1581 del vuelo No R-1131 de 1990 y 1991, escala 1:500; No. 105 y 106 del vuelo No. C-1763 del 23 de julio de 1977, escala 1:7600. De igual manera se contó con la plancha M-31 del año 1974 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

1.3.2.2 Levantamiento Topográfico

Se realizó una topografía general entre el 21 febrero y el 25 de marzo de 1999 en la cual se levantaron 3078 puntos altimétricos y planimétricos. El levantamiento tuvo un error de cierre igual a 0.104 con una precisión de cierre igual a 1:12900. Este trabajó permitió el levantamiento local de tres (3) secciones topográficas para análisis de los principales mecanismos, y las tendencias de flujo superficial y profundo. La cartografía desarrollada, a escala 1:500, con curvas de nivel cada 1.0m, sirvió como base para la ejecución de las diferentes actividades así como para plasmar los resultados derivados de éstas mismas. Así mismo, permitió conjuntamente con la plancha IGAC evaluar el drenaje y las zonas de acumulación.

Para el procesamiento de la información se empleó el siguiente software

- TOPOGRAF. Para el cálculo de las coordenadas de los puntos levantados.
- EAGLE POINT. Para la interpolación de las curvas de nivel.

1.3.2.3 Geología e Hidrogeología

Se partió de la cartografía geológica existente y se complementó con la información acopiada de un análisis fotogeológico efectuado por el geólogo Pedro Hernández. En tal estudio se identificaron los contactos litológicos y su geometría, con lo cual se evaluó la posible influencia de tales rasgos sobre los fenómenos evidentes de inestabilidad. Posteriormente se verificó y complementó esta información en el campo con los datos acopiados durante la exploración geotécnica. Como resultado de las labores geológicas se produjeron los planos de levantamiento geológico regional a escala 1:2000, y locales de la zona a escala 1:500, cortes geológicos y una memoria específica de la disciplina.

Se identificaron cursos existentes, afloramientos de agua, acuíferos, zonas de empozamiento e infiltración, con lo cual se propusieron modelos hidrogeológicos de la ladera que permitieron relacionar la presencia de agua en las zonas inestables con la existencia de rasgos estructurales en los macizos rocosos, así como la presencia de materiales permeables. Como resultado de esta actividad se identificaron detalles geológicos e hidrogeológicos de las masas en movimiento, con lo cual se pudo interpretar la posible influencia de estos aspectos sobre los fenómenos de inestabilidad.

1.3.2.4 Geomorfología

A partir del análisis de fotografías aéreas se identificaron las formas generales del relieve. Adicionalmente se estudió la evolución de cauces y corrientes, en particular la evolución que ha tenido del río San Cristóbal. Tales observaciones se comprobaron en campo. Como resultado de esta actividad se identificaron los procesos modeladores de las geoformas actuantes en la zona y su incidencia sobre la estabilidad. Se identificaron las áreas expuestas y sometidas a erosión y el grado de afectación de las mismas, de manera que esta información se plasmó en los planos de geología ya referidos.

1.3.2.5 Uso de la tierra

Con base en la información acopiada se identificó sobre la cartografía las áreas pobladas y tipos de construcciones, zonas verdes, áreas con vegetación y tipos, áreas sometidas a erosión, zonas de rellenos y vertimientos. Esta información se tomó en consideración para apreciar su influencia sobre los fenómenos manifiestos de inestabilidad y sobre la degradación del medio geosférico. Así mismo se empleó en la delimitación de las zonas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, y en la identificación de las viviendas que se recomienda reubicar y de las zonas que deben conservarse sin construcciones.

1.3.3 Identificación de Zonas Inestables

La información allegada en las etapas anteriores se estudió y evaluó de manera conjunta por todas las disciplinas que intervinieron en el estudio, obteniendo como resultado la identificación de los diferentes sectores en los cuales se presentan situaciones de inestabilidad y en los cuales se concentraron las actividades posteriores del estudio tales como: análisis y zonificación de amenaza, análisis de vulnerabilidad, evaluación de riesgo y planteamiento de las diferentes medidas de mitigación, prevención y control.

1.3.4 Evaluación de Agentes Detonantes

Paralelamente con la línea metodológica anterior, se llevó a cabo la evaluación de aquellos factores que inciden de manera particular en la generación de fenómenos de inestabilidad, tales como:

1.3.4.1 Aspectos climáticos, hidrológicos y meteorológicos

El levantamiento de la red hidrológica se realizó interdisciplinariamente entre los grupos de hidrología y geología. Se identificaron los cursos de drenaje. Se colectaron los datos de pluviosidad de estaciones en el área de estudio y en zonas aledañas. Con esta información se complementaron las series de los estudios hidrológicos existentes y se prepararon curvas de intensidad - duración - frecuencia. Utilizando modelos adecuados para el sitio de acuerdo con su cobertura se estimaron caudales de escorrentía.

1.3.4.2 Aspectos sismológicos

Se estudió la posible influencia de solicitaciones cíclicas debidas a eventos sísmicos, a partir de los análisis de microzonificación sísmica efectuados por INGEOMINAS y la Universidad de Los Andes. El resultado de estos análisis consistió en el planteamiento de aceleraciones que se usaron en la modelación seudoestática de los taludes y de la ladera.

1.3.4.3 Erosión

Se identificaron y cartografiaron aquellos lugares en los cuales se presentan fenómenos de erosión así como formación de cárcavas. Se destaca que los fenómenos de erosión son de carácter laminar muy localizados, tanto en la parte superior del depósito fluviotorrencial (Zona 1A) como en un sector al suroccidente de la zona morfodinámica 2A.

Este trabajo conjuntamente con el establecimiento de los diferentes fenómenos de remoción en masa, permitieron establecer las diferentes zonas morfodinámicas y a su vez las de amenaza.

1.3.4.4 Factores Antrópicos

Se localizaron y cartografiaron todos aquellos factores controlados por el hombre que generan procesos de inestabilidad como rellenos, cortes, conexiones o descargas inapropiadas de agua tanto potable como servida.

La ubicación e identificación de estos elementos permite complementar los modelos geotécnicos e hidráulicos empleados en la evaluación de estabilidad de los diferentes sectores definidos previamente.

A la vez, estos elementos y su ubicación se tienen en cuenta para el planteamiento de las soluciones.

1.3.5 Caracterización Geotécnica de los Materiales

A partir de la información preliminar y con el propósito de identificar los materiales existentes en la zona se llevó a cabo una exploración geotécnica compuesta por 5 sondeos con equipo de accionamiento manual y tres trincheras. La localización de los lugares donde se efectuaron los sondeos y trincheras se indica en los planos No. 1 y 2. A fin de complementar la información acopiada de los trabajos anteriores se llevó a cabo una exploración geoeléctrica cuyos resultados se presentan en el anexo No.4 y en el plano No. 3.

Durante los trabajos en campo se llevaron a cabo ensayos mecánicos tales como:

Resistencia a la penetración inalterada con el penetrómetro de bolsillo
Ensayo de penetración estándar

De igual manera se recuperaron muestras inalteradas mediante el tubo de pared delgada y en bloque, remoldeadas mediante la cuchara partida y en bolsa. A estas muestras se les practicaron ensayos en laboratorio tales como:

De clasificación:

Límites de Atterberg
Humedad natural
Peso unitario

De resistencia:

Compresión inconfinada
Corte directo

Los resultados de estos ensayos se presentan en los formatos respectivos del anexo No. 3 y en las gráficas No. 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4.

La determinación de los parámetros de resistencia del depósito fluviotorrencial se llevó a cabo mediante ensayos de corte directo sobre probetas elaboradas con el material fino de este depósito, compactadas a una energía igual a la empleada en el ensayo Proctor Estándar.

1.3.6 Evaluación de Estabilidad

Reuniendo los datos topográficos, geológicos, geomorfológicos y la caracterización geotécnica, se realizaron análisis generales de estabilidad para secciones típicas de la ladera mediante el programa PCSTABLE. Este análisis permitió ratificar la inestabilidad observada en algunos sectores del área en estudio.

El programa Pcstable también fue empleado durante el proceso de identificación de las zonas de amenaza y su respectiva probabilidad de falla.

1.3.7 Análisis y Zonificación de Amenaza

Con base en el plano de Zonificación Morfodinámica del área en estudio, se identificaron los diferentes movimientos, los cuales permitieron identificar de manera previa las zonas de amenaza. Posteriormente se evaluó la estabilidad de cada una de estas zonas. De este análisis se identificó que en la zona comprendida entre el río y la vía de acceso al barrio, se podría generar un deslizamiento de carácter retrogresivo.

Para modelar esta situación se corrió el programa Pcstable para cada una de las tres secciones levantadas por la comisión de topografía sobre esta área. El procedimiento seguido para cada sección fue el siguiente:

Se definió una primera superficie de falla mediante el programa Pcstable, la cual corresponde a la superficie mas crítica identificada por éste en la primera corrida. Después se determinó el factor de seguridad ante deslizamiento para esta superficie y para un rango de valores establecidos, tanto en condición estática como dinámica y en condición de lluvia y sin ella. La condición de lluvia fue simulada con un nivel freático mas alto del encontrado durante la exploración geotécnica. Esta suposición y la altura del nivel se hizo considerando el tipo de material superficial correspondiente al depósito fluviotorrencial.

Se supuso que el material que involucraba la superficie anterior ya no aportaba resistencia, por lo cual, se elaboró un nuevo perfil en el cual este material se retiró. Con este perfil se volvió a correr el programa Pcstable mediante el cual se estableció otra superficie de falla, con la cual se determinó el factor de seguridad para el rango de valores de los parámetros de resistencia establecidos previamente, considerando también condición estática, dinámica, con lluvia y sin ella.

Nuevamente se supone que el material involucrado no aporta resistencia, y se elabora un nuevo perfil con el cual se repite el ejercicio anterior.

A cada superficie analizada se le determinó la probabilidad de falla empleando para ello tres distribuciones probalísticas, lognormal, normal y Weibull. De los valores determinados con estas distribuciones se tomó el mayor de ellos. Como la probabilidad de falla de la segunda cuña depende de la falla de la primera, este valor se obtiene de multiplicar la probabilidad de falla de la primera superficie de falla por la probabilidad de falla de la segunda. El valor de la probabilidad de colapso para una tercera cuña se determina multiplicando las probabilidades determinadas para las tres primeras superficies de falla. Esta metodología se empleó en los tres perfiles.

Posterior al paso anterior, se identificaron en planta los ápices de cada una de las superficies de falla analizada, ejercicio que conjuntamente con los valores de probabilidad establecidos permitió identificar dos zonas de amenaza comprendidas entre la vía de acceso y el río San Cristóbal.

Se determinó una tercera zona de amenaza, la cual corresponde al sector en el cual se observa un proceso de remoción en masa ubicado en el costado occidental de la vía de acceso al barrio. La probabilidad de falla de esta zona se determinó empleando los factores de seguridad encontrados al analizar mediante el programa PCSTABLE la superficie de falla mas crítica para este sector, dentro de un rango de valores de los parámetros de resistencia establecidos previamente. Se emplearon las distribuciones de probabilidad Lognormal, normal y Weibull. De los valores encontrados mediante estas probabilidades se adoptó el mayor de ellos como la probabilidad de falla de la zona.

A fin de incluir dentro de los análisis de riesgo el sector que limita por el suroriente con la zona en estudio se delimitó la zona de amenaza 4. A esta zona se le asignó un valor de probabilidad igual al determinado para la zona 1 de amenaza, considerando que las dos zonas son similares en cuanto a la patología de deslizamientos que presentan.

1.3.8 Análisis de Vulnerabilidad

Después de determinar las diferentes zonas de amenaza existentes en la zona, se estudió la exposición antrópica, de viviendas y demás obras de infraestructura ante estas zonas.

El nivel de vulnerabilidad se determinó mediante la metodología de Leone (1996), la cual se encuentra consignada en el artículo que hace referencia a este tema en el estudio elaborado por la firma Ingeocim Ltda, “Zonificación de riesgos por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santafé de Bogotá”.

Para determinar el nivel de vulnerabilidad de la zona se siguió el siguiente procedimiento:

- Cálculo del Indice de Vulnerabilidad Física
- Cálculo el Indice de Vulnerabilidad Social
- Cálculo del Indice de Vulnerabilidad General y Definición del Nivel de Vulnerabilidad.

Cálculo del Indice de Vulnerabilidad Física (IVF).

Generalidades: El cálculo del IVF se basó en la metodología propuesta por Leone (1996), en la cual debe tenerse en cuenta la tipología de las viviendas, el tipo de movimiento que se está presentando y la intensidad de la solicitación. Por último es necesario conocer el nivel de daño que podrían sufrir las construcciones.

Tipología de las viviendas. Para determinar este índice es necesario conocer el tipo de viviendas del sector, para lo cual se emplea el siguiente cuadro, en el cual se consigna la clasificación establecida por Leone (1996):

CUADRO No. 1.1 TIPOLOGÍA DE VIVIENDA

TIPO DE VIVIENDA	DESCRIPCIÓN
B1	Tugurios (Ranchos).
B2	Casas en mampostería o prefabricados.
B3	Castas de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura)
B4	Castas de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura)

Solicitaciones. Es necesario conocer además el tipo de solicitación a la cual se encuentran expuestas las casa, que de acuerdo con la metodología planteada por Ingeocim Ltda y para el caso del barrio Laureles se presenta un deslizamiento de carácter lento.

Nivel de Daño. Conocido el tipo de solicitación que afecta los diferentes predios, se debe determinar el nivel de daño al cual estarían expuestas las viviendas ante el evento que se presentaría.

En vista de la escasa información existente al respecto y por lo cual no es posible llegar al nivel de detalle establecido por Leone (1996), se decidió emplear la matriz generada por el estudio de Ingeocim Ltda, en la cual se relaciona el tipo de solicitación con la tipología de las viviendas para determinar el nivel de daño de la edificación. Como el tipo de solicitación establecida para el proyecto es un deslizamiento, en el siguiente cuadro se ilustra la parte de esta matriz que es relevante para el objetivo que se busca:

CUADRO No. 1.2 MATRIZ CUALITATIVA DE DAÑOS EN VIVIENDAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, PARA EL CASO DE DESLIZAMIENTOS.

EVENTO	SOLICITACIÓN		TIPOLOGÏA DE VIVIENDA			
			B1	B2	B3	B4
Deslizamiento o flujo	Rapidez del movimiento	Lento	Alto	Medio	Medio	Bajo
		Rápido	Alto	Alto	Alto	Alto

Cálculo de Índice IVF. En el cuadro siguiente, el cual fue tomado del estudio efectuado por Ingeocim Ltda, se establecen los valores extremos, máximos y mínimos, del IVF con respecto al nivel de daño. El consorcio consultor aclara que empleó este cuadro teniendo

en cuenta las mismas condiciones consideradas por Ingeocim Ltda, y que a continuación se enuncian:

- Se asumió un valor de confianza de 1.0, con lo cual los valores del IVF se hicieron iguales que los porcentajes de daño asociados con las intensidades de daño del DRM. Valores que se encuentran establecidos en la metodología del estudio de Ingeocim Ltda y que no se presenta en este informe, pues es imposible usarlo en el estudio.
- Para evitar un traslapo de ente las categorías del nivel de daño y aumentar la sensibilidad del modelo se aumentaron los valores mínimos del IVF.
- Como no se cuenta con los registros de los cuales Leone obtuvo sus índices, se tomó un valor de nivel de confianza de la variable del IVF igual a 0.5

CUADRO No. 1.3 NIVELES DE DAÑO ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ, INGEOCIM LTDA (1998)

NIVEL DE DAÑO	MÍNIMO	MÁXIMO
Bajo	0.1	0.4
Medio	0.4	0.8
Alto	0.8	1.0

Cálculo del Indice de Vulnerabilidad Social (IVS).

Generalidades. Debe tenerse en cuenta que los análisis de vulnerabilidad deben hacerse tanto en función de la valoración física de los daños que sufrirían las viviendas ocurrido algún fenómeno de inestabilidad (IVF), como de las características de la comunidad que se ve afectada por tales eventos (IVS).

En general el IVS se relaciona con la carencia de la comunidad en servicios, vivienda y características de la comunidad, las cuales se pueden expresar en función del Índice General de carencias.

La información relevante al respecto se obtuvo mediante encuestas diseñadas por el FOPAE y aplicadas por el consorcio consultor a la comunidad. Al respecto el consultor aclara que en las encuestas no se tiene en cuenta aspectos importantes para el establecimiento del IVS como las actividades desarrolladas por las personas y el grado de ocupación de los habitantes de las viviendas, por lo cual, estos no fueron considerados en el análisis.

Cálculo del Índice General de Carencias. Para determinar este índice se tuvieron en cuenta las carencias de la comunidad en cuanto a los servicios de energía, acueducto, alcantarillado y comunicaciones. De igual manera se tuvo en cuenta el tipo de vivienda y hogares sin vivienda, esta información se extractó de las encuestas aplicadas.

La evaluación del IGC se hizo al nivel de manzana y para lo cual se contó con las siguientes variables.

CUADRO No. 1.4 VARIABLES EMPLEADAS EN LA DETERMINACIÓN DEL IGC.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Energía	Porcentaje de viviendas por manzana que no poseen el servicio de energía eléctrica.
Acueducto	Porcentaje de viviendas por manzana que no poseen el servicio de acueducto.
Alcantarillado	Porcentaje de viviendas por manzana que no poseen el servicio de alcantarillado.
Teléfono	Porcentaje de viviendas por manzana que no poseen el servicio de teléfono.
Tipo de vivienda	Porcentaje de viviendas por manzana con características inadecuadas de construcción, del tipo B1.
Hogares sin vivienda	Porcentaje de hogares por manzana que no poseen vivienda propia.

Cada uno de los porcentajes anteriores se normaliza mediante la siguiente expresión.

$$Zij = \frac{(Xij - minXij)}{(maxXi - minXi)} \quad (1.1)$$

Zij = Valor normalizado de la variable “i” en el sector “j”
Xij = Valor de la variable “i” en el sector “j”
min Xi = Valor mínimo de la variable “i” en la muestra
max Xi = Valor máximo d la variable “i” en la muestra

Las anteriores variables normalizados se agruparon en dos índices de la siguiente manera:

CUADRO No. 1.5 VARIABLES POR INDICES PARA DETERMINAR EL IGC.

INDICE	VARIABLES
Índice de carencia en servicios (ICSer).	Energía Acueducto Alcantarillado Teléfono
Índice de carencias en vivienda (ICViv).	Tipo de vivienda Hogares sin vivienda

El valor de cada índice es la media aritmética de la variable normalizadas agrupadas.

Cálculo del Índice IGC. El valor del IGC es el promedio aritmético de los anteriores índices normalizados, para lo cual se emplea la expresión 1.1, así:

$$IGC = \frac{zICSer + zIGViv}{2} \quad (1.2)$$

donde:

zICSer = Indice de Carencias de Servicios normalizado.
zICVic = Indice de Carencias de Vivienda.

A continuación se presentan las categorías del IGC normalizado, tomadas del estudio ejecutado por Ingeocim Ltda.

CUADRO No. 1.6 CATEGORÍAS DEL IGC SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ, INGEOCIM LTDA (1998)

CATEGORÍA DEL IGC	PERCENTIL	CONDICIÓN
Muy bajo	0% - 25%	zIGC < 0.10
Bajo	25% - 50%	0.10 < zIGC <0.18
Medio	50% - 75%	0.18 < zIGC <0.44
Alto	75% - 80%	0.44 < zIGC <0.57
Muy Alto	80% - 100%	ZIGC > 0.57

Cálculo del Índice IVS. Una vez determinada la categoría del IGC, el IVS se establece mediante el uso del siguiente cuadro:

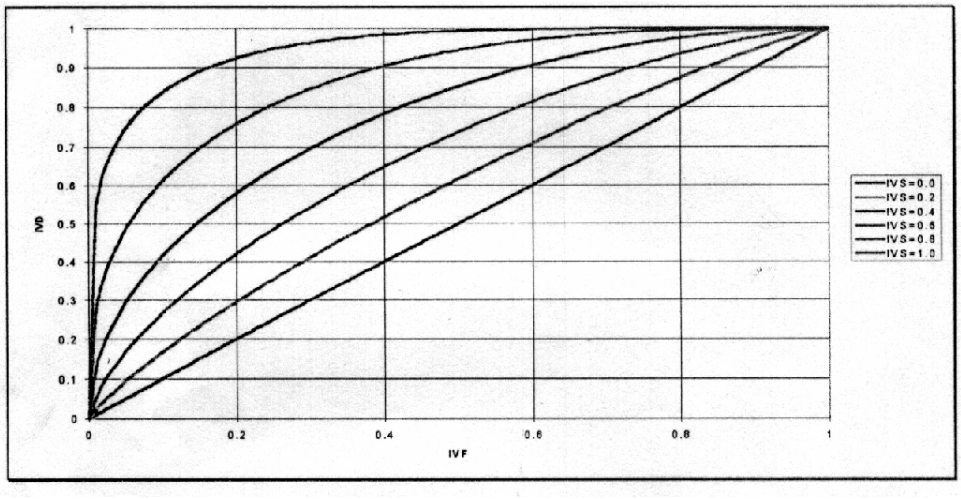
CUADRO No. 1.7 VALOR DEL IVS PARA DIFENTENTES CATEGORIAS DEL IGC

CATEGORÍA DEL IGC	VALOR MÍNIMO IVS	VALOR MÁXIMO DEL IVS
Muy bajo	0.0	0.2 + 0.1*(1-Cfs)
Bajo	0.2 – 0.1*(1-Cfs)	0.4 + 0.1*(1-Cfs)
Medio	0.4 – 0.1*(1-Cfs)	0.6 + 0.1*(1-Cfs)
Alto	0.6 – 0.1*(1-Cfs)	0.8 + 0.1*(1-Cfs)
Muy Alto	0.8 – 0.1*(1-Cfs)	1.0

Cálculo del índice de Vulnerabilidad por Deslizamiento.

El valor del Índice de Vulnerabilidad por Deslizamiento se calcula empleando los dos índices anteriormente definidos IVF e IVS, empleando para ello la gráfica No. 1.1, la cual fue elaborada para un coeficiente de confianza de la variable IVS de 0.8. Esta gráfica se tomó de la metodología planteada por Ingeocim Ltda en su estudio de Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá.

GRÁFICA No. 1.1 CÁLCULO DEL IVD DADOS IVF E IVS, CON UNA IMPORTANCIA DE 0.8



Una vez conocido el IVD, es necesario establecer los índices de perdidas, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

Cálculo de los Índices de Pérdidas.

Para este estudio se establecieron dos índices, el primero de ellos el Índice de Perdidas Económicas (IPE) y el otro el Índice de Personas afectadas (IPA).

Índice de Pérdidas Económicas (IPE)

Las pérdidas económicas en un predio están directamente relacionadas tanto con su vulnerabilidad física (IVF) como con su vulnerabilidad ante el deslizaamiento (IVD). Por lo cual, el IPE se establece como el producto de los dos índice definidos previamente así:

$$IPE = IVF * IVD \quad (1.3)$$

Índice de Personas Afectadas (IPA)

En este caso se considera que el grado de personas afectadas esta directamente relacionado tanto con su incapacidad social para afrontar un dislizamiento como con la vulnerabilidad al deslizamiento a la que están expuestos, por lo cual el IPA se determina de la siguiente manera:

$$IPA = IVS * IVD \quad (1.4)$$

Adicional a los índices antes definidos, se determinó un tercere, el Índice de Pérdidas Global (IPG). El valor de este índice es el promedio de los dos anteriores es decir:

$$IPG = \frac{IPE + IPA}{2} \quad (1.5)$$

El grado de vulnerabilidad de cada una de las viviendas se establece conociendo el IPG y comparando su valor en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 1.10 CATEGORIAS DE LA VULNERABILIDAD

RANGO PARA EL IPG	CATEGORÍA
IPG < 0.125	MUY BAJA
0.125 < IPG < 0.375	BAJA
0.375 < IPG < 0.625	MEDIA
0.625 < IPG < 0.875	ALTA
IPG > 0.875	MUY ALTA

1.3.9 Evaluación de Riesgo

Para determinar el nivel de riesgo de cada una de las viviendas en el sector de estudio, se hace necesario determinar los índices de riesgo asociados a las perdidas económicas y al número de personas afectadas así:

CUADRO No. 1.10 VARIABLES E ÍNDICES DE RIESGO

VARIABLE	PARÁMETRO CUANTIFICADO	ÍNDICE
Valor del predio	Valor del predio incluidos los enceres	IRE
Habitantes	Número de habitantes por vivienda	IRA

El valor de los índices definidos se obtiene al multiplicar la probabilidad de falla de la zona que amenaza la vivienda por el respectivo índice de pérdida.

1.3.9.1 Nivel de Riesgo

El nivel de riesgo de cada una de las viviendas se establece únicamente con base en el Índice de Riesgo Económico IRE, para lo cual se emplea el siguiente cuadro:

CUADRO No. 1.11 CATEGORIAS DEL RIESGO

RANGO PARA EL IRE	CATEGORÍA
IRE< 0.125	MUY BAJA
0.125 < IRE < 0.375	BAJA
0.375 < IRE < 0.625	MEDIA
0.625 < IRE < 0.875	ALTA
IRE > 0.875	MUY ALTA

1.3.10 Número de Personas afectadas

De manera complementaria dentro de la determinación del nivel de riesgo se ha estimado el número de personas que se verían afectadas. Este valor se define como el producto del número de personas que habitan la vivienda por el Índice de Riesgo de Personas Afectadas (IRA).

1.3.11 Calificación y Planteamiento de Medidas de Mitigación

La zonificación realizada por riesgos se analizó a la luz de los criterios ingenieriles buscando medidas capaces de atenuar los factores de riesgo con medidas preventivas, correctivas y de control, orientadas a atenuar la amenaza o reducir la vulnerabilidad.

Las medidas preventivas se orientaron a evitar y/o minimizar el riesgo ante los eventos que se generarían por el colapso de los ya existentes. Dentro de estas medidas se consideró la posibilidad de reubicar algunas personas que se encuentran en zonas con niveles de riesgo alto.

También se consideraron las medidas ingenieriles tendientes a aumentar la resistencia y/o reducir la amenaza. Se realizaron entonces diseños de obras de ingeniería para analizar su factibilidad económica y técnica. De otra parte, en zonas de bajo riesgo, o de alta amenaza pero sin presencia de elementos expuestos, se consideró pertinente destinarlas para zonas como parques a fin de evitar asentamientos humanos que pueden comprometer la estabilidad de la zona o aumentar el nivel de riesgo.

De esta actividad se realizaron planos de localización y construcción, especificaciones técnicas, cantidades de obra y presupuesto de las obras ya citadas.

1.3.12 Estudio de Rehabilitación

Se estudiaron y diseñaron medidas tendientes a la rehabilitación del área tanto desde la óptica de estabilidad como desde el punto de vista de su integración paisajística, obteniendo como resultado un plano del planteamiento paisajístico y mejoras urbanas, el cual es resultado del concurso de todas las disciplinas que intervinieron en el proyecto.

1.3.13 Informe y Planos

Como resultado del estudio realizado por el consorcio, se presenta el siguiente informe en el cual se relacionan las actividades realizadas y los productos obtenidos de cada una de ellas, los cuales se reflejan en la siguiente cartografía:

PLANO No.	NOMBRE	ESCALA
01	Plano Topográfico	1:500
02	Plano Geológico Local	1:500

02A	Plano de zonificación morfodinámica	1:500
03	Plano Geológico Regional	1:2000
04	Perfil Geológico Sección 1-1´	H=V=1:500
05	Perfil Geológico Sección 2-2´	H=V=1:500
06	Perfil Geológico Sección 3-3´	H=V=1:500
07	Perfil Geoeléctrico	H=V=1:500
08	Plano de Zonificación por Amenaza	1:500
09	Plano de Zonificación por Riesgo	1:500
10	Localización Obras Hidráulicas	1:500
11	Planos de Construcción de Obras Hidráulicas	VARIAS
12	Secciones Transversales del río San Cristóbal	VARIAS
13	Diseño Urbanístico y Paisajístico	1:500

1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO.

El estudio se llevó hasta la etapa de zonificación por amenaza y riesgo del área en estudio. De igual manera, se llevó hasta el nivel de diseño las obras recomendadas para mitigar los problemas de inestabilidad de la ladera.

Definidas y diseñadas todas la obras y acciones a seguir para estabilizar el sector, se llevó a cabo una evaluación socioeconómica de las posibles alternativas a emprender, de las cuales el consorcio consultor recomienda emprender la mas viable tanto desde el punto de vista técnico como socioeconómico.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO.

Con el propósito de identificar los diferentes procesos de inestabilidad en la zona en estudio, ésta se dividió en dos zonas: La primera de ellas es la ubicada en la parte alta del barrio, entre la vía de acceso y el límite occidental del área. La otra zona, parte baja, es la comprendida entre el río San Cristóbal y la vía de acceso.

En la parte alta del barrio se observa un deslizamiento de carácter rotacional y retrogresivo concentrado en un sector aledaño a la escuela del barrio y sobre el talud de la margen occidental de la vía de acceso. Se considera que este fenómeno de inestabilidad se debe al corte efectuado para la construcción de la vía, ya que este fenómeno se observa en las fotos aéreas de 1977, y se ha agravado por efecto del agua infiltrada tanto de la escorrentía como del agua lluvia infiltrada que escurre a través del fluviotorrencial desde la parte más alta.

En esta zona se identificaron dos sitios afectados por erosión laminar y formación de algunos surcos. Este fenómeno no es determinante en la estabilidad actual del terreno ya que la afectación por este efecto es mínima. Sin embargo dentro de las medidas de mitigación se plantea la necesidad de reforestación y empradización, con lo cual se mitigará este fenómeno.

En la zona baja se observan varios deslizamientos de carácter rotacional que afectan la margen izquierda del río San Cristóbal. Por lo observado en las fotos aéreas estos problemas se han generado a causa de los materiales botados por los habitantes de la zona como producto de las excavaciones hechas en sus predios, por las aguas que se acumulan y escurren superficialmente, así como por las infiltradas en el subsuelo; por último, la socavación que el río ejerce en la base del talud de la ribera es otro aspecto que se considera ha generado inestabilidad en ella.

Desde los inicios de la urbanización, el sector no ha contado con sistemas de acueducto y alcantarillado adecuados. Los sistemas actuales fueron construidos por los habitantes del barrio. Se pudo constatar que presentan muchas fugas de agua que se infiltran en el subsuelo, así como que la descarga de aguas servidas se hace directamente sobre la ladera que sirve como ronda del río, donde una parte de esta agua se infiltra incrementando la saturación del material que constituye la ribera, y el resto escurre superficialmente hasta el río.

La situación del sistema de conducción del agua potable es muy similar al de las aguas servidas, donde el agua se conduce por mangueras superficiales hasta las casas. Estas mangueras presentan una serie de conexiones muy rudimentarias a través de las cuales el agua se escapa y cae directamente sobre la ladera infiltrándose en el subsuelo.

Con base en la evaluación de amenaza, los predios ubicados en cercanías del cauce del río están expuestos a un deslizamiento de carácter retrogresivo, el cual puede avanzar hasta alcanzar la vía de acceso al barrio, con lo cual todas las viviendas de esta zona, se verían afectadas.

En el análisis de riesgo se puede constatar que a pesar de los niveles de amenaza y vulnerabilidad (alto a muy alto) establecidos para la zona en estudio, las viviendas ubicadas en la parte baja del barrio son las de mayor riesgo, y de estas, las ubicadas en la ribera del río y frente al deslizamiento de la vía de acceso.

3 GEOLOGÍA

El terreno donde se ubica el barrio Los Laureles Suroriental está sobre la ladera, inmediatamente al sur del cauce del Río San Cristóbal, y va hasta la divisoria de aguas local que existe en el sector y hace parte de los Cerros del Suroriente de la Ciudad.

3.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES

3.1.1 Estratigrafía del sector.

Estos cerros, del Barrio Los Laureles hacia arriba, están constituidos por rocas sedimentarias pertenecientes al Grupo Guadalupe y a la Formación Guaduas. Esta secuencia está en posición normal. Además existen depósitos recientes, dentro de los cuales se destacan depósitos de origen fluviotorrencial y terrazas asociadas a la dinámica del Río San Cristóbal. Todo esto se ilustra en la Figura 4.1a y b.

Grupo Guadalupe: Con base en la expresión morfológica de la ladera norte del valle del Río San Cristóbal, se considera que en este sector afloran, en sentido oeste – este, las formaciones Arenisca de Labor. Plaeners y Arenisca Dura.

Formación Guaduas (Tkgu): Está constituida en el sector por potentes paquetes de arcillolitas, de color gris o abigarrado, y existen algunas intercalaciones de estratos de arenisca de color amarillo claro. La parte más superficial de estos materiales está moderadamente meteorizada.

Sobre esta formación se realizó alguna actividad minera en el pasado, en un área, hacia aguas arriba, un poco al sureste del sector cartografiado.

Depósitos Recientes (Qfg y Qt): Son materiales que se encuentran recubriendo parcialmente al Grupo Guadalupe y de una manera más amplia a la formación Guaduas. Básicamente son depósitos de origen fluvitorrencial y aluvial.

Los depósitos fluviotorrenciales (Qfg) cartografiados hacen parte de un gran relleno que bajo de los cerros surorientales y recubrió una gran extensión del Guaduas. Sus rasgos litológicos se describen en el numeral 4.2.Una parte del Barrio los Laureles está localizado sobre este material.

Los depósitos de origen aluvial (Qt), son el resultado de la actividad propia del Río, de manera que se les encuentra organizados en varios niveles de terrazas, y de estos el más inferior está en un proceso avanzado de destrucción.

3.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS LOCALES.

3.2.1 Introducción.

El barrio Los Laureles está ubicado sobre la ladera sur del valle del Río San Cristóbal, de manera que las viviendas actuales se localizan en la parte media y baja de esta ladera, y en el sitio donde culmina, hacia el sur, el área construida se encuentra el cauce de una pequeña cañada de régimen intermitente la cual fluye hacia el noreste y entrega sus aguas al Río.

La parte de mayor densidad de viviendas está localizada sobre los dos niveles superiores de terrazas y otras viviendas se ubican sobre el depósito fluviotorrencial.

Las principales manifestaciones de inestabilidad se localizan sobre la margen sur, en las vecindades del cauce del Río.

3.2.2 Rasgos Litológicos del área de estudio.

Claramente se distinguen dos clases de materiales de origen sedimentario, así:

Depósito reciente de origen fluviotorrencial (Qft). Este material sirve de terreno de fundación a la gran mayoría de las viviendas que existen a la fecha en el sector. Litológicamente está constituido por fragmentos subangulares a subredondeados de arenisca cuarzosa, gris clara, grano fino, cemento silíceo; estos fragmentos varían en tamaño desde bloques de diámetro mayor a 1 m a clastos tamaño grava, predominando los tamaños de menor diámetro. La matriz es arena limosa preferencialmente, de color gris claro; el cementante es débil por lo cual las partículas son fácilmente disgregables.

Se destaca en este material su permeabilidad y la facilidad con la que el agua de escorrentía, por el alto gradiente del terreno, le produce erosión laminar y surcos que poco a poco pueden evolucionar a cárcavas.

Su espesor es variable desde pocos centímetros a varios metros, pero fue necesario precisarlo mejor mediante exploración geoeléctrica y la ejecución de algunos apiques.

Formación Guaduas (Tkgu). La mejor exposición de estas rocas sedimentarias se encuentra hacia el oriente del Barrio, en el corte dejado por un carreteable que asciende hacia el sureste de la montaña. Allí se aprecia que la litología predominante es la arcillolita de color rojizo a abigarrado, en potentes paquetes, y localmente se observan dos paquetes delgados de arenisca cuarzosa débilmente cementadas, de grano fino y estratificación delgada. Cada uno de estos paquetes de arenisca tiene espesor de 3 m y están separados por un paquete de arcillolitas de 8 m de espesor. Esta secuencia esta

recubierta por el depósito fluviotorrencial anteriormente descrito. Los otros sitios de afloramiento encontrados, son pequeñas ventanas ubicadas hacia el borde del cauce del Río y en la parte media del Barrio, como se aprecia en el Mapa Geológico. Las arcillolitas en el contacto con el fluviotorrencial están meteorizadas.

3.2.3 Características estructurales.

Lo primero que se destaca es la presencia de una superficie de discordancia que sirve de contacto entre el fluviotorrencial y la Formación Guaduas, por ella se presentan algunos pequeños flujos de agua que se almacenan e infiltran a través del depósito fluviotorrencial. De otra parte, los estratos del Guaduas poseen orientación N 50 W /60 NE. Además la masa rocosa está afectada por dos familias de diaclasas, observables en los paquetes de areniscas; las tendencias de ellas son N 75 E / 87 SE, N 08 E /37 NW respectivamente.

Otra característica que sobresale es la presencia de una falla geológica a lo largo del valle del Río San Cristóbal. Esta falla tiene movimiento preferencial en el rumbo y trunca la continuidad del Guaduas hacia el norte y lo pone en contacto con el Grupo Guadalupe, esto como consecuencia del desplazamiento del bloque estructural norte hacia el occidente.

3.3 MODELO HIDROGEOLÓGICO.

Para el desarrollo de un posible modelo hidrogeológico del área de estudio se han evaluado los siguientes aspectos:

3.3.1 Clases de materiales.

De acuerdo con las características, litológicas y permeabilidad cualitativa, del relleno fluviotorrencial y de las arcillolitas con sus diferentes grados de meteorización, desde el punto de vista hidrogeológico estos materiales se les puede clasificar así:

Acuiferos. A esta clase pertenece el relleno fluviotorrencial, y por estar aflorando en la superficie del terreno se le considera como un acuifero libre
Acuiclusos. En esta clase se encuentran las arcillolitas.

3.3.2 Áreas de recarga.

De acuerdo con la cartografía geológica regional el relleno fluviotorrencial tiene una extensión importante hacia el sur, la dirección de movimiento de la avalancha que dio origen al relleno fluviotorrencial fue sur – norte, siguiendo la pendiente topográfica del paleorelieve que fue cubierto y relleno por el material fluviotorrencial. Este paleorelieve en

el área de estudio y sus alrededores está modelado sobre las arcillolitas de la Formación Guaduas. La función de este lecho de arcillolitas, dentro del modelo hidrogeológico, es la de una frontera impermeable.

El área de recarga del acuifero se localiza hacia el sur y suroeste de los cerros, y la dirección de flujo es hacia el norte y noroeste, pero específicamente el flujo de agua subterránea hacia el terreno de estudio es interrumpido por la presencia de cañadas que erodaron el fluviotorrencial y dejaron aflorando las arcillolitas (ver Plano 02). Esto explica la presencia permanente de agua en las arcillolitas de la cañada que limita el área de estudio por el costado sureste, en tanto que, en la porción del fluviotorrencial existente dentro del terreno estudiado no hay afloramientos de agua subterránea. Hay otro hecho que restringe la presencia de agua subterránea, y es la vecindad de la divisoria de aguas, por el costado suroeste y, de acuerdo con la exploración geoeléctrica, en ese sector el paleorelieve tiene inclinación hacia el suroeste, motivo por el cual no hay posibilidad de flujos importante de agua hacia la ladera donde se ubica el Barrio.

4 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y MORFODINÁNICAS.

Desde los puntos de vista geomorfológico y morfodinámico es necesario destacar los siguientes aspectos:

4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.

La evolución de las laderas que conforman el valle medio del Río San Cristóbal está en buena medida influenciada por la presencia de la Falla geológica que controla el cauce del Río, en el sector (ver Plano 02). Sin embargo, la diferencia de las litologías que quedaron expuestas en la ladera sur con respecto a la ladera norte, genera contrastes en cuanto a resistencia a la erosión, y por ende en el modelado de cada una de ellas, lo cual se refleja en la asimetría del valle, en dirección norte-sur. De manera que, la ladera norte, conformada por areniscas, está poco disectada y posee pendientes variables entre 35^0 y 60^0, con inclinación media de 38^0. Mientras que, la ladera sur, constituida por arcillolitas parcialmente recubiertas por material fluviotorrencial, está disectada por varias cañadas algunas de las cuales son alimentadas por agua subterránea, las pendientes del terreno, aunque variables, oscilan entre 20^0 y 5^0 pero localmente pueden ser 45^0, con una pendiente media del orden de 18^0.

Como sobre un tramo de la ladera sur está localizada el área de estudio, de ese sector específico se hace una evaluación detallada de los rasgos geomorfológicos que tienen incidencia sobre el factor geotécnico del estudio. Los rasgos destacables (ver Plano 02 y 02A) son: la cañada que limita el área por el costado sureste, la ribera izquierda del Río, las terrazas escalonadas y la parte media y alta de la ladera:

4.1.1 Cañada del costado sureste:

Esta microcuenca se caracteriza por estar alimentada por agua subterránea y por afloramientos de arcillolitas que por el humedecimiento permanente están alteradas y poseen grados de meteorización IV-V. Se hace notar que esta cañada, antes de 1990, era estable y poseía un pequeño lago con agua permanente.

4.1.2 Ribera izquierda del Río:

Sobre esta margen del Río, localmente en épocas de invierno, se presentaban socavamientos.

4.1.3 Terrazas escalonadas:

Constituidas por material fluviotorrencial. Se cree que el origen de estas formas esta relacionado con la acción erosiva que sobre la parte media y baja del relleno fluviotorrencial desarrolló a través del tiempo el Río hasta alcanzar la cota actual de su cauce. Existen cuatro niveles de terrazas, de las cuales las dos intermedias son las más extensas y mejor conservadas, y a su vez, las más pobladas.

Parte media y alta de la ladera. Este sector constituido por material fluviotorrencial, conserva en parte la geometría original de la gran avalancha que dió origen al relleno fluviotorrencial; por tanto su morfología es de tendencia redondeada con desarrollo de pequeños tramos con pendientes del orden de 45^0 en aquellos sitios donde los procesos erosivos han estado más concentrados y han dejado al descubierto las arcillolitas de la Formación Guaduas. Este sector no presenta huellas de procesos naturales de inestabilidad reciente.

4.2 ZONIFICACIÓN POR PROCESOS MORFODINÁMICOS.

Los principales procesos morfodinámicos que se desarrollan actualmente, en diferentes sitios del área, son: flujos, reptamiento y deslizamientos rotacionales sobre arcillolitas meteorizadas. Fallas rotacionales y localmente erosión concentrada sobre el relleno fluviotorrencial.

Teniendo como base los procesos morfodinámicos anteriormente citados, los rasgos topográficos de los sitios, la condición de las aguas subsuperficiales y la actividad antrópica, se procedió a realizar una zonificación morfodinámica. Los análisis realizados condujeron a zonificar el área de estudio, ver Plano 02A, en dos zonas, cuyas características importantes, desde el punto de vista geotécnico se describen a continuación.

4.2.1 Zona 1A.

Comprende las terrazas intermedia y alta como también la parte media y alta de la ladera. Los procesos morfodinámicos que se desarrollan son locales, de baja intensidad y superficiales, corresponden a un pequeño deslizamiento rotacional, en la parte media de la ladera, y erosión con desarrollo de surcos, en la parte alta de la ladera.

4.2.2 Zona 1B.

Comprende un sector de la parte media de la ladera, donde afloran arcillolitas abigarradas de la Formación Guaduas. En esta área, donde existe cobertura vegeral, hay un proceso incipiente de erosión laminar y formación de surcos.

4.2.3 Zona 2A.

Comprende la ribera izquierda del Río donde se presenta una hibridación de materiales por estar allí el contacto entre arcillolitas meteorizadas y la parte terminal, contra el río, del depósito fluviotorrencial. Las áreas inestables, aledañas a la ribera izquierda del Río, están afectadas por fallas rotacionales retrogresivas, algunas están localizadas, sobre las arcillolitas alteradas de la Formación Guaduas, y otras sobre la parte terminal, hacia el Río San Cristóbal, del relleno de origen fluviotorrencial.

La otra parte de la zona 2 corresponde a la pequeña cañada que limita el área por el costado sureste. En lo que respecta ha esta área, el pequeño lago que allí existía fue drenado mediante la construcción de una red de cunetas que conducía y entregaba el agua al río, pero esto dio origen a un proceso de inestabilidad por fallas rotacionales retrogresivas y reptamiento que dieron al traste con la microcuenca y la han convertido en un área de alta amenaza.

En estos sitios la actividad antrópica provocó los procesos de inestabilidad que la afectan y la convierten en zonas de alta amenaza.

4.2.4 Zona 2B.

Como se aprecia en el plano No. 2A, comprende los tramos de terrazas inestables como consecuencia del avance retrogresivo de los procesos de inestabilidad que afectan la ribera del río. Son áreas de alta amenaza.

El elemento detonante en las zonas de amenaza 2A y 2B ha sido el flujo desordenado y permanente de aguas servidas provenientes de las viviendas ubicadas en las vecindades. También colabora en la inestabilidad del talud de la ribera el socavamiento producido por la dinámica del río. Una característica de estos movimientos es su comportamiento retrogresivo, con lo cual se ponen en riesgo algunas viviendas.

5 HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA

5.1 INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada sobre la margen izquierda del río San Cristóbal, tiene un área de 0,08 Km^2; no presenta un cauce único y la red de drenaje corre en dirección al río. El río San Cristóbal tiene una pendiente media del 12.3% desde su nacimiento, y en el tramo del proyecto del 7.5%. En la parte alta de la zona del estudio existen varios pequeños drenajes naturales, algunos de los cuales hacia la parte alta, debido a las condiciones del terreno, presentan empozamientos y aumentan el tiempo de retención lo que favorece la infiltración subsuperficial, aumentando la posibilidad de movimiento del material superficial, el cual es el que debe controlarse.

Actualmente no se presentan problemas por acción directa del río sobre la pata del talud, pero es necesario el control para prevenir su socavación lo que colaboraría con su inestabilidad. Son evidentes pequeñas zanjas que recogen aguas negras de diversas construcciones cercanas, que drenen hacia el río sin control alguno.

5.2 DIAGNÓSTICO Y CONCEPTUALIZACIÓN DE SOLUCIONES

Como resultado de las visitas técnicas realizadas y de las discusiones adelantadas con funcionarios de la UPES y de la interventoría, se puede concluir que la problemática existente, la cual favorece los deslizamientos en la zona, es la siguiente:

a) el movimiento que se presenta es de características superficiales, en el que la presencia de aguas infiltradas, naturales y antrópicas, favorece el desplazamiento;

b) el cauce del río carece de una zona de ronda, de importancia primordial a lo largo de la zona del estudio, ya que se presentan algunas viviendas que la invaden en el sector inferior;

c) en la zona alta del sector del estudio, se presentan empozamientos permanentes que favorecen la infiltración y lubricación del material que se encuentra en movimiento.

Por lo anterior, desde el punto de vista hidráulico, **las soluciones** a la problemática **se orientarán hacia** el establecimiento de las mejores condiciones para **el control y el manejo de las aguas** en la zona, así:

III. **Control:** 1) para impedir y/o minimizar el acceso de aguas desde la parte alta a las zonas en movimiento o con posibilidad de él; 2) para prevenir la socavación de la pata del talud, por efecto del río San Cristóbal; 3) controlar el acceso de aguas negras a las zonas cercanas al río San Cristóbal.

IV. **Manejo:** 1) para garantizar la estabilidad de los taludes contra deslizamiento.

5.3 INFORMACIÓN BÁSICA

Para la estimación de los caudales de escorrentía directa en la zona del proyecto se empleó el método de Chow (1964), con base en las funciones intensidad-duración-frecuencia, IDF, definidas en el estudio de caracterización de tormentas de la Sabana de Bogotá realizado por la firma IRH LTDA. (1993). Para el efecto, se emplearon las funciones IDF correspondientes al nodo de coordenadas: Este: 1.001.130; Norte: 996.357, ubicado dentro de la zona del estudio, las cuales fueron suministradas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB. Los parámetros morfométricos de la cuenca de interés fueron determinados por medio de las planchas M-31 y 241, de cartografía general en escala 1: 2000 Y 1:25000 respectivamente, y el plano del levantamiento topográfico realizado específicamente para el presente estudio. Sobre el río San Cristóbal se encuentra la estación limnimétrica El Delirio, operada por la EAAB, ubicada aguas arriba del sitio del estudio. Los datos de caudal reportados por esta estación se utilizaron para la calibración del modelo de Chow para la determinación de los caudales extremos.

En cercanías a la zona del estudio se encuentran las estaciones Delirio (PM 2120013), ubicada agua arriba, y la estación Vitelma (CO 2120524). Los registros de precipitación total mensual, presentan valores promedios mensuales máximos cercanos a 117 mm en la estación Vitelma y de 168 mm en la estación Delirio. En el anexo se presentan los datos correspondientes a dichas estaciones y los histogramas respectivos.

La delimitación de la cuenca se presenta en el anexo 6, realizado sobre planchas cartográficas disponibles.

Los caudales de escorrentía de las cuencas pequeñas están influenciados principalmente por las condiciones físicas del suelo y por la cobertura vegetal, más que por las características hidrológicas e hidráulicas del cauce principal; como tal son muy sensibles, tanto a lluvias intensas de corta duración como al uso y manejo del suelo, los cuales son independientes de las características del cauce. Por todo esto, y debido a la existencia de la zonificación de áreas agroecológicas homogéneas, se adoptó el método de Ven Te Chow (1964) el cual permite determinar el hidrograma de crecientes y, en consecuencia, seleccionar el caudal de diseño para estructuras de drenaje por medio de las ecuaciones:

$$Q_P = AXYZ \quad (5.1)$$

en las cuales,

Q_P = caudal pico, m^3/s
A = área de la cuenca, Km^2
X = factor de escorrentía, mm/hr
Y = factor climático, adimensional
Z = factor de reducción del pico de hidrograma, adimensional.

Factor de escorrentía, X. Este factor depende del valor de la lluvia efectiva en la estación base de precipitación, la cual es función de las condiciones hidrológicas de los suelos, y de un número de escorrentía N, asignado en función del uso actual y potencial de los suelos.

Para una intensidad de lluvia I (mm/hr), con una duración t (hr) y una frecuencia (T_R) de 10, 15 y 25 años, se calcularon los valores de precipitación efectiva (P_e), como función de la precipitación total (P) y el número de escorrentía (N), para calcular las funciones del factor de escorrentía mediante la ecuación (USDA-SCS, 1964; Ponce, 1989):

$$P_e = (P - ((100/N) - 1) \times 50{,}8)^2 / (P+((100/N) - 1) \times 203{,}2). \quad (5.2)$$

Para este caso particular del barrio Laureles, se asumió un número de escorrentía N = 88, dada la naturaleza del suelo y las condiciones locales.

Factor climático, Y. Para la determinación del factor climático, Y, se determina la estación base en el sitio del estudio y se realiza la corrección en el punto a considerar respecto a las isoyetas disponibles. En este caso, debido a que se dispone de las funciones I-D-F específicas para el sitio del estudio, se considera igual la precipitación máxima de 10 años que la de la estación base. Así se tiene

$$Y = 0{,}278 \ (P_{MAX\,,\,10} \ / \ P_{BASE\ MAX,\,10}) = 0{,}278 \quad (5.3)$$

Factor de reducción, Z. Este factor, que relaciona el valor pico del hidrograma con la máxima ordenada del hidrograma "S", está representado en la figura respectiva en el anexo 6 para valores adimensionales en función de la duración de la lluvia, t. Se adoptó como función de reducción del pico la obtenida mediante la combinación de las curvas teóricas para cuencas triangulares y cuencas experimentales pequeñas.

Para las cuencas menores los tiempos de concentración considerados iguales a los tiempos al pico del hidrograma unitario se calcularon mediante la ecuación (Sheaffer, et al, 1982):

$$t_P = C \ (L \ L_{cg} / \sqrt{S}\,)^{0{,}38} \quad (5.4)$$

en la cual,

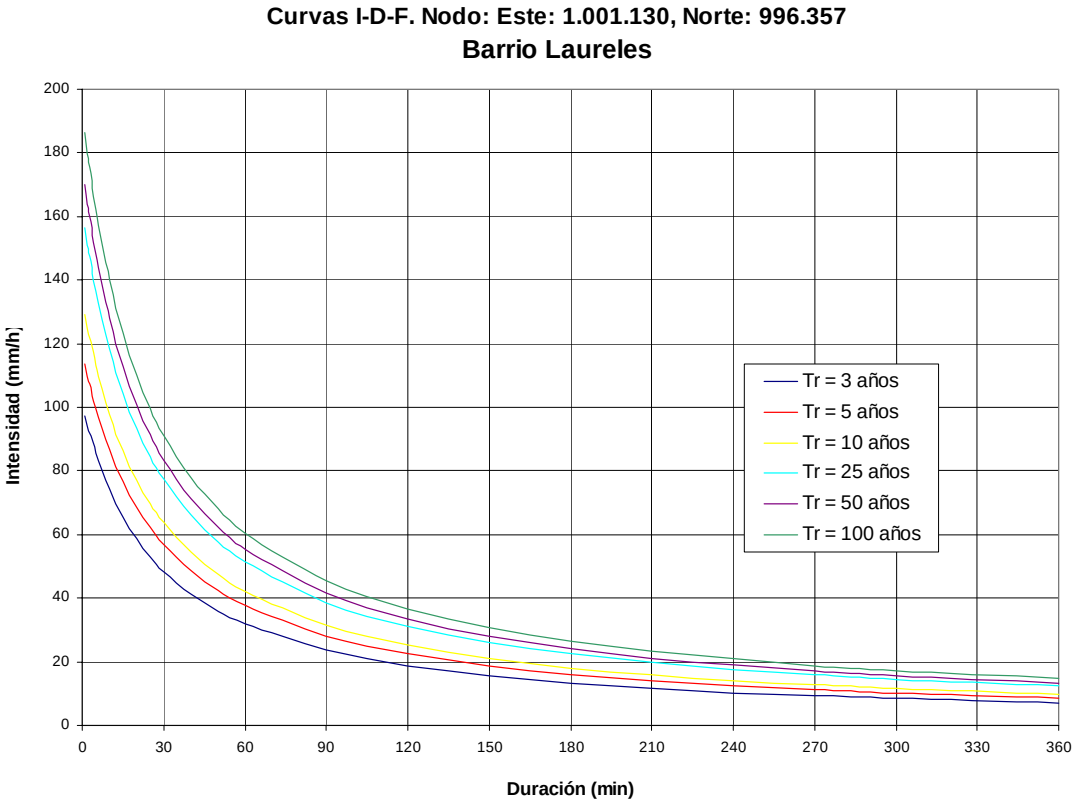
t_P = Tiempo al pico, horas
C = Constante, con valor 0,0985 para zonas planas, y 0,1642 para zonas onduladas a montañosas.

L = Longitud del cauce principal, Km
L_{cg} = Longitud del cauce al centro de gravedad de la cuenca, Km.
S = Pendiente promedia, m/m

La **Figura 5.1** muestra las funciones intensidad–duración-frecuencia, IDF, referidas; el **Cuadro 5.1** contiene los caudales de escorrentía resultantes de los cálculos realizados para fines de diseño.

De acuerdo con las averiguaciones realizadas en la EAAB-ESP, se estableció que en la actualidad se está adelantando el estudio para el alcantarillado del barrio Gran Colombia, ubicado adyacente a la zona del estudio, en la zona de aguas abajo.

FIGURA NO. 5.1. FUNCIONES IDF EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO. PROYECTO BARRIO LAURELES, FOPAE-UPES (CONSORCIO CIVILES LTDA.-HIDROCONSULTA LTDA.), 1999.



Cuadro No. 5.1. Caudales de diferentes períodos de frecuencia estimados para el río San Cristóbal. Proyecto Barrio Laureles, FOPAE-UPES (Consorcio CIVILES LTDA.-HIDROCONSULTA LTDA.), 1999.

Período de Retorno, Tr (años)	2.3	5	10	25	50	100
Caudal Q(m^3/s)	3.19	5.31	8.27	14.09	20.53	29.05

6 ANÁLISIS DE SISMICIDAD Y AMENAZA SÍSMICA

En Santafé de Bogotá se cuenta con los análisis ejecutados en el marco del estudio de microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, adelantado por INGEOMINAS y la Universidad de los Andes. No obstante, se decidió realizar un análisis independiente de amenaza sísmica del sitio, para confirmar los resultados proporcionados en tal estudio.

6.1 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL ANALISIS DE AMENAZA

La principal limitación del análisis radica en la escasa e incompleta serie de registros sísmicos existente en los Catálogos disponible con que se cuenta en Colombia, dada la juventud de la Red Sísmica Nacional. Adicionalmente se adolece de ecuaciones de atenuación deducidas de registros reales en el país y, por tanto, se recurre a ecuaciones de ambientes sismotectónicos de otras latitudes cuya aplicabilidad puede tener restricciones. Para obviar esta limitación se utilizaron en este estudio tres ecuaciones diferentes deducidas por Donavan (1973), McGwire (1973) y Esteva (1978). Los hechos discutidos influyen sobre la confiabilidad de los análisis, a pesar de lo cual, se pueden considerar de aproximación suficiente para propósitos de este estudio.

De otra parte, cabe aquí citar como limitación adicional, el escaso conocimiento que aún tiene la Sismología sobre los factores que inciden en la distribución espacio temporal de los eventos sísmicos.

Estas limitaciones conducen a la necesidad de utilizar las herramientas probabilísticas en el análisis, de acuerdo con los cánones aceptados actualmente en la Ingeniería Sismológica.

6.2 METODOLOGIA DEL ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA

Los enfoques modernos del análisis de amenaza sísmica de una región constituyen una integración de datos geológicos, tectónicos y sismológicos, la cual asigna mayor importancia a las evidencias geológicas de movimiento en las fallas y a la ocurrencia histórica de sismos fuertes en la zona de interés, tanto en el ámbito local como regional.

Con el propósito de establecer la sismicidad de los dos ámbitos considerados, pensando en eventos cercanos e intermedios se consideraron zonas circulares de 50 y 250Km respectivamente concéntricos con el sitio de estudio. Para eventos lejanos se consideró el efecto de la Zona de Subducción del Pacífico. Se recurrió al Catálogo Sísmico Nacional, desarrollado dentro del estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, para establecer los eventos ocurridos en las dos zonas citadas. El estudio de la sismicidad

permitió estimar la actividad de los fallamientos, las tendencias de recurrencia y los parámetros sísmicos de las fuentes sismogénicas detectadas.

A partir de una análisis probabilístico utilizando el modelo de la Línea Fuente (Der Kiureghian et al, 1975), y ecuaciones de recurrencia (Esteva, 1978. Donovan, 1973. McGuire, 1977) se produjo una integración probabilística de la influencia de las fuentes relevantes para el sector del barrio Laureles, y se ajustó utilizando los criterios propuestos en otros estudios ejecutados en la Sabana de Bogotá, para producir recomendaciones de aceleración máxima a utilizar en los análisis de estabilidad.

6.3 SISMOLOGIA

6.3.1 Recopilación de Información

Para el Sector de estudio, en el sur de la Sabana de Bogotá, se han realizado previamente varios estudios específicos en el campo de la ingeniería sismológica. Como información preliminar, para efectos de este estudio, se allegaron los criterios sugeridos en los estudios de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) para el país, y los resultados del Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. De acuerdo con tal información, las aceleraciones máximas recomendadas son las siguientes:

AIS (1984). La ciudad de Santafé de Bogotá está dentro de la zona de amenaza sísmica INTERMEDIA, con un coeficiente de aceleración horizontal Aa de 0,15 g.

AIS (1998). De acuerdo con las previsiones de la última revisión del código, establecido como Reglamento de Construcción en 1998, el sector en estudio está en una zona de riesgo sísmico intermedio, con coeficiente de aceleración de 0.2 g.

Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá (1997). Para sectores de la zona montañosa como el del objeto de este estudio, se sugiere adoptar valores máximos de aceleración de 0.2g en roca.

6.3.2 Sismicidad

Para obtener las recomendaciones de la aceleración máxima para este estudio, se emplearon los registros históricos e instrumentales de fuentes sísmicas que cubren el período 1566-1995, en primer lugar para un área circular con radio de 50Km, para tener en cuenta sismos de carácter local, y luego con radio de 250 Km, para considerar los eventos regionales que pueden tener mayor influencia sobre el sitio. Los datos de los años 1993 y 1995 obtenidos en la Red Sísmica Nacional de Colombia RSNC están incluidos en este análisis y se detallan en el catálogo correspondiente.

De la información anterior se escogieron, para el análisis de sismicidad, los sismos que presentan Magnitud registrada o deducida mayor de 3.0

De los eventos sísmicos registrados, se puede deducir, en el ámbito local, la importancia de las Fallas del sistema Fusagasugá - Usme, y fallamientos del pie de los cerros y en la mayor área, con 250 Km de radio, la Falla Palestina del Sistema Romeral – Cauca, además del Sistema Frontal de la Cordillera Oriental, para el área de 250Km. Para los sismos lejanos, se consideró como única fuente la Zona de Subducción del Pacífico.

En relación con el área de 250 Km de radio, el sistema de Guaicaramo o tren de fallas del Borde Llanero, en el piedemonte de la cordillera Oriental puede considerarse el de mayor actividad.

6.4 EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA

El propósito de esta evaluación es determinar la variabilidad de respuesta sísmica que se puede esperar en el área de estudio al ser sometida a un evento de gran magnitud.

6.4.1 Recurrencia de Magnitudes

Empleando los datos de los sismos ubicados en la región de estudio se realizó un análisis de recurrencia de magnitudes, ordenando los datos en secuencia creciente a partir de una magnitud mínima Ms=3.0 de la forma propuesta por Gutemberg y Richter:

La evaluación de regresión obtenida para los eventos locales fue:

$$Ms = 6.95 - 2.11 \log N$$

para toda el área local,

$Ms = 6.96 - 2.13 \log N$

para los sismos sin fuente asignada, y:

$Ms = 3.50 - 0.83 \log N$

para el alineamiento del pie de los cerros.

Para el análisis regional la ecuación de recurrencia obtenida fue:

$Ms = 7.9 - 1.81 \log N$

para toda la región, y

$Ms = 7.18 - 1.72 \log N$,

para la falla Frontal de la cordillera Oriental. Por tanto, para el análisis de amenaza a partir de eventos regionales, se decidió incluir una fuente areal, y los alineamientos de la falla frontal, de la Cordillera Central, y de la falla Salinas, aparte de la zona de Benioff profunda, para considerar el efecto de eventos lejanos. Ver gráficas del anexo No. 5.

6.4.2 Evaluación de Amenaza Sísmica para el sitio

La amenaza sísmica está asociada con la probabilidad de superar un parámetro sísmico determinado, en función del tiempo de recurrencia, en el futuro. En Ingeniería sismológica, el parámetro más empleado es la aceleración máxima sobre el terreno en el cual se implantará la construcción de interés, dado que ella permite estimar con facilidad las fuerzas que pueden generarse y ejecutar los análisis mecánicos necesarios.

Utilizando el Modelo de Línea Fuente de Der Kiureghian, el proceso probabilístico de integración arrojó valores de aceleración probable en el sitio de 0.20g en roca, confirmando los valores evaluados por el Estudio de Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá. Sin embargo, dado que el área se encuentra en topografía ligeramente montañosa, y particularmente en las zonas inestables sobre la ribera del río así como el material residual que se encuentra en reptamiento, se esperan efectos locales de amplificación cuya cuantificación a partir de modelos resulta compleja. Para propósitos de este estudio, se recomendó adoptar el mismo valor de 0.20g y reconocer que los efectos de sitio pueden provocar desprendimientos.

7 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y DESCRIPCIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES

7.1 GEOTECNIA

En una primera etapa de exploración se ejecutaron dos sondeos con barreno de accionamiento manual, uno a 2.50 m en la parte alta del barrio, donde se detectó la arcillolita de la formación Guaduas a una profundidad de 0.60 m. El otro sondeo se ejecutó en la margen derecha del río hasta 5.0m, a través del cual y hasta los cinco metros se detectó un relleno arcilloso con escombros de construcción.

A partir de la información acopiada a través de los sondeos ejecutados previamente se programaron y ejecutaron tres sondeos con barreno de accionamiento manual en la ronda del río y tres trincheras en la parte alta de la zona de estudio.

De igual manera y con el propósito de establecer los parámetros de resistencia de la arcillolita y del fluviotorrencial, se tomaron muestras en bloque y bolsa. Estas nuestras fueron preparadas en laboratorio para la ejecución del ensayo de corte directo.

A partir de los resultados parciales obtenidos se estableció el siguiente perfil promedio para la parte alta de la zona de estudio, la cual está comprendida entre la vía de acceso y el límite suroccidental del área.

CUADRO No. 7.1. Perfil promedio parte alta de la zona de estudio.

PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 – 10.00	Guijarros, fragmentos y gravas de arenisca embebidos en una matriz arenolimosa habana grisácea. Fluviotorrencial.
10.0 - >30.0	Arcillolita, arcilla gris habana con manchas de oxidación algo húmeda, de plasticidad media, consistencia dura.

En la parte baja de la zona de estudio, comprendida entre el río San Cristóbal y la vía de acceso, se encontró el siguiente perfil promedio:

CUADRO No. 7.2. Perfil promedio de la parte baja de la zona de estudio

PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.0 – 1.80	Arcilla limosa y/o limo arcilloso. Esta capa se encuentra en estado húmedo de color gris habano con algunos tonos rojizos y verdes, de baja compresibilidad, plasticidad media y consistencia firme, Presenta algunas gravas de arenisca. Relleno.
1.80 - >10.0	Guijarros, fragmentos y gravas de arenisca embebidos en una matriz arenolimosa habana grisácea. Fluviotorrencial.
10.00 - >30.0	Arcillolita, arcilla limosa abigarrada húmeda, de plasticidad media, baja compresibilidad y consistencia dura.

A las muestras recuperadas se les practicaron ensayos de clasificación y de caracterización mecánica con el objeto de obtener los parámetros de resistencia necesarios para ejecutar el análisis de estabilidad. Los resultados se consignan en el Cuadro No. 7.1, y sus detalles se adjuntan en el anexo 3 de este informe. Con estos valores se elaboró el perfil de resistencia no drenada Cu para toda la zona, Gráfica No. 7.1, para la parte alta Gráfica No. 7.2 y la Gráfica No. 7.3 para la parte baja y la carta de plasticidad de Casagrande, gráfica No. 7.4, de las cuales se deduce que:

- La resistencia no drenada Cu se encuentra alrededor de 0.5 Kg/cm^2 para el depósito de suelo y hasta una profundidad de 5.00 m aproximadamente, en la parte baja del barrio, ronda del río. Similar resistencia no drenada presenta el suelo residual. Para la arcillolita, y a partir de 5.00 m la resistencia no drenada mínima Cu es 10 Kg/cm^2.

- El peso unitario para el material residual es del orden de 2.00 t/m^3 y de 2.20 t/m^3 para la arcillolita.

- Los materiales existentes en la zona de estudio, de acuerdo con la carta de plasticidad, son arcillas de plasticidad media a alta y de compresibilidad media a alta.

- Del ensayo de corte directo para la muestra de arcillolita, se encontró que el valor de la cohesión es 0.46 Kg/cm^2 y el ángulo de fricción igual a 25°. El ensayo se efectuó en condición inundada.

Para las capas de arcilla y/o limo se determinó el valor de la resistencia no drenada Cu a partir del Ensayo de Penetración Estándar. para lo cual se siguieron las recomendaciones de Décourt (1989) así:

$$C_U\,(t/m^2) = 1.276 * N \quad (7.1)$$

Donde:

N= Número corregido de golpes para penetrar un pie, mediante el ensayo de penetración estándar.

Para corregir el número de golpes tanto por la perdida de energía debido a las limitaciones del equipo como por la energía aplicada se empleó un factor de 0.8.

Los valores de la resistencia no drenada CU determinados de esta manera se ubicaron en las gráficas No. 7.1, 7.2 y 7.3 y se consignan en los perfiles respectivos.

De los sondeos efectuados en la ronda del río, parte baja de la zona de estudio, se escogió el que se ubicó sobre una de las zonas más inestables, para llevar a cabo la instalación de un piezómetro y así poder llevar a cabo un seguimiento del comportamiento del nivel freático en la zona. En la siguiente tabla se reportan las lecturas efectuadas.

CUADRO No. 7.3. Lectura en los Plezómetros Instalados.

FECHA	S1
MAR.9.99	4.20
MAR.12.99	4.20

Durante las diferentes visitas efectuados al barrio, se constató de manera visual que la mayoría de las casas que se encuentran ubicadas en la parte baja de la zona en estudio, ronda del río, arrojan las aguas servidas sobre la ladera, para que posteriormente estas escurran al río, ya sea de manera superficial o infiltrándose en el material residual, producto de la meteorización de la arcillolita por este efecto.

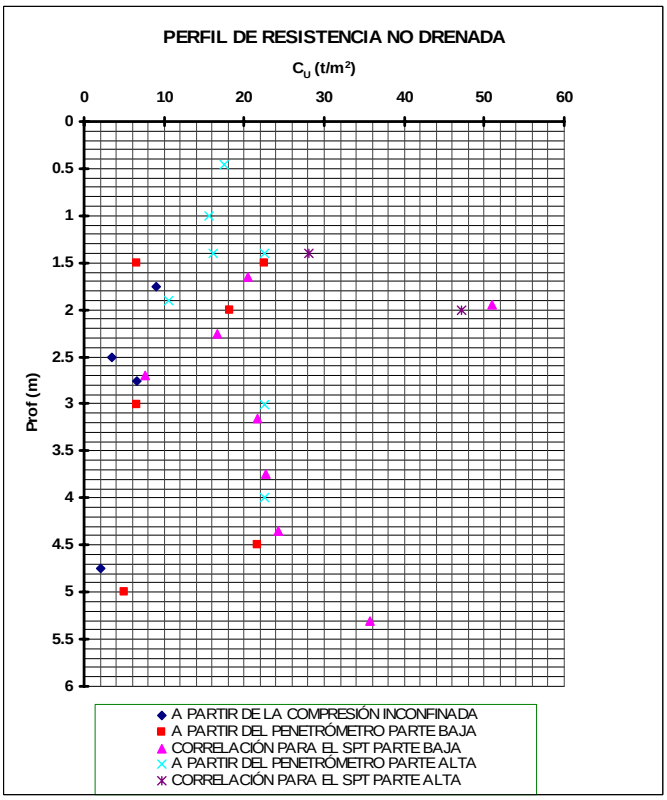
Cuadro 7.4. Resultados de pruebas de laboratorio.

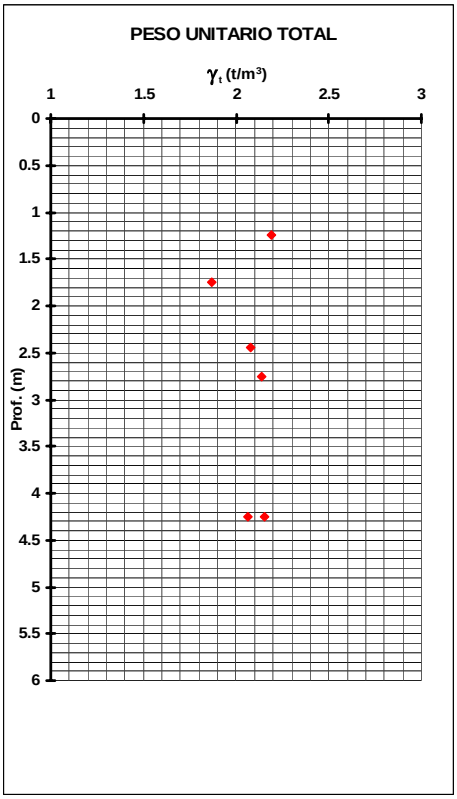
ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR EL BARRIO LAURELES, LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL.

PERFORACION	S1		S2	S3		S4		
MUESTRA	2	3	2	1	2	1	2	3
PROFUNDIDAD [m]	2.50-3.00	4.00-4.50	1.50-2.00	1.00-1.50	1.50-2.15	1.50-2.00	2.20-2.70	4.50-5.00
HUMEDAD NATURAL w [%]	19.8	13.2	33.8	11.4	13.0	28.4	31.2	28.2
PESO UNITARIO γ_t [Ton / m^3]	2.14	2.15	1.87	2.19			2.08	2.06
PESO UNITARIO SECO γd [Ton / m^3]	1.79	1.89	1.40	1.96			1.58	1.60
LIMITE LIQUIDO	29.4	31.7	62.5		41.0	57.2		
LIMITE PLASTICO	17.1	20.9	33.4		20.0	28.5		
INDICE DE PLASTICIDAD	12.3	10.8	29.1		21.0	28.7		
INDICE DE CONSISTENCIA	0.78	1.69	0.99		1.34	1.00		
INDICE DE LIQUIDEZ	0.22	-0.69	0.01		-0.34	-0.004		
CLASIFICACION U.S.C.S.	CL	CL	MH		CL	CH		
RESIST. COMP. INCONFINADA [Kg / cm^2]	1.310		1.800				0.710	0.410
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ϕ^o								
COHESIÓN C [Kg / cm2]								
% GRAVAS								
% ARENAS								
% FINOS								

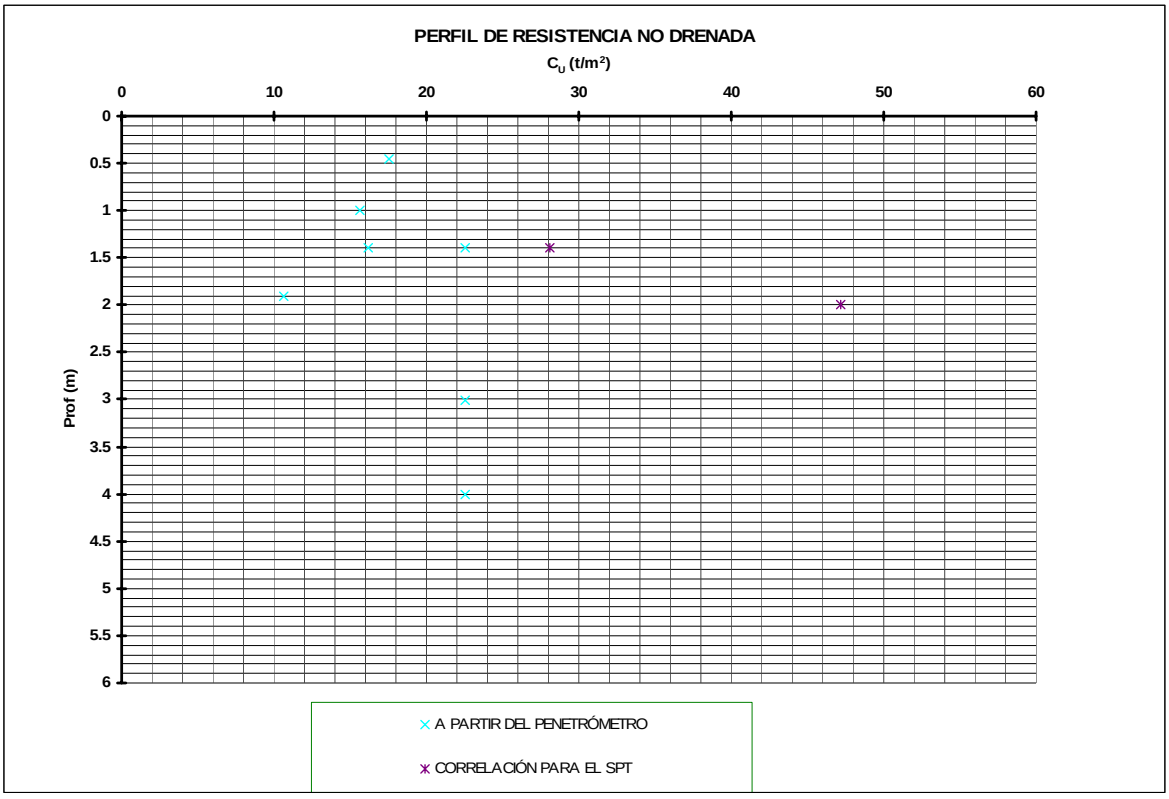
PERFORACION	S5	T1						
MUESTRA	1	1	M1	M2				
PROFUNDIDAD [m]	0.90-1.40	1.90-2.40						
HUMEDAD NATURAL w [%]	12.4	34.1						
PESO UNITARIO γ_t [Ton / m^3]								
PESO UNITARIO SECO γd [Ton / m^3]								
LIMITE LIQUIDO	37.0	72.1						
LIMITE PLASTICO	23.3	23.3						
INDICE DE PLASTICIDAD	13.7	48.8						
INDICE DE CONSISTENCIA	1.78	0.78						
INDICE DE LIQUIDEZ	-0.78	0.22						
CLASIFICACION U.S.C.S.	CL	CH						
RESIST. COMP. INCONFINADA [Kg / cm^2]								
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA ϕ^o			26	25.00				
COHESIÓN C [Kg / cm2]			0.03	0.46				
% GRAVAS								
% ARENAS								
% FINOS								

Grafica 7.1.Perfil de Resistencia del Barrio.

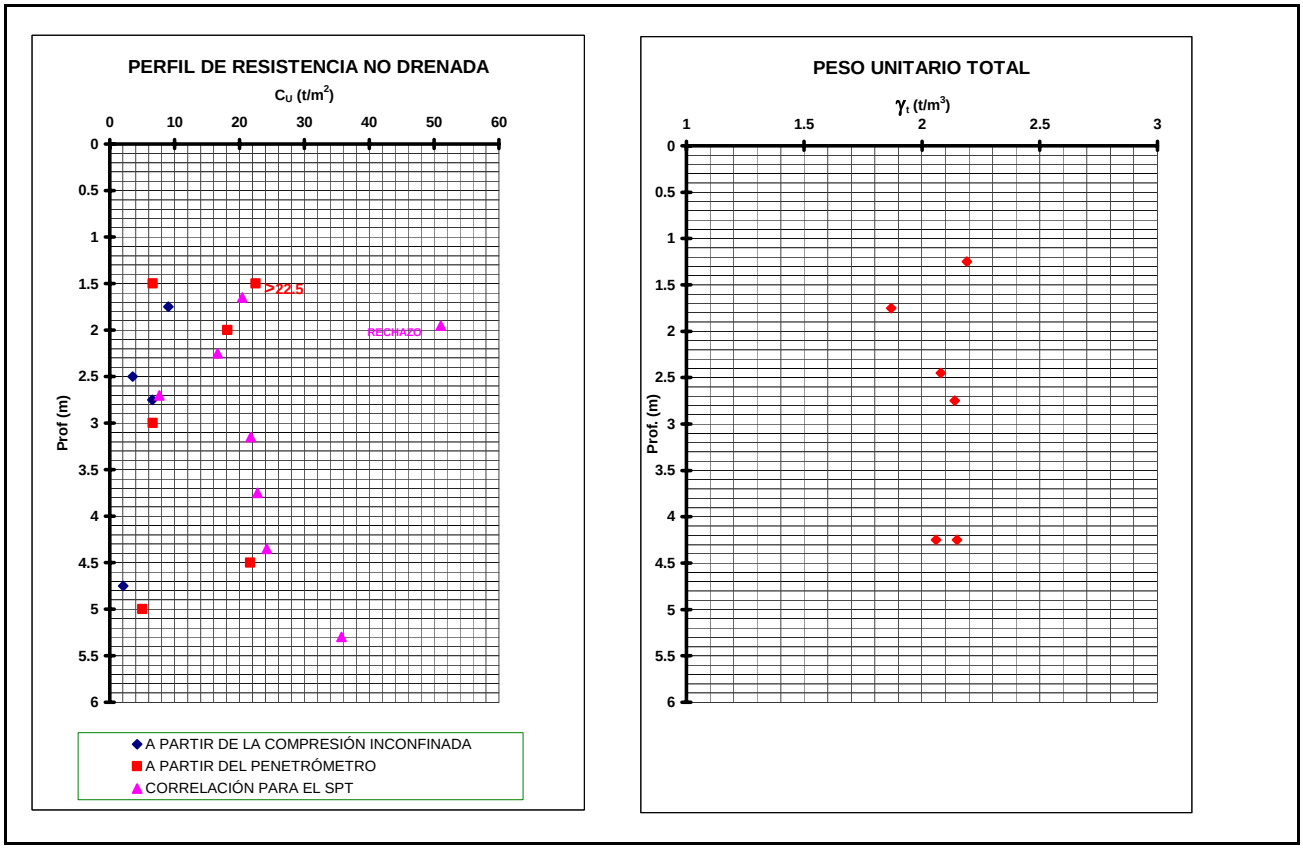




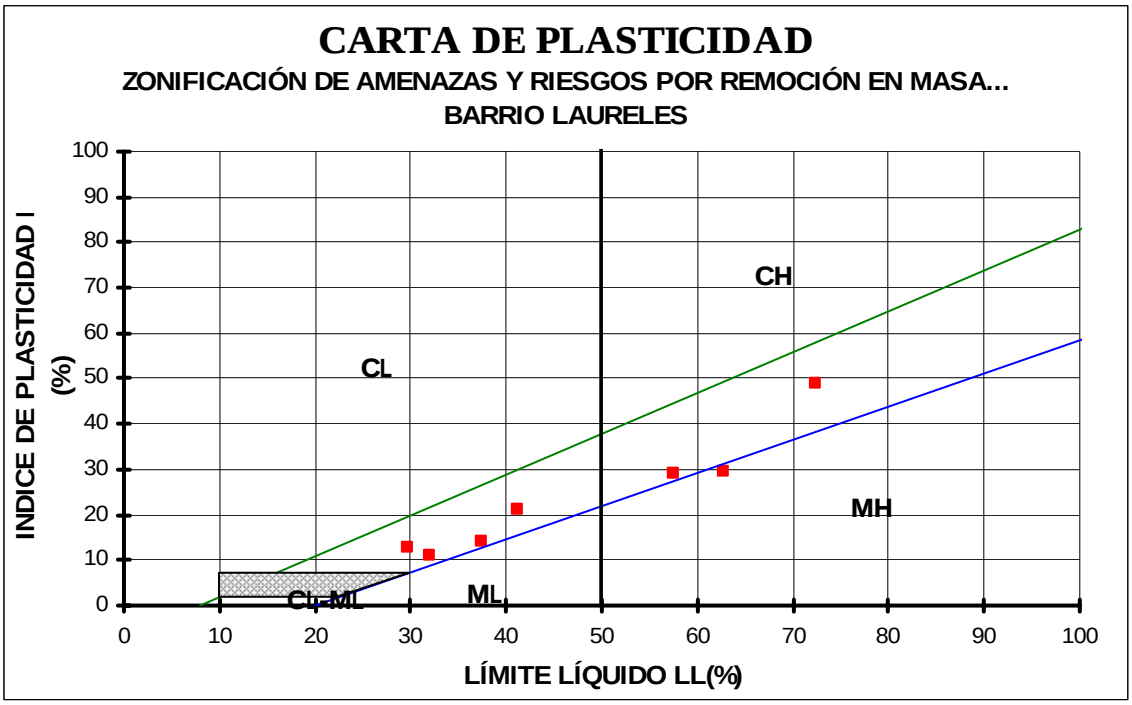
Gráfica 7.2. Perfil de Resistencia Parte Alta del Barrio



Gráfica 7.3. Perfil de Resistencia Parte Baja del Barrio.



Gráfica 7.4. Carta de Plasticidad.



7.2 EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA

Para complementar tanto la información obtenida en el levantamiento geológico como en la exploración geotécnica, buscando establecer de manera más confiable la geometría del contacto entre los materiales que se encuentran en la zona, depósito fluviotorrencial bajo el cual subyace una arcillolita de la formación Guaduas, se programó la ejecución de un perfil geoeléctrico. Para ello se realizaron sondeos siguiendo un perfil lineal paralelo al perfil No. 3 levantado por la topografía, pero localizado 20 metros al sur de éste último. El rumbo aproximado del perfil para el eje de los S.E.V. (Sondeos Eléctricos Verticales) es N30°E.

7.2.1 Interpretación de los sondeos

Sondeo Geoeléctrico Vertical No. 1. Localizado en la parte superior del área de estudio, sobre cota 2791.5 m.s.n.m., a 10 metros de la cerca que sirve como lindero. La información recolectada y su interpretación se presentan en el anexo 4 y en el cuadro siguiente.

Cuadro No. 7.5. Sondeo Geoeléctrico Vertical SEV # 1.

CAPA	RESISTIVIDAD Ohm-m.	PROFUNDIDAD m.	ESPESOR m.	CORRELACION ESTRATIGRAFICA
A-1	460	0 - 1.6	1.6	Dep. Fluviotorrencial
A-2	900	1.6 - 8.0	6.4	Dep. Fluviotorrencial
A-3	500	8.0 - 20	12	Dep. Fluviotorrencial
G	25	> 20	Indeterminado	Arcillolitas F. Guaduas

En este sitio se interpreta que el material del depósito fluviotorrencial (conglomerático) se encuentra desde la superficie hasta los 20 metros de profundidad aproximadamente. Este material se identifica como cantos, gravas y arenas con matriz areno limosa. En este depósito la capa A-2, podría contener partículas de mayor tamaño, lo cual lo puede evidenciar el sondeo, cuya capa aparece con una mayor resistividad (900 Ohm-m.)

Por debajo de los 20 metros, se interpreta la presencia de estratos principalmente de composición arcillosa, los cuales corresponden a las arcillolitas de la Formación Guaduas, capa G.

Sondeo Geoeléctrico Vertical No. 2. Localizado en la parte superior del área de estudio, sobre cota 2787 m.s.n.m., aproximadamente a 35 metros por debajo topográficamente del

S.E.V. 1. La información recolectada y su interpretación se presentan en el anexo 4 y en el cuadro siguiente.

Cuadro No. 7.6. Sondeo Geoeléctrico Vertical SEV # 2.

CAPA	RESISTIVIDAD Ohm-m.	PROFUNDIDAD m.	ESPESOR m.	CORRELACION ESTRATIGRAFICA
A	300	0 - 0.9	0.9	Dep. Fluviotorrencial
E	30	0.9 - 9.0	8.1	Arcillolitas F. Guaduas
F	50	9.0 - 17	8.0	F. Guaduas
G	25	> 17	Indeterminado	Arcillolitas F. Guaduas

En este sitio se interpreta que el material del depósito fluviotorrencial (conglomerático) se encuentra desde la superficie hasta 90 centímetros de profundidad aproximadamente (capa A), debido a que se baja topográficamente y por evidencias de campo se puede constatar los resultados de este sondeo, ya que a un metro por debajo del sitio del sondeo se observaba el contacto arcillolita-depósito conglomerático.

A partir de los 90 centímetros se presentan las arcillolitas de la Formación Guaduas, en la capa F se presenta alguna intercalación de material granular fino, lo cual se evidencia por un aumento poco notorio de la resistividad (50 Ohm-m.).

Sondeo Geoeléctrico Vertical No. 3. Localizado en la parte intermedia del área de estudio, sobre cota 2775.5 m.s.n.m., aproximadamente a 55 metros del S.E.V. 2. La información recolectada y su interpretación se presentan en el anexo 4 y en el cuadro siguiente.

Cuadro No. 7.7. Sondeo Geoeléctrico Vertical SEV # 3.

CAPA	RESISTIVIDAD Ohm-m.	PROFUNDIDAD m.	ESPESOR m.	CORRELACION ESTRATIGRAFICA
A	700	0 - 2.3	2.3	Dep. Fluviotorrencial
C	30	2.3 - 5.0	2.7	Arcillolitas F. Guaduas
D	50	> 5.0	Indeterminado	F. Guaduas

El espesor del depósito fluvio torrencial (conglomerático) aumenta con respecto al S.E.V. # 2, debido a la topografía irregular (erosión diferencial) y por los mismos asentamientos que necesariamente deben extraer material para la construcción de sus casas.

A partir de los 2.3 metros se presentan las arcillolitas de la Formación Guaduas (capa C), que al igual que el sondeo anterior, en la capa D, existe una intercalación de material granular fino, lo cual se evidencia por un aumento poco notorio de la resistividad (50 Ohm-m.), presentando continuidad longitudinal, por lo observado en los S.E.V. # 2 y 3.

Sondeo Geoeléctrico Vertical No. 4. Localizado en la parte intermedia del área de estudio, sobre cota 2768 m.s.n.m., aproximadamente a 30 metros del S.E.V. 3 y 35 metros lineales aproximadamente por encima de la vía de acceso al barrio. La información recolectada y su interpretación se presentan en el anexo 4 y en el cuadro siguiente.

Cuadro No. 7.8. Sondeo Geoeléctrico Vertical S.E.V. # 4.

CAPA	RESISTIVIDAD Ohm-m.	PROFUNDIDAD m.	ESPESOR m.	CORRELACION ESTRATIGRAFICA
A-1	1100	0 - 1.0	1.0	Dep. Fluviotorrencial
A-2	1500	1.0 - 2.5	1.5	Dep. Fluviotorrencial
A-3	800	2.5 - 5.3	2.8	Dep. Fluviotorrencial
C	25	5.3 – 17	11.7	F. Guaduas
D	50	> 17	Indeterminado	Arcillolitas - F. Guaduas

El espesor del depósito fluviotorrencial (conglomerático) aumenta con respecto a los anteriores sondeos, alcanzando los 5.3 metros de profundidad.

A partir de los 5.3 metros se presenta la arcillolita (capa C) con intercalaciones de limolitas. La capa B, en este punto se ha erodado, infrayaciendo al depósito fluviotorrencial directamente, capa C, y a mayor profundidad (>17 m) se presentan arcillolitas homogéneas de la Formación. Guaduas (capa D).

Sondeo Geoeléctrico Vertical No. 5. Localizado sobre la vía de acceso al barrio, sobre la cota 2755 m.s.n.m., aproximadamente a 35 metros del S.E.V. # 4. La información recolectada y su interpretación se presentan en el anexo No. 4 y en el cuadro siguiente:

Cuadro No. 7.9. Sondeo Geoeléctrico Vertical S.E.V. # 5.

CAPA	RESISTIVIDAD Ohm-m.	PROFUNDIDAD m.	ESPESOR m.	CORRELACION ESTRATIGRAFICA
A-1	150	0 - 1.3	1.3	Dep. Fluviotorrencial
A-2	200	1.3 – 3.8	2.5	Dep. Fluviotorrencial
B	50	3.8 - 12	8.2	Fm. Guaduas
C	25	>12	Indeterminado	Arcillolitas – Fm. Guaduas

La composición del depósito fluviotorrencial (conglomerático), se presenta con una granulometría más fina (limolitas a arenitas finas) según los resultados de los datos de resistividad (150-200 Ohm-m.); su espesor alcanza los 3.8 metros. Debajo de los 3.8 metros se presentan las arcillolitas predominantemente homogéneas de la Formación Guaduas.

Sondeo Geoeléctrico Vertical No. 6. Localizado sobre la ribera suroccidental del río San Cristóbal, sobre la cota 2742.5, aproximadamente a 20 metros del río y a 50 metros de la vía. La información recolectada y su interpretación se presentan en el anexo 4 y en el cuadro siguiente.

Cuadro No. 7.10. Sondeo Geoeléctrico Vertical S.E.V. # 6.

CAPA	RESISTIVIDAD Ohm-m.	PROFUNDIDAD m.	ESPESOR m.	CORRELACION ESTRATIGRAFICA
A-1	560	0 - 2.0	2.0	Dep. Fluviotorrencial
A-2	200	2.0 - 7.5	5.5	Dep. Fluviotorrencial
B	50	7.5 - 22	14.5	F. Guaduas
C	25	22 – 40	18	Arcillolitas – F. Guaduas
D	50	>40	Indeterminado	F. Guaduas

La composición del depósito fluviotorrencial (conglomerático), se presenta hasta los 7.5 metros de profundidad, posteriormente (>7.5 m) se presenta la arcillolita predominantemente homogénea de la Formación Guaduas, con intercalaciones de granulares finos (capa B y D) y la arcillolita predominantemente homogénea (capa C).

La anterior información se amplía y complementa en el anexo No. 4 y en plano No. 07.

8 EVALUACIÓN DE AMENAZA

Con el propósito final de establecer los niveles de riesgo a que se encuentran expuestas las diferentes zonas habitadas del área de estudio, es necesario establecer la probabilidad de colapso de las zonas inestables, como base de cuantificación de la amenaza. Para llevar a cabo esta actividad, se estableció, de forma analítica, la probabilidad de falla para las siguientes zonas, aclarando que la probabilidad de falla para las zona 2 está supeditada a la ocurrencia de la falla de la zona 1:

- **Zona de amenaza 1:** Zona comprendida por la ronda del río, la cual exhibe el tipo de amenaza No. 2, definida en el numeral 3.2.2.

- **Zona de amenaza 2:** Esta zona hace parte del tipo de amenaza 2, definida en la sección 3.2.2 del presente informe. Está comprendida entre la zona de amenaza 1 y la vía de acceso al barrio.

- **Zona de amenaza 3:** Se presenta en el costado occidental de la vía de acceso, sobre el depósito fluviotorrencial y como ya se mencionó en el numeral 3.2.3, se trata de una zona en la cual se presenta un movimiento en masa del material que constituye el depósito fluviotorrencial, el cual se ve también afectado por un proceso incipiente de erosión laminar.

- **Zona de amenaza 4:** Esta zona se encuentra por fuera del área en estudio, en el costado suroriental y ejerce de manera muy directa e importante afectación sobre algunas casas que hacen parte del barrio y del área en estudio. Este sector presenta una alta probabilidad de falla por tratarse de una zona muy afectada por deslizamientos con presencia de agua constante y saturación de los materiales. De generarse un eventual deslizamiento de los materiales del sector, muy probablemente se presentaría represamiento del cauce del río, generando así riesgo aguas a bajo a causa de una posible avalancha.

8.1 CONDICIONES DE ANÁLISIS

Se decidió realizar los análisis de estabilidad por separado para los diversos tipos de movimiento, recurriendo a ejercicios con parámetros de resistencia residuales, establecidos de los ensayos de corte directo, por considerar estos valores los mas apropiados para el estado actual de la ladera. Para el análisis de estabilidad se empleó el programa PCSTABLE versión 5.0.

Los primeros análisis efectuados y mediante los cuales se buscaba afinar el modelo, se llevaron a cabo empleando los parámetros de resistencia que se presentan en el cuadro No. 8.1. A continuación se presenta los parámetros empleados en los análisis de estabilidad, en

los anexos se presentan los resultados de laboratorio, a partir de los cuales se establecieron estos valores:

CUADRO No 8.1. PARÁMETROS DE RESISTENCIA INICIALES DE ANÁLISIS

NUM	MATERIAL	C (Kg/cm2)	ϕ °	γ_t (Kg/cm^3)	γ_d (Kg/cm^3)
1	Arcillolita	0.8	36	2.12	1.87
2	M. Relleno	0.05	21	2.04	1.62
3	Fluviotorrencial	0.03	26	1.97	1.62

El análisis de estabilidad para el tipo de amenaza 2, descrito en el numeral 3.2.2, se efectuó considerando en primera instancia superficies de falla que involucraran únicamente el material de relleno, botado sobre la margen del río, sin llegarse a determinar ninguna superficie consistente con la situación que se evidencia en el momento en el terreno. Por consiguiente, se evaluaron superficies de falla que involucraran el fluviotorrencial, las cuales ya mostraban resultados más coherentes con las grietas de tracción y los movimientos que se observan sobre la margen izquierda del río.

De este análisis se pudo establecer que de presentarse un deslizamiento de los materiales que conforman el cauce y la ronda del río podría generarse un movimiento retrogresivo que afectaría toda el área comprendida hasta la vía de acceso, por lo cual se decidió analizar la probabilidad de ocurrencia de tal fenómeno, para lo cual se analizó en cada uno de los tres perfiles levantados por la topografía una serie de superficies de falla que modelaran el supuesto.

El modelo analizado considera que al presentarse el primer deslizamiento, por ejemplo Gráfica 8.1, el materia que se desliza se pierde, ya sea por socavación o a cauce del arrastre del río, en tal caso se generaría un segundo deslizamiento, gráfica 8.2, del cual el material también se perdería, generado de esta manera un tercer movimiento, gráfica 8.3, y así sucesivamente. Este proceso se modelo tal como lo muestran las gráficas enunciadas para el perfil 1-1´, las gráficas 8.4 a 8.6 ilustran el modelo analizado para el perfil 2-2´ y las gráficas 8.7 a 8.10 para el perfil 3-3´.

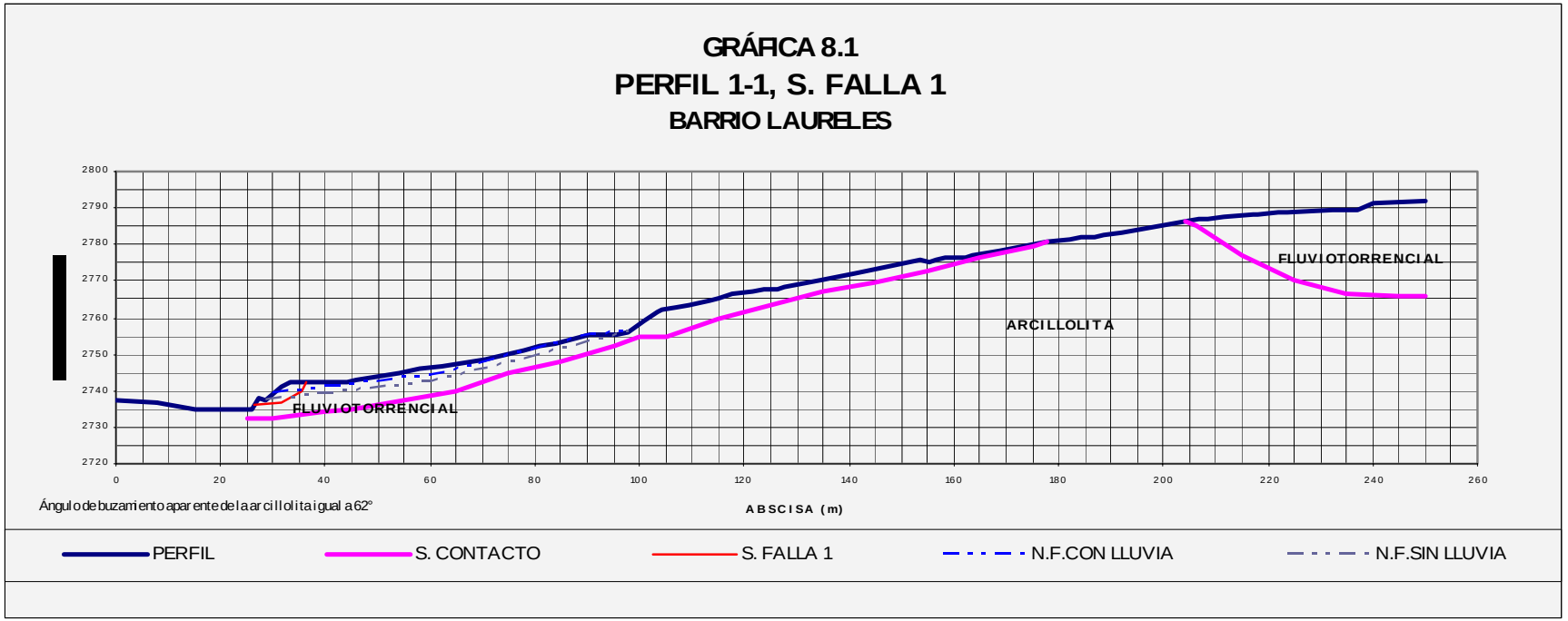
Como resultado de este trabajo se determinaron la zona de amenaza 2, supeditada a la ocurrencia de la falla de la zona de amenaza 1, la cual resultó aproximadamente coincidente con la zona de ronda legal del río de 30 m.

Para la zona de amenaza 3, la cual corresponde a la ladera que presenta un deslizamiento en el costado occidental de la vía de acceso, se evaluaron varias superficies de falla, de las cuales se escogió la más crítica y que a la vez reflejara la situación de inestabilidad que se observa en la misma, gráfica 8.11.

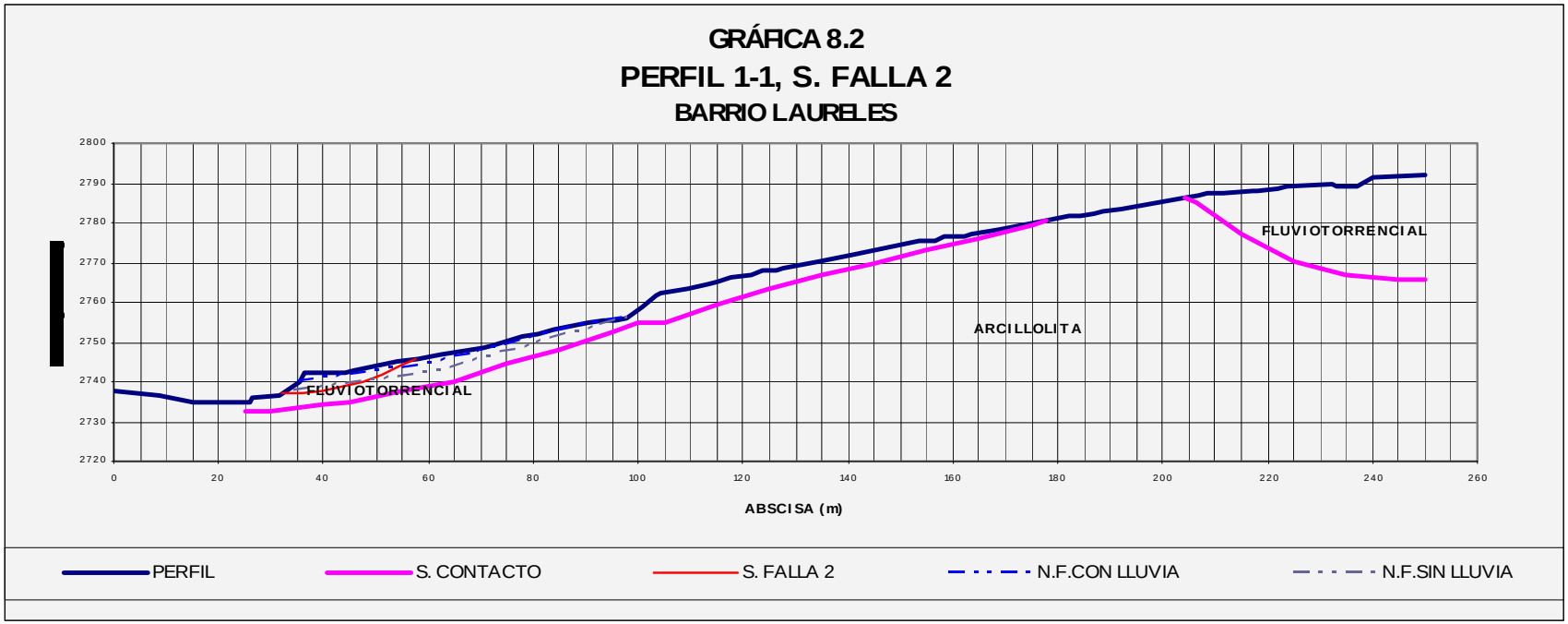
La asignación de la probabilidad de falla de la zona 4 obedece a criterios cualitativos basados en la comparación de los movimientos que se presentan tanto en la zona 1 como en la zona 4.

La probabilidad de falla establecida para la zona de amenaza 5, se estableció con base en los modelos ilustrados en la gráfica No. 8.12. Para este caso se modelaron tres superficies de falla para las cuales se determinaron probabilidades de falla muy similares.

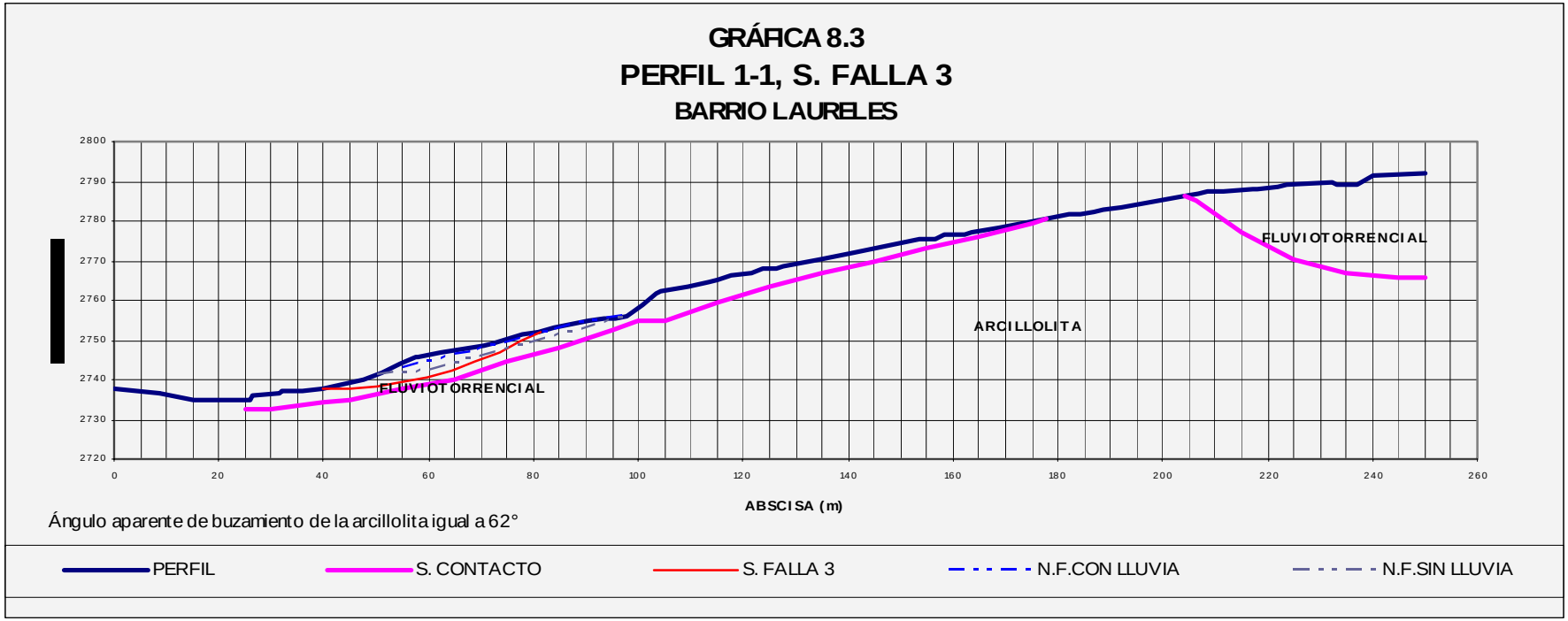
Gráfica 8.1. Perfil 1-1, superficie de falla 1.



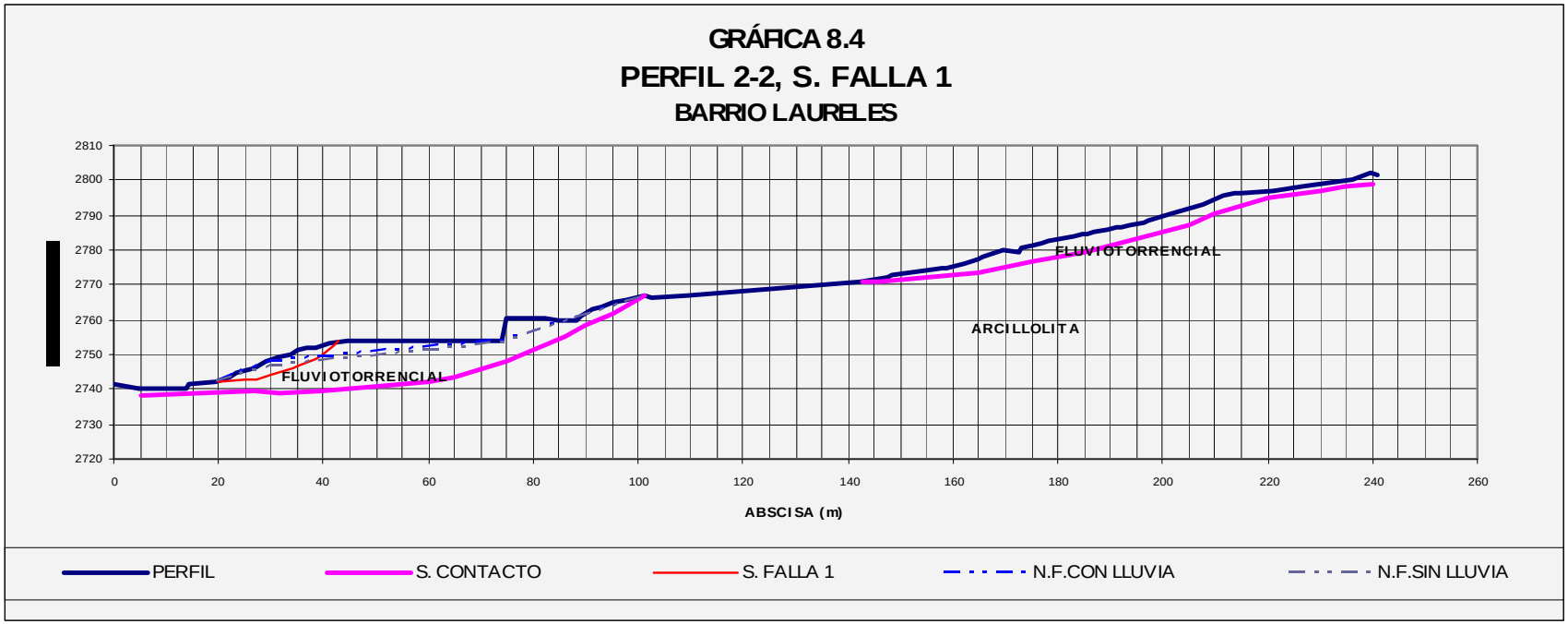
Gráfica 8.2. Perfil 1-1, superficie de falla 2.



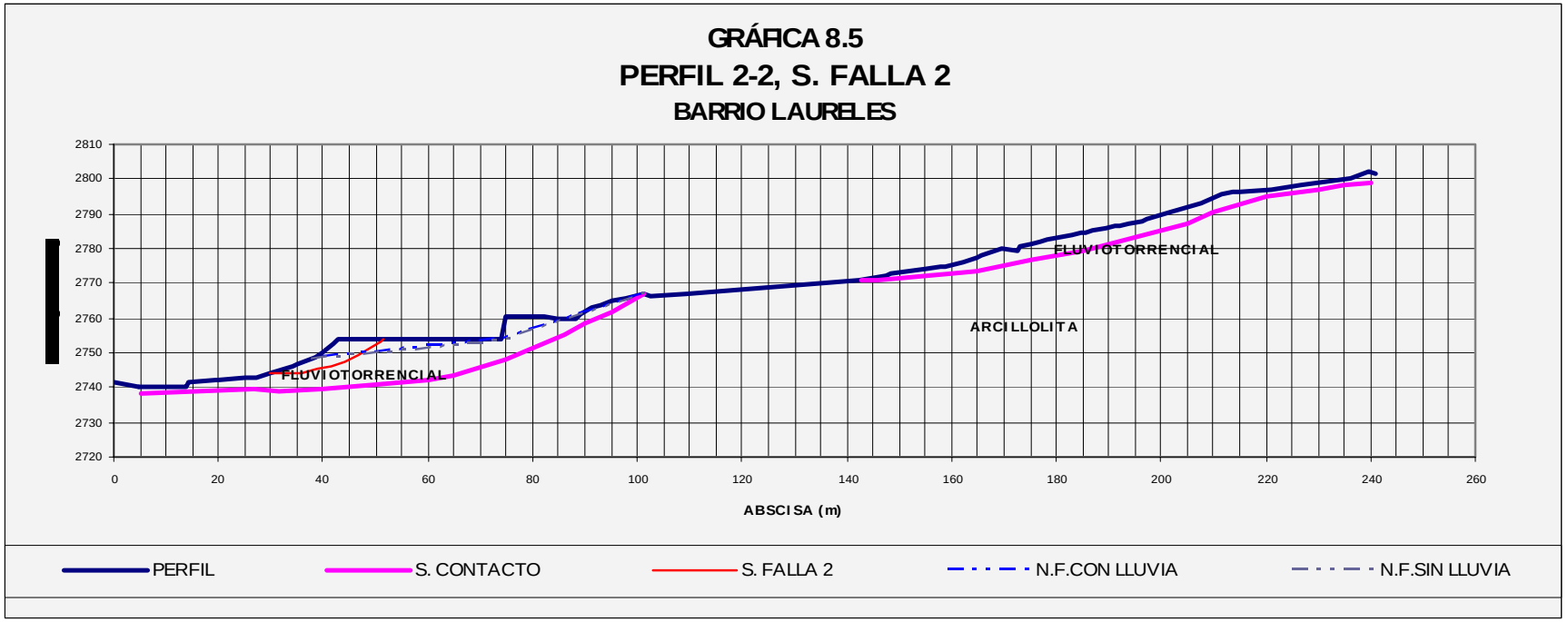
Gráfica 8.3. Perfil 3-3, superficie de falla 3.



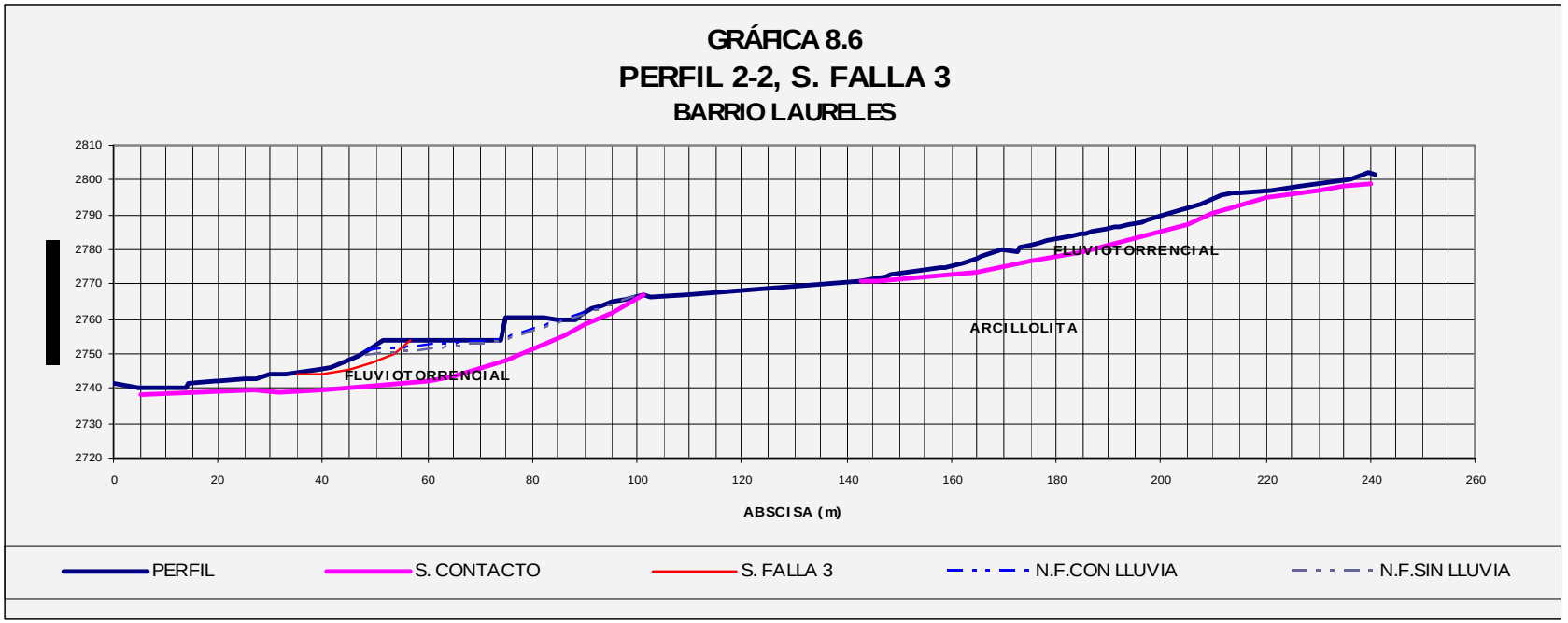
Gráfica 8.4. perfil 2-2, superficie de falla 1.



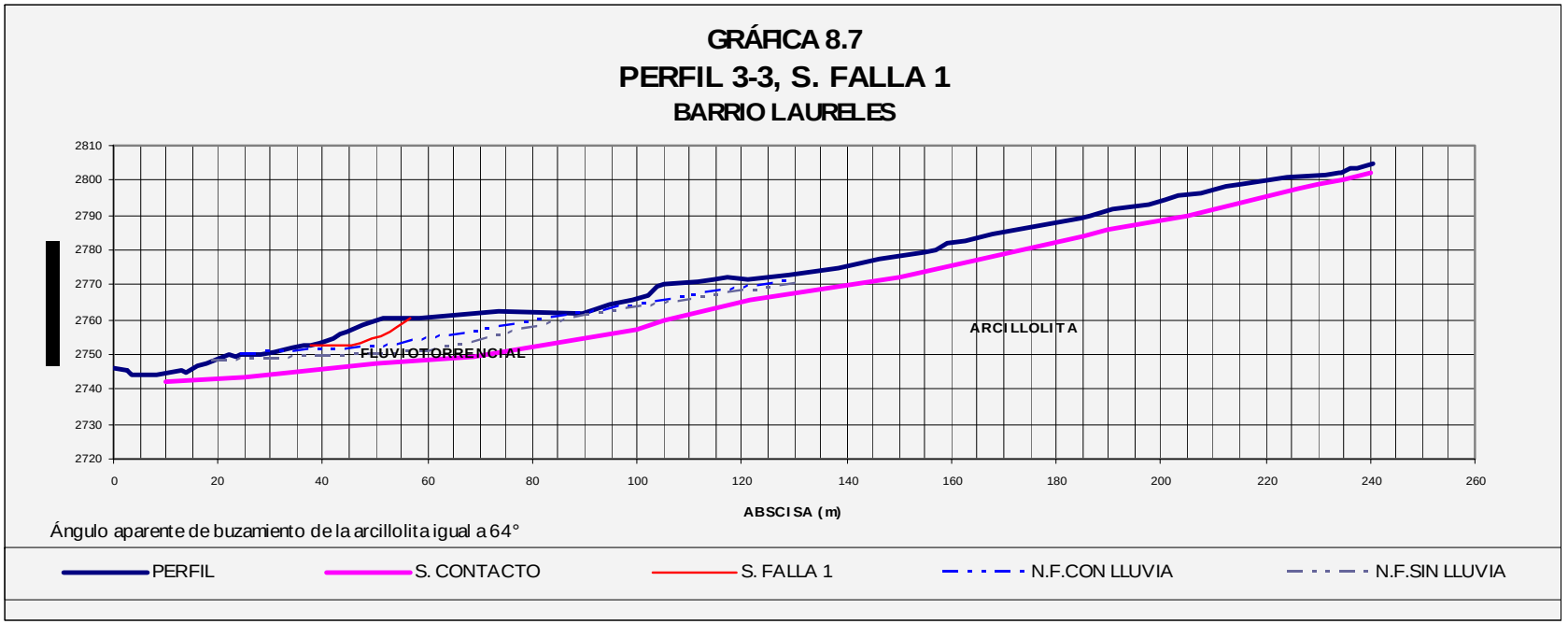
Gráfica 8.5. Perfil 2-2, superficie de falla 2.



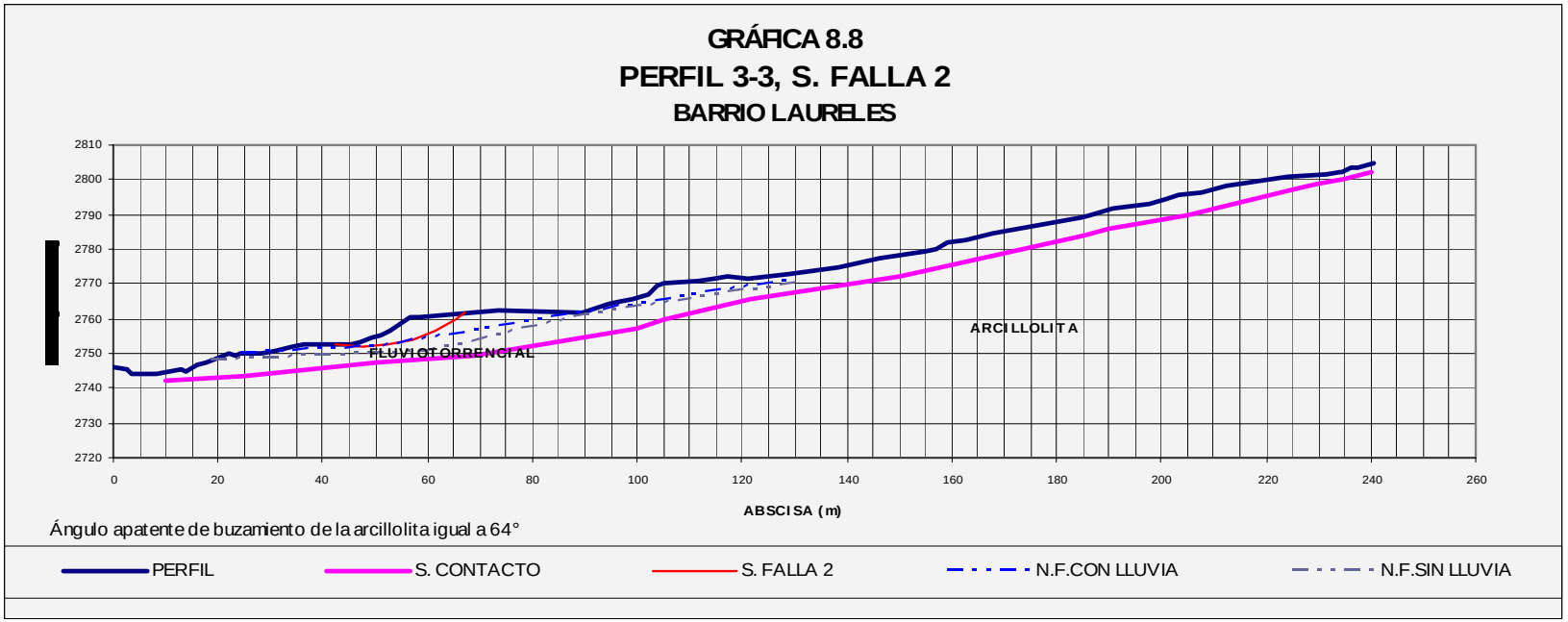
Gráfica 8.6. Perfil 2-2, superficie de falla 3.



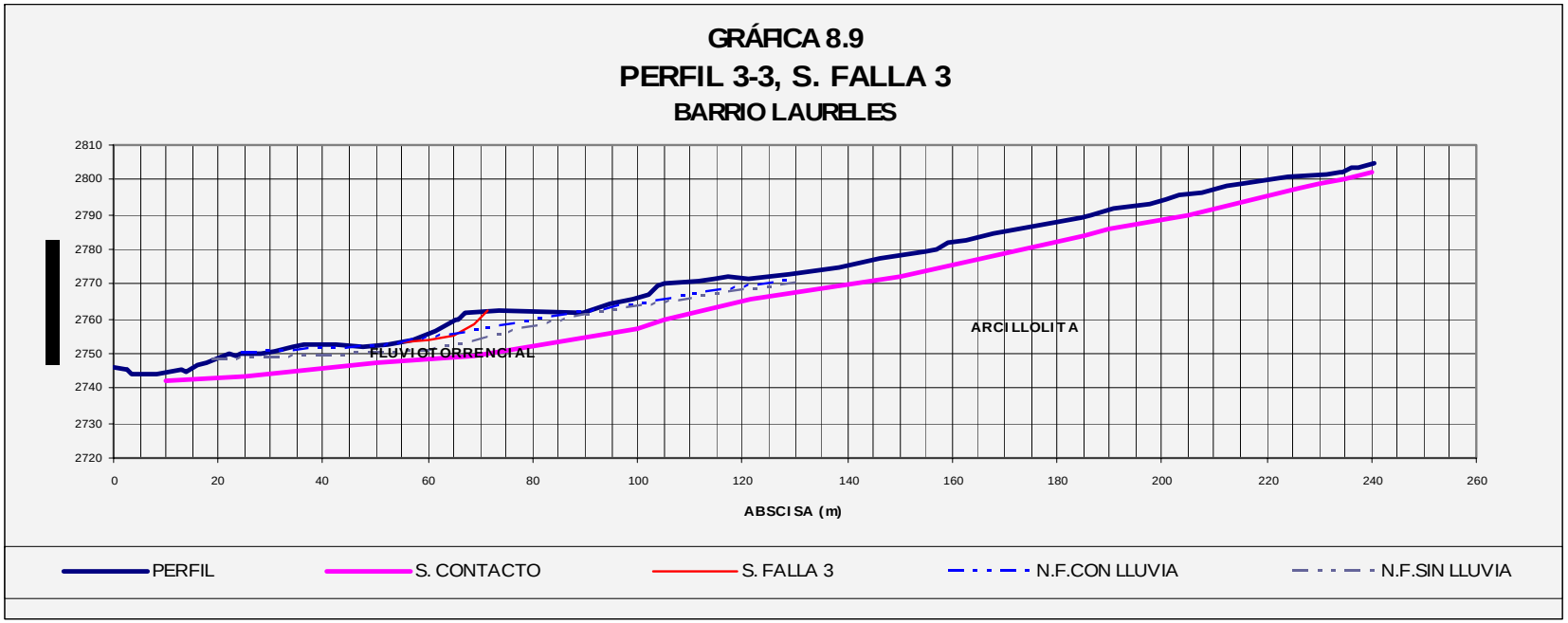
Gráfica 8.7. Perfil 3-3, superficie de falla 1.



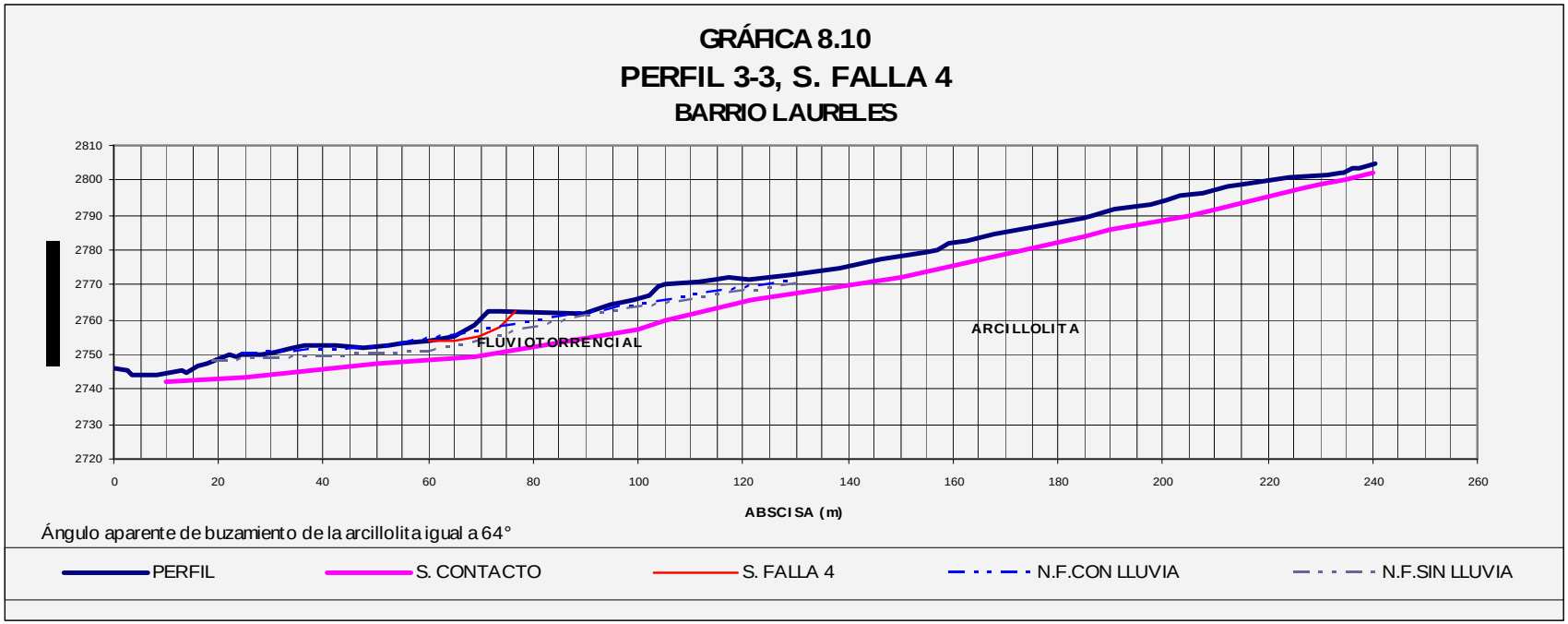
Gráfica 8.8. Perfil 3-3, superficie de falla 2.



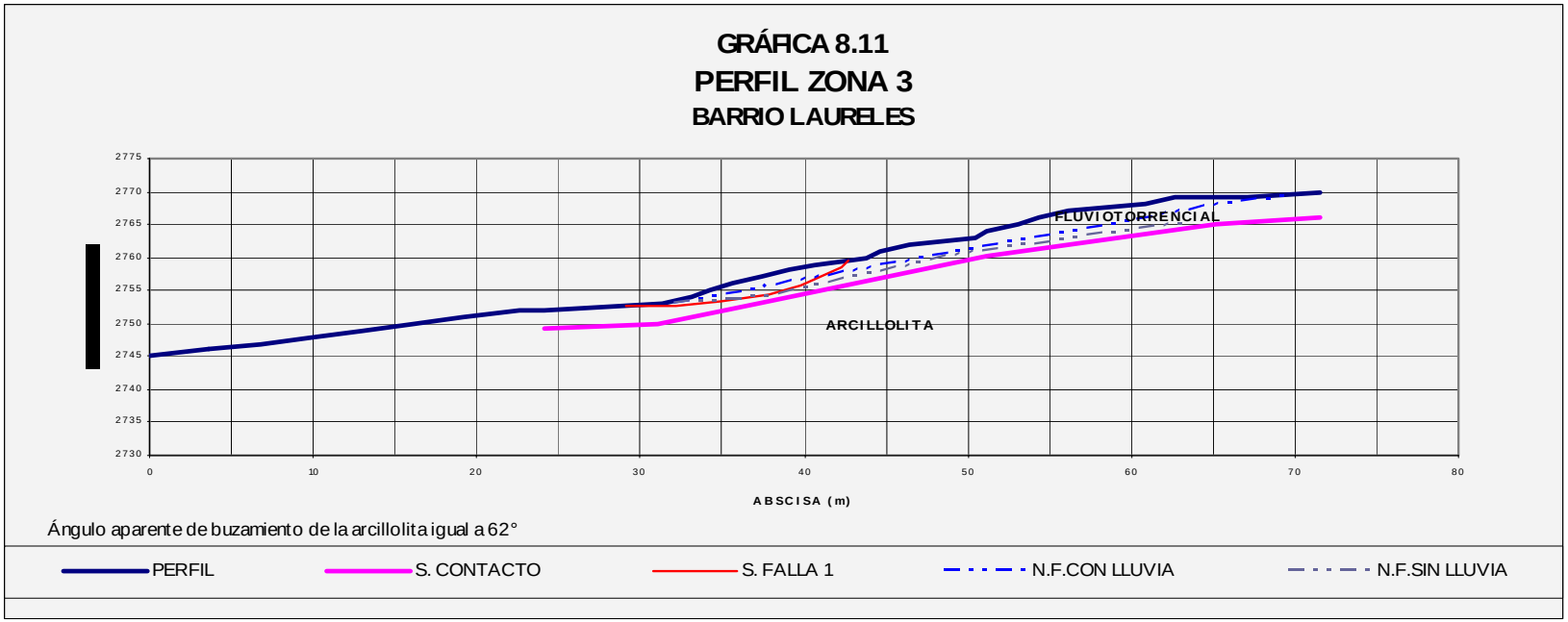
Gráfica 8.9. Perfil 3-3, superficie de falla 3.



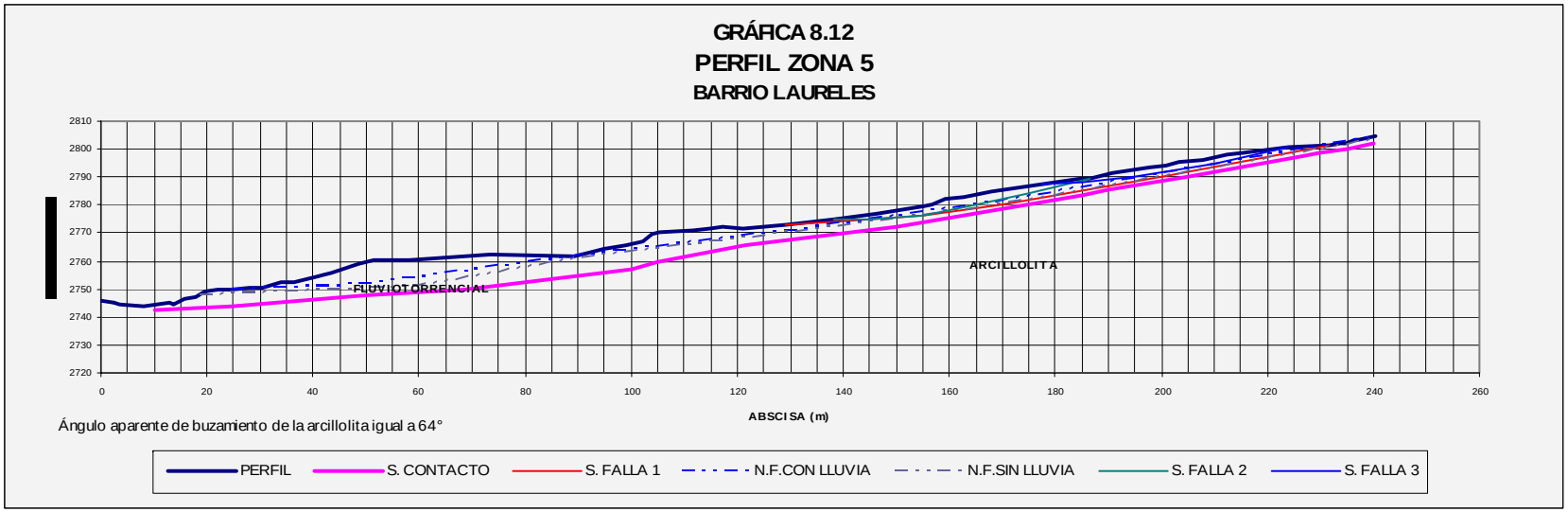
Gráfica 8.10. Perfil 3-3, superficie de falla 4.



Gráfica 8.11. Perfil zona 3.



Gráfica 8.12. Perfil zona 5.



8.1.1 Retrocálculo

Con el ejercicio de retrocálculo se busca establecer los valores inferiores de los parámetros de resistencia del depósito fluviotorrencial para los cuales éste entraría en falla.

Los valores de resistencia de los diferentes estratos tenidos en cuenta en este análisis son los mostrados en el cuadro No. 8.1, con excepción de los parámetros del fluviotorrencial, los cuales se variaron de la siguiente manera:

- Para la cohesión se tomaron los valores de 0.01, 0.03, 0.06, 0.09 y 0.12 Kg/cm^2.
- El ángulo de fricción interna se varió entre los siguientes valores 15°, 20°, 25°, 30° y 35°.

Para este ejercicio se decidió trabajar con la primera superficie de falla de cada uno de los perfiles analizados, gráficas No. 8.1, 8.4 y 8.7.

En la gráfica No. 8.13 se encuentran representados los factores de seguridad ante deslizamiento para cada una las posible combinaciones de C y ϕ posible con base en los valores previamente establecidos y para la primera superficie de falla de cada unos de los tres perfiles analizados.

De la gráfica No. 8.13 se extractaron los valores de las combinaciones de C y ϕ que representaban el límite entre las condiciones de estabilidad e inestabilidad, F.S. = 1.0. Estos valores se dibujaron en la gráfica No. 8.14, de la cual y después de analizar las condiciones del sector se tomaron como valores de resistencia del depósito fluviotorrencial, para el análisis los siguientes:

- Cohesión: 0.06 Kg/cm^2
- Ángulo de fricción: 25°

8.1.2 Datos de análisis

Parámetros de resistencia

A continuación se relacionan los valores de los parámetros de resistencia de cada uno de los estratos, empleados tanto en los análisis de estabilidad como en la determinación de la probabilidad de falla de cada una de las zonas de amenaza establecidas.

CUADRO No 8.2. PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA ESTABLECER LA PROBABILIDAD DE FALLA DE LAS ZONAS DE AMENAZA.

NUM	MATERIAL	C (Kg/cm2)	ϕ °	γ_t (Kg/cm^3)	γ_d (Kg/cm^3)
1	Arcillolita	0.8	36	2.12	1.87
2	M. Relleno	0.05	21	2.04	1.62
3	Fluviotorrencial	0.03	25	1.97	1.62

Se ha considerado que el depósito fluviotorrencial es el afectado por los deslizamientos que se observan en el terreno. Por tal motivo y a fin de establecer la probabilidad de falla, se estableció un rango de variación de los parámetros de este depósito, el cual se define a continuación:

Valor central de la cohesión E[C] = 0.06 Kg/cm^2
Valor central del ángulo de fricción E[ϕ] = 25°
Rango de variación para la cohesión de +/- 0.04 Kg/cm^2
Rango de variación para el ángulo de fricción de +/- 3°

Aceleración sísmica
En los análisis de probabilidad ejecutados se empleó un rango de variación de 0.0g a 0.3g. Este intervalo se determinó con base en la evaluación de sismicidad y amenaza sísmica efectuada en este estudio.

Periodo de retorno de la lluvia crítica.
Para este efecto se contó con la información presentada en el informe realizado por INGEOCIM LTDA, Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Bogotá, localidad de San Cristóbal, del cual se obtuvo un periodo de retorno igual a 30 años.

Coeficiente de relación entre la cohesión y el ángulo de fricción.
En vista de los pocos ensayos realizados y por ende la escasez de estos parámetros, se decidió trabajar con un relación de C y ϕ igual a 0.0, la cual se considera aceptable para los propósitos del estudio.

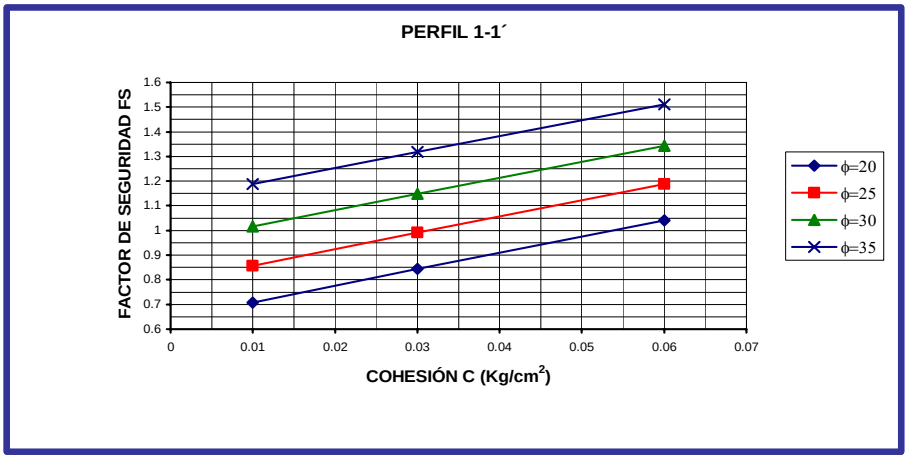
Gráfica 8.13. Retrocálculo. Factores de seguridad para diferentes combinaciones de C y ϕ.

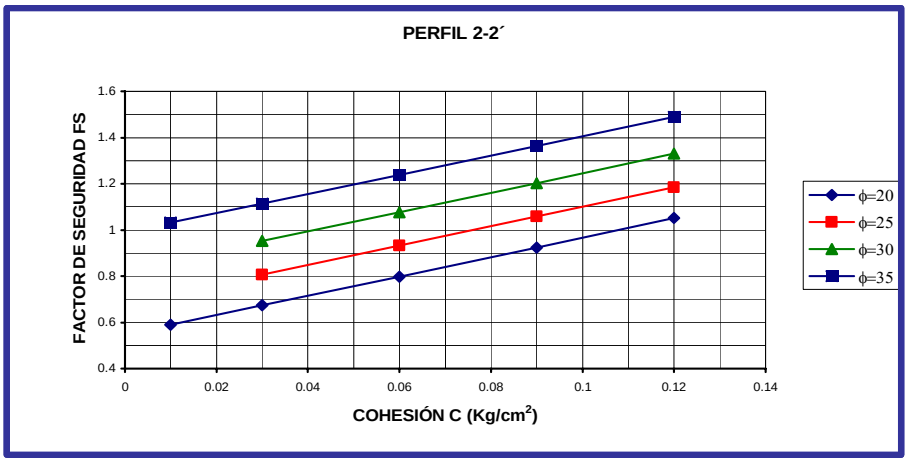
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD BARRIO LAURELES

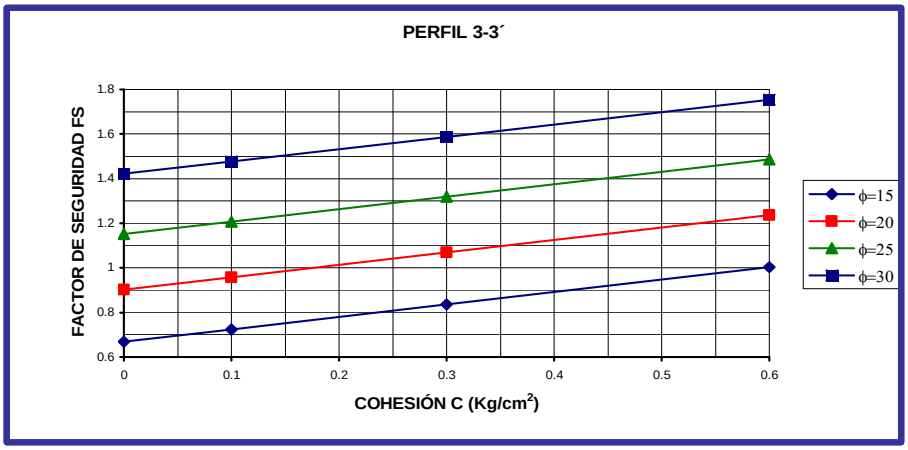
GRÁFICA 8.13

RETROCÁLCULO

FACTORES DE SEGURIDAD PARA DIFERENTES COMBINACIONES DE C Y ϕ

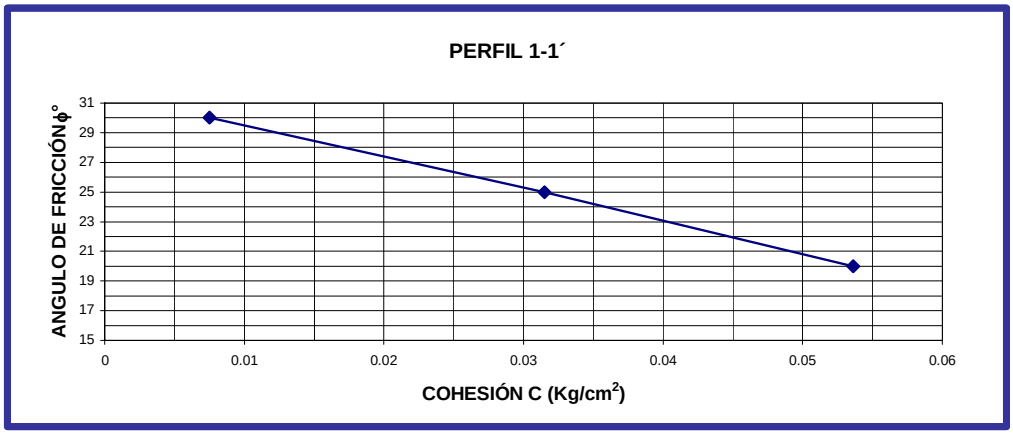


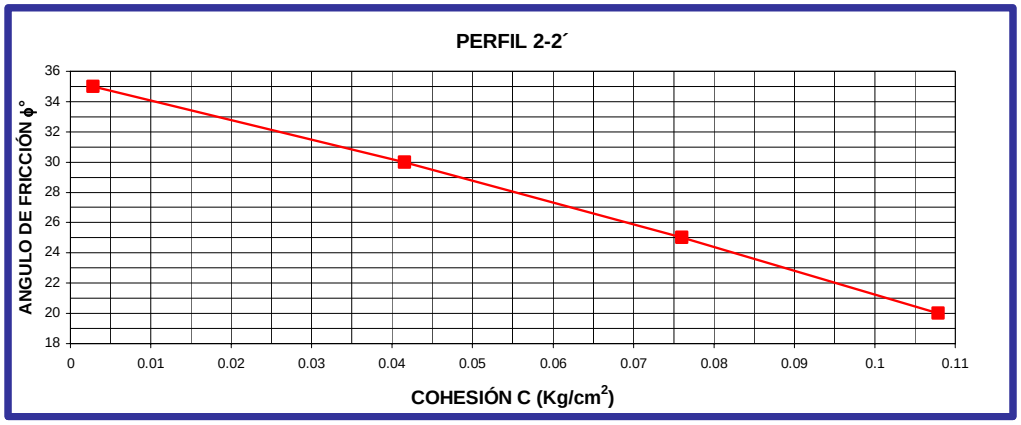


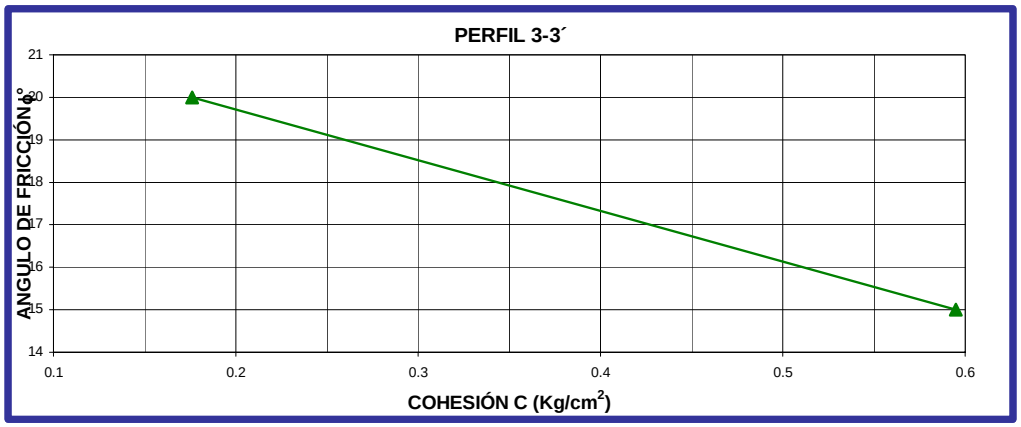


Gráfica 8.14. Retrocálculo. Combinaciones de C y ϕ para F.S.=1.0.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD BARRIO LAURELES
GRÁFICA 8.14
RETROCÁLCULO
COMBINACIONES DE C Y ϕ PARA F.S. = 1.0







8.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

A fin de establecer la probabilidad de falla de cada una de las zonas de amenaza ya definidas, se evaluaron los factores de seguridad encontrados a través del análisis de estabilidad efectuado a los diferentes perfiles promedios establecidos para las zonas evaluadas. Para el análisis se contó con la ayuda del programa Pcstable versión 5.0. Para establecer la probabilidad de falla y los niveles de amenaza se siguió la metodología planteada por Rosenblueth (1975,1985).

8.2.1 Zona 1, 2

Como se determinó la posible ocurrencia de un movimiento de carácter retrogresivo, el cual se podía activar con el desprendimiento de una primera cuña sobre la margen del río, se evaluaron varias superficies de falla para cada unos de los tres perfiles ilustrados en las gráficas 8.1 a 8.10. Además se consideró que el material que se desprendía era arrastrado por el río, por lo cual la forma del perfil que se iba analizando cambia. En las gráficas que a lo largo de este numeral se irán nombrando mostraran el cambio progresivo que se va asumiendo para cada uno de los perfiles analizados.

Al final del numeral se definen los valores de la probabilidad de falla para las zonas de amenaza establecidas.

8.2.1.1 Para el perfil 1-1´

La primera posibilidad de falla es la mostrada en la figura No. 8.1. En este análisis se consideraron los siguientes valores, asignados al depósito fluviotorrencial, sobre el cual y de acuerdo con la exploración geotécnica es el que se está deslizando en esta parte del área en estudio:

- Valor esperado de la cohesión E[C]=0.06 Kg/cm^2
- Valor esperado del ángulo de fricción interna E[ϕ]=25°
- Desviación estándar para la cohesión σ[C]=0.04 Kg/cm^2
- Desviación estándar para el ángulo de fricción interna σ[ϕ]=3°

Con los anteriores datos y la figura 8.1 se determinaron los factores de seguridad y los valores de la probabilidad de falla respectivos y que a continuación se presentan:

CUADRO No. 8.3 PROBABILIDAD DE FALLA, 1° SUPERFICIE DEL PERFIL 1-1´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.537	0.726	1.512	0.929
10	22	1.360	0.651	1.297	0.801
2	28	1.018	0.438	1.131	0.668
2	22	0.835	0.359	0.911	0.535
PROBABILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.274	0.988	0.1725	0.946
NORMAL		0.249	0.999	0.1672	0.965
WEIBULL		0.1993	0.9437	0.0914	0.8910
PROBABILIDAD CONDICIONADA					
LOGNORMAL		0.009	$6.94*10^{-5}$	0.1664	0.002
NORMAL		0.008	$7.01*10^{-5}$	0.1613	0.002
WEIBULL		0.0066	$6.62*10^{-5}$	0.0882	0.0018

La probabilidad de falla para un periodo de diseño dado se determina empleando la siguiente expresión:

$$PF(t) = \left(1 - e^{-PF_1 * t}\right) \quad (8.1)$$

donde:

PF(t): Probabilidad de falla para el período de diseño
t : Período de diseño
PF_1 : Probabilidad de falla para un año.
E : Base de los logaritmos naturales

Para el caso particular de la primera superficie y para un período de diseño de 20 años la probabilidad de falla es la siguiente:

$$PF\ (t = 20) = (1 - e^{-0.1664*20}) = 0.9641 \quad (8.2)$$

Para una segunda superficie de falla considerando el efecto retrogresivo, en el cual se considera que el material afectado por la primera falla ya no aporta resistencia y el cual se ha perdido, se obtuvieron los siguientes valores de factor de seguridad y probabilidad de falla. Los parámetros empleados son los ya enunciados. El modelo analizado es el mostrado en la gráfica No. 8.2.

CUADRO No. 8.4 PROBABILIDAD DE FALLA, 2° SUPERFICIE DEL PERFIL 1-1´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	2.168	0.929	2.467	1.123
10	22	1.842	0.796	2.068	0.947
2	28	1.526	0.633	1.826	0.813
2	22	1.198	0.499	1.426	0.637
PROBABILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.0122	0.939	0.0006	0.763
NORMAL		0.029	0.961	0.0061	0.750
WEIBULL		$1.14*10^{-5}$	0.8802	$6.59*10^{-17}$	0.7160
PROBABILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0004	$6.59*10^{-5}$	0.0006	0.0015
NORMAL		0.001	$6.74*10^{-5}$	0.0059	0.0015
WEIBULL		$3.8*10^{-7}$	$6.18*10^{-5}$	$6.35*10^{-17}$	0.0015

La probabilidad de falla de esta superficie de falla y para un período de 20 años, será igual a:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.0059*20}) = 0.1114 \quad (8.3)$$

Para una tercera superficie de falla, ilustrada en la gráfica 8.3, se establecieron los siguientes valores del factor de seguridad y probabilidad de falla:

CUADRO No. 8.5 PROBABILIDAD DE FALLA, 3° SUPERFICIE DEL PERFIL 1-1´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.561	0.721	1.853	0.896
10	22	1.339	0.626	1.564	0.763
2	28	1.053	0.459	1.333	0.620
2	22	0.813	0.366	1.045	0.488
PROBABILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.278	0.993	0.0492	0.958
NORMAL		0.249	0.999	0.0655	0.978
WEIBULL		0.2006	0.9548	0.0037	0.9028
PROBABILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.009	6.97*10-5	0.0474	0.0020
NORMAL		0.009	7.01*10-5	0.0632	0.0020
WEIBULL		0.0067	6.7*10-5	0.0036	0.0018

Para este caso y para un período de diseño de 20 años, la probabilidad de falla será igual a:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.0632*20}) = 0.7175 \quad (8.4)$$

Para determinar la probabilidad de falla total de la segunda franja y para un período de diseño de 20 años, se multiplica el valor encontrado para la primera superficie por la probabilidad establecida para la segunda superficie así:

$$PF\ (2º\ sup\ erf.) = 0.9641 * 0.1114 = 0.1047 \quad (8.5)$$

De igual manera la probabilidad de falla de una tercera zona será igual al producto de la probabilidad de la segunda zona por el anterior valor.

$$PF\ (2º\ sup\ erf.) = 0.1074 * 0.7175 = 0.0771 \quad (8.6)$$

8.2.1.2 Para el perfil 2- 2´

Para el segundo perfil se consideraron los mismos parámetros de resistencia y rangos de variación enunciados en el numeral anterior.

La primera superficie de falla evaluada es la que se presenta en la gráfica No. 8.4 y los valores de factor de seguridad y probabilidad de falla encontrados en este análisis son los siguientes:

CUADRO No. 8.6 PROBABILIDAD DE FALLA, 1° SUPERFICIE DEL PERFIL 2-2´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.185	0.622	1.319	0.705
10	22	1.019	0.544	1.125	0.612
2	28	0.852	0.426	0.970	0.499
2	22	0.684	0.347	0.776	0.403
PROBABILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.666	0.999	0.4437	0.998
NORMAL		0.636	1.00	0.4060	1.000
WEIBULL		0.6254	0.985	0.3985	0.9751
PROBABILIDAD CONDICIONADA					
LOGNORMAL		0.0221	$7.01*10^{-5}$	0.4280	0.0020
NORMAL		0.0212	$7.02*10^{-5}$	0.3916	0.0020
WEIBULL		0.0208	$6.91*10^{-5}$	0.3844	0.0020

Para este caso y para un período de diseño de 20 años la probabilidad de falla será igual a:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.4280*20}) = 0.9998 \quad (8.7)$$

Una segunda superficie de falla fue evaluada, Figura No. 8.5 y los valores obtenidos en este caso con respecto al factor de seguridad para estabilidad así como la probabilidad de falla se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 8.7 PROBABILIDAD DE FALLA, 2° SUPERFICIE DEL PERFIL 2-2´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.540	0.878	1.484	0.836
10	22	1.282	0.737	1.238	0.705
2	28	1.172	0.645	1.117	0.605
2	22	0.913	0.504	0.871	0.474
PROBABILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.1603	0.973	0.2255	0.983
NORMAL		0.1568	0.938	0.2108	0.995
WEIBULL		0.0787	0.9242	0.1480	0.9399
PROBABILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0053	$6.83*10^{-5}$	0.2175	0.0020
NORMAL		0.0052	$6.94*10^{-5}$	0.2034	0.0020
WEIBULL		0.0026	$6.49*10^{-5}$	0.1427	0.0019

La probabilidad de falla para un periodo de diseño de 20 años es la siguiente:

$$PF(t=20)=\left(1-e^{-0.2175*20}\right)=0.9871 \quad (8.8)$$

Como la falla de esta segunda superficie esta supeditada a la falla de la primera, la probabilidad de falla es el resultado de multiplicar la probabilidad de la primera superficie por la probabilidad de la segunda, así:

$$PF(2°\sup erf.)=0.9998*0.9871=0.9869 \quad (8.9)$$

Para este segundo perfil se evaluó una tercera superficie de falla, figura 8.6. Los resultados obtenidos del análisis de estabilidad y los valores de la probabilidad de falla para este caso se ilustran en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 8.8 PROBABILIDAD DE FALLA, 3° SUPERFICIE DEL PERFIL 2-2´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.400	0.778	1.435	0.819
10	22	1.207	0.683	1.232	0.713
2	28	0.916	0.471	0.960	0.511
2	22	0.726	0.377	0.759	0.407
PROBABILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.454	0.0795	0.3971	0.972
NORMAL		0.405	0.9958	0.3540	0.991
WEIBULL		0.3993	0.9275	0.3381	0.9177
PROBABILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0182	$6.87*10^{-5}$	0.3831	0.0020

NORMAL	0.0198	$6.99*10^{-5}$	0.3415	0.0020
WEIBULL	0.0133	$6.51*10^{-5}$	0.3261	0.0019

La probabilidad de falla para un periodo de diseño de 20 años es la siguiente:

$$PF(t=20)=\left(1-e^{-0.3831*20}\right)=0.9995 \quad (8.10)$$

Al igual que para el perfil anterior la probabilidad de falla para la tercera franja se determina multiplicando las probabilidades anteriormente encontradas.

$$PF(3°\sup erf.)=0.9869*0.9995=0.9864 \quad (8.11)$$

8.2.1.3 Para el perfil 3-3´

Para una primera superficie de falla en el perfil 3-3´, Figura 8.7, se encontraron los siguientes valores de factor de seguridad y probabilidad de falla. Los valores de resistencia adoptados para los diferentes estratos son los enunciados en el numeral 8.2.1.1..., de igual manera, en este numeral se indican los intervalos considerados en cuanto a lo parámetros de resistencia del depósito fluviotorrencial para la determinación de la probabilidad de falla.

CUADRO No. 8.9 PROBABILIDAD DE FALLA, 1° SUPERFICIE DEL PERFIL 3-3´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.868	1.020	1.868	1.020
10	22	1.558	0.857	1.558	1.857
2	28	1.421	0.758	1.421	0.758
2	22	1.111	0.594	1.111	0.594
PROBABILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.0209	0.8819	0.0209	0.5372
NORMAL		0.0360	0.894	0.0359	0.4531
WEIBULL		0.00014	0.8277	0.00014	0.4546
PROBABILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0007	$6.19*10^{-5}$	0.0201	0.0011
NORMAL		0.0012	$6.27*10^{-5}$	0.0347	0.0009
WEIBULL		$4.81*10^{-6}$	$5.81*10^{-5}$	0.00014	0.00092

La probabilidad de falla para un período de diseño de 20 años y para la primera superficie de falla es la siguiente:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.0347*20}) = 0.500 \quad (8.12)$$

Una segunda revisión de estabilidad se llevó a cabo considerando un deslizamiento retrogresivo, Figura No. 8.8, en cuyo caso se encontraron los siguientes valores del factor de seguridad y probabilidad de falla:

CUADRO No. 8.10 PROBABILIDAD DE FALLA, 2° SUPERFICIE DEL PERFIL 3-3´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.869	1.019	1.869	1.019
10	22	1.560	0.857	1.560	0.857
2	28	1.405	0.744	1.405	0.744
2	22	1.096	0.582	1.096	0.582
PROBABLILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.0259	0.8821	0.0259	0.8821
NORMAL		0.0417	0.8944	0.0417	0.8944
WEIBULL		0.0004	0.8267	0.0004	0.8267
PROBABLILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0009	$6.18*10^{-5}$	0.0250	0.0018
NORMAL		0.0014	$6.25*10^{-5}$	0.0402	0.0018
WEIBULL		$1.19*10^{-5}$	$5.80*10^{-5}$	0.0003	0.0017

La probabilidad de esta superficie y para un período de diseño de 20 años se obtiene empleando la siguiente expresión:

$$PF(t=20)=\left(1-e^{-0.0402*20}\right)=0.552 \quad (8.13)$$

De tal manera que la probabilidad de falla para la segunda franja resulta de multiplicar la probabilidad de falla de la primera superficie por la probabilidad de la segunda así:

$$PF(2°\sup erf.)=0.500*0.552=0.276 \quad (8.14)$$

Con un perfil del terreno configurado con el que se muestra en la Figura No. 8.9, que resulta de retirar el material que involucra la superficie de falla identificada en el ejercicio anterior, se llevó a cabo un análisis de estabilidad del cual se obtuvieron los siguientes factores de seguridad, con los cuales se dedujeron las probabilidades de falla, también ilustradas a continuación:

CUADRO No. 8.11 PROBABILIDAD DE FALLA, 3° SUPERFICIE DEL PERFIL 3-3´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.549	0.938	1.579	0.961
10	22	1.333	0.816	1.356	0.835
2	28	1.033	0.592	1.062	0.614
2	22	0.816	0.471	0.838	0.488
PROBABLILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.2857	0.9239	0.2518	0.9114
NORMAL		0.257	0.9468	0.2295	0.9322
WEIBULL		0.2110	0.8599	0.1731	0.8475
PROBABLILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0095	$6.48*10^{-5}$	0.2429	0.0019
NORMAL		0.0085	$6.64*10^{-5}$	0.2213	0.0019
WEIBULL		0.0070	$6.03*10^{-5}$	0.1669	0.0017

Par un periodo de diseño de 20 años se estableció la siguiente probabilidad:

$$PF(t=20)=\left(1-e^{-0.2429*20}\right)=0.992 \quad (8.15)$$

Para una tercera franja la probabilidad de falla se establece como el producto de la probabilidad de la segunda franja por la probabilidad de la tercera así:

$$PF\ (3º\ sup\ erf.) = 0.276 * 0.992 = 0.274 \quad (8.16)$$

La última superficie de falla evaluada bajo las consideraciones planteadas es la mostrada en la Figura No. 8.10, los resultados del análisis se consignan en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 8.12 PROBABILIDAD DE FALLA, 4° SUPERFICIE DEL PERFIL 3-3´

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.301	0.755	1.410	0.840
10	22	1.114	0.656	1.197	0.723
2	28	0.882	0.479	0.990	0.563
2	22	0.696	0.382	0.778	0.444
PROBABLILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.549	0.9877	0.3836	0.9737
NORMAL		0.503	0.9985	0.3450	0.9910
WEIBULL		0.5030	0.9442	0.3263	0.9223
PROBABLILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0183	$6.93*10^{-5}$	0.3700	0.0020
NORMAL		0.0167	$7.01*10^{-5}$	0.3328	0.0020
WEIBULL		0.0167	$6.63*10^{-5}$	0.3148	0.0019

Para un periodo de diseño igual a 20 años, el valor de la probabilidad de falla es el siguiente:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.3700*20}) = 0.999 \quad (8.17)$$

La probabilidad de falla para una cuarta franja se establece mediante la siguiente expresión:

$$PF(4^{\circ}\sup erf.) = 0.274 * 0.999 = 0.2735 \quad (8.18)$$

Después, se ubicó sobre un plano el ápice de cada superficie de falla con su respectivo valor de probabilidad de colapso. Con este esquema y después de revisar y analizar los valores y su posición dentro de la zona, teniendo en cuenta la dispersión que se encontró en los valores de falla, se decidió ponderar los valores estimados para cada franja, a fin de establecer un valor para cada una de ellas. Como resultado de esta actividad se obtuvieron los siguientes resultados:

FRANJA No.	PROMEDIO DEL VALOR DE PROBABILIDAD
1	0.8213
2	0.4568
3	0.4458

En vista de la cercanía entre los valores de las franjas 2 y 3, se decidió definir estas dos como una sola área de amenaza con un valor de probabilidad de falla igual a 0.4568.

8.2.2 Zona 3

Para esta zona, ubicada al occidente de la vía de acceso, se evaluó la estabilidad y la probabilidad de falla empleando el modelo ilustrado en la Figura No. 8.11, los resultados se ilustran en el cuadro siguiente:

CUADRO No. 8.13 PROBABILIDAD DE FALLA ZONA 4

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	1.633	0.869	1.903	0.956
10	22	1.506	0.817	1.749	0.896
2	28	0.763	0.362	0.903	0.404
2	22	0.631	0.305	0.746	0.339
PROBABLILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.4594	0.9123	0.3096	0.8764
NORMAL		0.3813	0.9460	0.2605	0.8960
WEIBULL		0.3746	0.8283	0.2141	0.7898
PROBABLILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0153	$6.4*10^{-5}$	0.2986	0.0018
NORMAL		0.0127	$6.64*10^{-5}$	0.2513	0.0018

WEIBULL	0.0125	$5.81*10^{-5}$	0.2065	0.0016

La probabilidad de falla para un período de 20 años se estima de la siguiente manera:

$$PF(t=20)=\left(1-e^{-0.2986*20}\right)=0.997 \quad (8.19)$$

8.2.3 Zona 4

La asignación de la probabilidad de falla para esta zona se hizo de manera cualitativa, teniendo en mente tanto el gran número de deslizamientos presentes en la zona como su tamaño.

De no prestar atención a esta zona se pueden agravar la estabilidad de la ladera, con lo cual se puede generar un movimiento retrogresivo, el cual alcanzaría las últimas casa ubicadas al sur del barrio, tal como lo muestra el plano de zonificación por riesgo.

8.2.4 Zona 5

Para determinar la probabilidad de falla de esta zona se modelaron tres superficies de falla, las cuales se ilustran en la gráfica No. 8.12. Los parámetros de resistencia empleado son los ya enunciados.

Como resultado de este análisis se obtuvieron los siguientes valores de factores de seguridad y probabilidades de falla.

CUADRO No. 8.14 PROBABILIDAD DE FALLA ZONA 5 – 1° FALLA

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	2.062	0.956	2.442	1.146
10	22	1.718	0.803	2.017	0.952
2	28	1.556	0.702	1.902	0.874
2	22	1.213	0.549	1.478	0.681
PROBABLILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.006	0.9336	0.0001	0.7179
NORMAL		0.0185	0.9525	0.0026	0.6986
WEIBULL		$2.96*10^{-7}$	0.8781	$9.36*10^{-28}$	0.6784
PROBABLILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		0.0003	$6.55*10^{-5}$	0.00012	0.0015
NORMAL		0.0006	$6.68*10^{-5}$	0.0025	0.0014
WEIBULL		$9.86*10^{-9}$	$6.11*10^{-5}$	$9.03*10^{-28}$	0.0014

La probabilidad de falla para un periodo de 20 años se estima de la siguiente manera:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.0025*20}) = 0.0488 \quad (8.20)$$

CUADRO No. 8.15 PROBABILIDAD DE FALLA ZONA 5 – 2° FALLA

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	2.447	1.195	2.556	1.26
10	22	2.077	1.022	2.17	1.073
2	28	1.723	0.817	1.829	0.875
2	22	1.353	0.643	1.434	0.688
PROBABLILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.0025	0.6824	0.0009	0.5898
NORMAL		0.0134	0.6510	0.0081	0.5484
WEIBULL		$3.06*10^{-10}$	0.6358	$8.03*10^{-15}$	0.5466
PROBABLILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		$8.43*10^{-5}$	$4.79*10^{-5}$	0.0008	0.0012
NORMAL		0.0004	$4.57*10^{-5}$	0.0078	0.0011
WEIBULL		$1.02*10^{-11}$	$4.46*10^{-5}$	$7.75*10^{-15}$	0.0011

La probabilidad de falla para un período de 20 años se estima de la siguiente manera:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.0078*20}) = 0.144 \quad (8.21)$$

CUADRO No. 8.16 PROBABILIDAD DE FALLA ZONA 5 – 3° FALLA

C (KPa)	ϕ°	CON LLUVIA SIN SISMO	CON LLUVIA CON SISMO	SIN LLUVIA SIN SISMO	SIN LLUVIA CON SISMO
10	28	3.136	1.493	3.136	1.493
10	22	2.708	1.298	2.708	1.298
2	28	2.051	0.949	2.051	0.949
2	22	1.623	0.754	1.623	0.754
PROBABLILIDAD DEL EVENTO					
LOGNORMAL		0.0005	0.3796	0.0005	0.3796
NORMAL		0.009	0.3345	0.0090	0.3345
WEIBULL		$1.64*10^{-17}$	0.3144	$1.64*10^{-17}$	0.3144
PROBABLILIDAD CONDICIONAL					
LOGNORMAL		$1.65*10^{-5}$	$2.66*10^{-5}$	0.0005	0.0008
NORMAL		0.0003	$2.35*10^{-5}$	0.0087	0.0007
WEIBULL		$5.47*10^{-19}$	$2.21*10^{-5}$	$1.59*10^{-17}$	0.0006

La probabilidad de falla para un período de 20 años se estima de la siguiente manera:

$$PF\ (t=20) = (1-e^{-0.0087*20}) = 0.16 \quad (8.22)$$

Como se puede apreciar, para los modelos corridos los valores de la probabilidad de falla para un período de 20 años son similares, por lo cual se le asigno a esta zona una probabilidad de falla igual a 0.16

8.3 PROBABILIDADES DE FALLA

Con los procedimientos antes referidos se establecieron los siguientes valores de probabilidad de falla para cada una de las zonas de amenaza definidas.

CUADRO No. 8.11 PROBABILIDADES DE FALLA

ZONA	P.F.
1	0.8213
2	0.4568
3	0.9970
4	0.8213
5	0.16

Con lo cual las zonas de amenaza 1,3 y 4 quedarían definidas como de amenaza muy alta, la zona 2 presenta un nivel de amenaza media y la zona 5 presenta amenaza baja.

8.4 DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE AMENAZA

Para determinar cada una de las zonas de amenaza y su radio de influencia se tuvo en cuenta entre otros aspectos los siguientes:

- Zonificación morfodinámica
- Zonas en las cuales se establecieron condiciones de saturación y meteorización de los materiales del subsuelo
- Distancia de viaje de las masas que podrían desplazarse en un deslizamiento.

Para determinar la distancia de viaje de las masas afectadas por deslizamiento se empleó la gráfica No. 8.13, que corresponden a la zona de amenaza 3.

Para las zonas de amenaza 1 y 2 se consideró un efecto retrogresivo, por lo cual el límite de estas zonas se estableció durante y mediante el proceso de determinación de las probabilidades de falla de las estas zonas.

La delimitación de la zona No. 4 se realizó de manera cualitativa y con base en el tipo de inestabilidad que se observa.

9 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO.

9.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo del presente capítulo se presentan los diferentes aspectos tenidos en cuenta para la zonificación por vulnerabilidad y riesgo del área en estudio. Este trabajo se basó en la metodología planteada en los numerales 1.3.8 y 1.3.9 del presente informe, la cual se elaboró a partir de la empleada por Ingeocim Ltda en su estudio de zonificación de riesgos por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá.

Según el artículo antes citado " La vulnerabilidad es una medida de las incapacidades de una comunidad para adaptarse a los cambios (daños) en su hábitat, ocasionados por un evento dado (deslizamiento, inundación, sismo etc.). Dichas incapacidades son de diversos tipos, tales como físico, social, económico, etc.". De igual manera en el artículo se plantea que la evaluación de la vulnerabilidad debe hacerse teniendo en cuenta todos los aspectos y no solo el físico, tal como suele hacerse.

Es por lo anterior que los resultados del análisis que a continuación se plantean involucran estos dos aspectos. Al final del capítulo se determinará el nivel de riesgo al que están expuestas cada una de las casas del sector. Los resultados de estas actividades se han plasman en los planos No. 08 y 09.

9.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

El procedimiento seguido para establecer el grado de vulnerabilidad que expone cada una de las viviendas del barrio Laureles se estableció en el numeral 1.3.8 del presente informe. Los resultados de cada uno de los pasos allí descritos al igual que el nivel de vulnerabilidad de cada una de las viviendas se presenta en el cuadro No. 9.1.

Para la elaboración de los análisis se contó con datos acopiados mediante encuestas diseñadas por el FOPAE, que el consorcio consultor aplicó a cada una de las viviendas del sector. Los aspectos que se consideraron relevantes para este análisis se encuentran consignados en el cuadro No. 9.1.

El análisis de vulnerabilidad se hizo a nivel de viviendas, sin embargo, fue necesario hacer algunos de los análisis a nivel de manzana, tal como la determinación de los índices de carencias, debido a la poca información adquirida.

De la labor realizada se concluye que la mayoría de las viviendas del sector en estudio exhiben un nivel de vulnerabilidad alto a muy alto, con algunos predios que presentan un

nivel medio. Estos niveles de vulnerabilidad se deben tanto al tipo y magnitud del movimiento que se presenta en el barrio como al tipo de construcciones que allí se encuentran.

Es claro que aquellas viviendas que no presentan adecuadas técnicas de construcción son más vulnerables que aquellas que si las tienen. De igual manera se entiende que los niveles de vulnerabilidad esta influenciados por el tipo de movimiento que amenaza a cada predio y que en la zona en estudio son de gran importancia, con lo cual los niveles de vulnerabilidad resultan bastante altos.

Por lo tanto los niveles de vulnerabilidad establecidos para la zona en estudio son altos a muy altos. Sin embargo y debido a lo ya expuesto, algunas construcciones clasificadas como B3 y B2 exhiben un nivel de riesgo bajo a medio.

En el cuadro No. 9.1. se encuentran reportados los datos relevantes para la determinación del nivel de vulnerabilidad. Si se desea conocer o verificar dichos valores, se recomienda consultar el anexo No. 10.

9.3 ANÁLISIS DE RIESGO

Para determinar el nivel de riesgo al cual están expuesta cada una de las viviendas de la zona en estudio se siguió la metodología planteada en el numeral 1.3.9, la cual se basa en la empleada por el Ingeocim Ltda en su estudio de zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santafé de Bogotá. En el cuadro No. 9.1 se consigna el resultado de tal procedimiento así como el nivel de riesgo establecido.

Para la zona en estudio se establecieron niveles de riesgo muy bajo a medio con algunas zonas con niveles de altos a muy altos.

Debe recordarse que el riesgo esta directamente relacionado con la probabilidad de ocurrencia de la falla del fenómeno de inestabilidad que se presenta. Es por tanto que a pesar de que la mayoría de la zona exhiben niveles altos de vulnerabilidad, el nivel de riesgo establecido es mas bajo.

A continuación se hace una descripción de cada uno de los niveles establecidos.

Nivel Bajo: En este nivel se encuentran los predios ubicados sobre la segunda y tercera terrazas. Las viviendas presentan buenas características de construcción, razón por la cual se califican como B2 y B3. Los niveles de amenaza y vulnerabilida de esta zona son medio y medio alto.

Nivel Muy Bajo: Es la zona en la cual se encuentran ubicadas viviendas que presentan un nivel bajo de vulnerabilidad y amenaza media. Dentro de este nivel también se encontraron viviendas que presentan niveles de vulnerabilidad y de amenaza altos, pero que se tratan de viviendas tipo B2 y B3.

Nivel Medio: En los sectores identificados con este nivel se encuentran los predios que presentan niveles de vulnerabilidad y amenaza muy alto y alto a medio respectivamente, sin embargo, dichos viviendas se clasifican B1 y en ocasiones B2.

Nivel Alto: Esta zona comprende la ronda del río, zona en la cual se establecieron niveles de amenaza y vulnerabilidad muy alta y alta a muy alta respectivamente. En esta zona se identificaron la mayoria de los problemas de inestabilidad de la zona. Los predios ubicados en esta zona no presentan adecuadas técnicas de construcción.

Nivel Muy Alto: Esta zona esta asociada al deslizamiento que se presenta en el costado occidental de la vía de acceso y en ella se involucran las viviendas que se veían afectadas por un eventual desprendimiento del material que conforma el flujo. Los predios involucrados presentan escasas técnicas de construcción y fueron categorizados como B1 principalmente.

Nivel Alto y Muy Alto: Comprende los sectores en los cuales se encuentran predios que presentan niveles de amenaza y vulnerabilidad muy alto. En éstos, el tipo de vivienda es B1.

Cuadro No. 9.1 Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo

Hoja 1 de 2

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
BARRIO LAURELES

No. MANZANA	No. ORDEN	No. CASA	TIPOLOGÍA DE VIVIENDA	HABITANTES	SOLICITACIÓN	NIVEL DE DAÑO	IVF	ICServ	ICViv	zICServ	zICViv	IGC	zIGC	CATERGORIA DEL IGC	IVS	IVF	IVD	IPE	IPA	IPG	VULNERABILIDAD	ZONA DE AMENAZA AFERENTE	NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD DE FALLA	IRE	IPA	PERSONAS AFECTADAS	RIESGO
1	1	36	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	2	37	B1	2	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9	0.25	0.25	0.67	0.54	0.61	0.77	MUY ALTO	1.00	0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	1.00	MEDIO
	3	38	B3	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	4	39	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	3.00	MEDIO
2	5	1	B3	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	2.00	BAJO
	6	2	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	7	3	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	8	4	B1	1	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9	0.25	0.13	0.67	0.27	0.47	0.60	MUY ALTO	1.00	0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	1.00	MEDIO
	9	32	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	10	33	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	11	35	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	12	40	B1	8	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	4.00	MEDIO
3	13	31	B3	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	0.93	0.56	0.60	0.579	MEDIO	2	MEDIA	0.4568	0.254	0.275	2.00	BAJO
	14	30	B3	3	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	0.93	0.56	0.60	0.579	MEDIO	2	MEDIA	0.4568	0.254	0.275	1.00	BAJO
	15	6	B2	2	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6	0.25	0.00	0.67	0.00	0.33	0.42	MEDIO	0.65	0.6	0.93	0.56	0.60	0.579	MEDIO	2	MEDIA	0.4568	0.254	0.275	1.00	BAJO
	16	9	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	0.93	0.56	0.60	0.579	MEDIO	2	MEDIA	0.4568	0.254	0.275	2.00	BAJO
	17	5	B3	7	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	0.93	0.56	0.60	0.579	MEDIO	2	MEDIA	0.4568	0.254	0.275	2.00	BAJO
	18	34	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	0.93	0.56	0.60	0.579	MEDIO	2	MEDIA	0.4568	0.254	0.275	2.00	BAJO
4	19	29	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	3.00	MEDIO
	20	14	B3	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	21	12	B3	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	22	13	B3	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	2.00	BAJO
	23	11	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6	0.22	0.06	0.58	0.14	0.36	0.46	ALTO	1.00	0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	24	10	B3	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	25	7	B3	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	26	8	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
5	27	23	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	1	MUY ALTA	0.8213	0.492	0.820	5.00	MEDIO
	28	18	B2	7	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6	0.38	0.13	1.00	0.27	0.64	0.81	MUY ALTO	1.00	0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	1	MUY ALTA	0.8213	0.492	0.820	6.00	MEDIO
	29	21	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	2.00	BAJO
	30	22	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	1	MUY ALTA	0.8213	0.739	0.821	5.00	ALTO
6	31	26	B2	2	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	1.00	BAJO
	32	25	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	1	MUY ALTA	0.8213	0.492	0.820	5.00	MEDIO
	33	24	B1	7	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	1	MUY ALTA	0.8213	0.739	0.821	6.00	ALTO
	34	20	B1	10	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	5.00	MEDIO
	35	19	B1	6	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9	0.25	0.35	0.67	0.76	0.71	0.91	MUY ALTO	1.00	0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	3.00	MEDIO
	36	15	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	37	16	B2	9	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	1	MUY ALTA	0.5213	0.312	0.520	5.00	BAJO
	38	17	B1	2	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	1	MUY ALTA	0.8213	0.739	0.821	2.00	ALTO
7	39	67	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	40	68	B2	7	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	4.00	BAJO
	41	69	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6	0.25	0.25	0.67	0.54	0.61	0.77	MUY ALTO	1.00	0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	2.00	BAJO
	42	70	B1	9	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	1	MUY ALTA	0.8213	0.739	0.821	8.00	ALTO
	43	27	B1	7	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	4.00	MEDIO
	44	28	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	3.00	MEDIO
8	45	71	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6	0.25	0.00	0.67	0.00	0.33	0.42	MEDIO	0.65	0.6	0.93	0.56	0.60	0.579	MEDIO	3	MUY ALTA	0.997	0.554	0.600	4.00	MEDIO
9	46	78	B1	11	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	6.00	MEDIO
	47	77	B1	4	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	2.00	MEDIO
	48	76	B1	6	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	3.00	MEDIO
	49	75	B1	9	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	5.00	MEDIO
	50	74	B2	8	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	4.00	BAJO
	51	80	B3	12	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	6.00	BAJO
	52	79	B1	4	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.411	0.457	2.00	MEDIO
	53	73	B3	2	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6	0.12	0.46	0.31	1.00	0.65	0.83	MUY ALTO	1.00	0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	1.00	BAJO
	54	81	B3	2	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	1.00	BAJO
	55	82	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	56	83	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	0.6									0.6	1.00	0.60	1.00	0.798	ALTO	2	MEDIA	0.4568	0.274	0.456	3.00	BAJO
	57	84	B1	4	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	3	MUY ALTA	0.997	0.897	0.997	4.00	MUY ALTO
	58	72	B1	12	DESLIZA. LENTO	ALTO	0.9									0.9	1.00	0.90	1.00	0.950	MUY ALTO	3	MUY ALTA	0.997	0.897	0.997	12.00	MUY ALTO

Cuadro No. 9.1 Hoja 2 de 2

10	59	47	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	60	54	B1	8	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**	0.19	0.25	0.50	0.54	0.52	**0.66**	MUY ALTO	**1.00**	**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**4**	**MUY ALTA**	0.8213	0.739	0.821	7.00	**ALTO**
	61	55	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**4**	**MUY ALTA**	0.8213	0.739	0.821	5.00	**ALTO**
	62	56	B2	8	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**4**	**MUY ALTA**	0.8213	0.492	0.820	7.00	**MEDIO**
11	63	59	B2	3	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	64	62	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	65	63	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	66	53	B1	6	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	67	52	B2	3	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.25	0.15	0.67	0.33	0.50	**0.63**	MUY ALTO	**1.00**	**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	68	51	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	69	50	B1	6	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	70	49	B2	3	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	71	48	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	72	57	B2	3	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
12	73	58	B2	3	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**0.98**	0.59	0.83	**0.711**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.094	0.133	1.00	**MUY BAJO**
	74	66	B1	4	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	0.85	**0.875**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.136	1.00	**BAJO**
	75	60	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.25	0.08	0.67	0.18	0.42	**0.54**	ALTO	**0.85**	**0.6**	**0.98**	0.59	0.83	**0.711**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.094	0.133	1.00	**MUY BAJO**
	76	61	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**0.98**	0.59	0.83	**0.711**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.094	0.133	1.00	**MUY BAJO**
	77	64	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**0.98**	0.59	0.83	**0.711**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.094	0.133	1.00	**MUY BAJO**
	78	65	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**0.98**	0.59	0.83	**0.711**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.094	0.133	1.00	**MUY BAJO**
13	79	46	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	80	45	B3	2	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	81	44.3	B1	3	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	82	44.2	B2	3	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.25	0.13	0.67	0.27	0.47	**0.60**	MUY ALTO	**1.00**	**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	83	44.1	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	84	43	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	85	42	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	86	41	B3	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
14	87	95	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.25	0.25	0.67	0.54	0.61	**0.77**	MUY ALTO	**1.00**	**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	88	97	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
15	89	87	B1	4	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	90	88	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	91	93	B1	2	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	92	94	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.25	0.29	0.67	0.63	0.65	**0.82**	MUY ALTO	**1.00**	**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	93	96	B1	12	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	2.00	**BAJO**
	94	92	B2	4	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	95	89	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	96	86	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60 0.00	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
16	97	90	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	98	91	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
	99	98	B1	6	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**	0.25	0.42	0.67	0.91	0.79	**1.00**	MUY ALTO	**1.00**	**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	100	101	B1	1	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	101	99	B1	6	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	102	100	B1	5	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
17	103	85	B1	6	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**	0.25	0.25	0.67	0.54	0.61	**0.77**	MUY ALTO	**1.00**	**0.9**	**1.00**	0.90	1.00	**0.950**	**MUY ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.144	0.160	1.00	**BAJO**
	104	102	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**1.00**	0.60	1.00	**0.798**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.096	0.160	1.00	**MUY BAJO**
18	105	108	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**0.93**	0.56	0.60	**0.579**	**MEDIO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.089	0.096	1.00	**MUY BAJO**
	106	110	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.08	0.17	0.22	0.36	0.29	**0.37**	MEDIO	**0.65**	**0.6**	**0.93**	0.56	0.60	**0.579**	**MEDIO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.089	0.096	1.00	**MUY BAJO**
	107	109	B1	10	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	0.65	**0.772**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.143	0.104	2.00	**BAJO**
19	108	107	B1	7	DESLIZA. LENTO	ALTO	**0.9**									**0.9**	**1.00**	0.90	0.65	**0.772**	**ALTO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.143	0.104	1.00	**BAJO**
	109	106	B2	2	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.00	0.17	0.00	0.36	0.18	**0.23**	MEDIO	**0.65**	**0.6**	**0.93**	0.56	0.60	**0.579**	**MEDIO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.089	0.096	1.00	**MUY BAJO**
	110	105	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**0.93**	0.56	0.60	**0.579**	**MEDIO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.089	0.096	1.00	**MUY BAJO**
20	111	103	B2	5	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	MUY BAJO	**0.25**	**0.6**	**0.74**	0.44	0.18	**0.313**	**BAJO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.071	0.029	1.00	**MUY BAJO**
	112	104	B2	6	DESLIZA. LENTO	MEDIO	**0.6**									**0.6**	**0.74**	0.44	0.18	**0.313**	**BAJO**	**5**	**BAJA**	0.16	0.071	0.029	1.00	**MUY BAJO**

10 OBRAS PLANTEADAS

10.1 DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTÉCNICO

Es evidente que la inestabilidad de la zona en estudio se debe a la saturación de los materiales superficiales, debido a la inadecuada depositación que los habitantes del sector hacen de las aguas servidas y potable, y de un mal manejo de las aguas lluvias.

Por lo anterior desde el punto de vista geotécnico, se hace necesario obligar el descenso del nivel freático, así como la evacuación de toda el agua que se infiltra a través del fluviotorrencial, para lo cual se hacen recomendaciones desde el punto de vista hidráulico.

Los árboles como el Eucalipto colaboran en esta tarea, además, por la profundidad y magnitud que alcanzan sus raíces colaboran en la contención del material suelto y la estabilización de la zona.

En cuanto al fenómeno de remoción en masa que se presenta en el costado occidental de la vía de acceso se recomienda la construcción de un muro en gaviones de dos cuerpos en una longitud de 63.0 m. El talud posterior al muro en gavión deberá reconformarse, empradizarse y arborizarse, empleando en lo posible árboles que ayuden a la estabilización de la zona afectada.

Los planos No. 10 y 11 contienen la información necesaria para la localización y construcción de esta obra. En el anexo No. 7, Memorias de cálculo, se anexa el chequeo efectuado al muro en cuanto a estabilidad se refiere.

10.2 DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDRÁULICO

DISEÑO DE LAS SOLUCIONES

Para dar solución a los problemas relacionados en el numeral 2: DIAGNÓSTICO Y CONCEPTUALIZACIÓN DE SOLUCIONES, en un todo de acuerdo con los criterios de control y manejo de las aguas descrito en el mismo, se han diseñado las obras que se relacionan a continuación, cuya localización y detalles se muestran en los Planos 10, 11 y 12.

Cunetas con filtro interceptor de los flujos provenientes de la parte alta. Para interceptar los caudales provenientes de la parte alta que pueden aumentar el problema del deslizamiento, se propone la construcción de cunetas en la parte alta, localizadas a lo largo de la vía existente, tal como se indica en el plano de diseño, con entrega final al río San Cristóbal. Para la construcción de esta cuneta, es necesario cruzar la vía actual, lo

que se hará por medio de sumideros con rejilla metálica, tal como se muestra en los planos 10 y 11.

Las cunetas diseñadas son de tipo rectangular, con base 0,40 m y altura de 0.50 m; la altura del muro exterior será variable dependiendo de la topografía del sector. En el sector que la cuneta se encuentra la carretera de acceso, el muro exterior (contra la vía), tendrá una altura adicional de 0.15 m a manera de bordillo, para proteger y dar seguridad a los vehículos que transiten por la vía. Las cunetas tendrán en su parte inferior un filtro interceptor de altura variable, ubicado en un relleno común. Dentro de material filtrante se colocará tubería de filtro ranurada con un diámetro de 0.10 m (4"), según lo indicado en los planos; el material filtrante estará protegido por geotextil no tejido tipo PAVCO 1400 o similar.

La pendiente promedio de la cuneta será del 3%, con caídas de 1.0 m de altura, para ajustar a la topografía natural del terreno. Para el canal indicado en el plano serán necesarias 56 caídas. La entrega del canal se hará al río San Cristóbal por medio de una entrega lateral al cauce, con caída desde la cuneta a una piscina de amortiguación, que rebosará al nivel medio del río. Para el canal es necesaria la construcción de dos sumideros con rejilla para el paso bajo la vía de acceso a los barrios del sector. Todos los detalles para la construcción se encuentran consignados en los planos 10 y 11.

Diques transversales en el río San Cristóbal. Para disminuir el riesgo de socavación por efecto del río San Cristóbal en la pata del talud, se propone la construcción de siete diques transversales a lo largo del río, separados entre 35 y 55 m, para que actúen como retenedores de sedimentos, elevando localmente el lecho, proporcionando mayor peso en la pata del talud, reduciendo la pendiente del río y reteniendo materiales de arrastre. Estos diques serán en gavión colocados sobre un colchón Reno, debidamente anclados a las paredes laterales al cauce. Los diques actuarán como vertederos de cresta ancha, permitiendo el paso de las crecientes de período de retorno de 100 años. Para disminuir los empujes debidos a la presión, se les colocará tubería PVC con un diámetro ø0.10 m (4") en la mitad de la altura del primer gavión. El detalle de los diques se presenta en el plano 12.

Ronda del río San Cristóbal. La capacidad de la sección del río San Cristóbal es suficiente para permitir el paso de crecientes de hasta períodos de retorno de 100 años sin presentar desborde en la zona del estudio. Por estas razones se propone la definición de una zona de ronda, incluyendo la zona de manejo y protección ambiental, ZMPA, correspondiente a la zona definida como de amenaza alta (aproximadamente 15 metros a partir del borde del río), de acuerdo con el Decreto 1106/86, tal como se presenta en el plano 12.

Obras complementarias. Además de las obras anteriores, se recomienda de manera especial, para las mejores condiciones de estabilidad en la zona, lo siguiente:

1) **Controlar el acceso de aguas negras al río San Cristóbal.** Para controlar el acceso de aguas negras al río San Cristóbal, provenientes de las viviendas ubicadas dentro de la zona del estudio, y debido a que los estudios por parte de la EAAB para la construcción de sistemas de alcantarillado en el sector no comprenden las viviendas

ubicadas cerca al río, bajo la carretera de acceso, se recomienda la construcción de un sistema de alcantarillado comunal consistente en redes de drenaje que entregan a diferentes interceptores inferiores, que captarán entre dos y tres líneas de drenaje, localizados en la parte inferior a la zona de las viviendas, los cuales en su parte final contarán con un tanque sedimentador, para poder remover la carga sólida presente, y entregarán a tuberías que saldrán a galerías de donde será recogido por tubería para entrega conveniente al río San Cristóbal a través de estructura de salida como se muestra en el plano 10. Este sistema funcionará como un tratamiento primario, el cual podrá ser complementado posteriormente con tratamientos secundarios.

El tanque sedimentador tendrá una profundidad de 1.0 m. Cuando el nivel de sedimentos alcance una altura de 0.50 m, deberá ser removido este material para mantener un óptimo funcionamiento. Para la fundación del tanque se requerirá compactar suficientemente el material de base, hasta alcanzar el 95% del Proctor modificado. El pañete del tanque deberá ser impermeabilizado, aplicando algún tipo de aditivo que cumpla esta función. La entrada y salida de flujo al tanque se realizará mediante codos de 90^0. Se colocarán dos tapas en concreto, procurando obtener un adecuado cierre del tanque. Los detalles del tanque se presentan en el plano 11.

El campo de infiltración se realizará con la colocación de arena filtrante ubicada en una excavación de mínimo 1.50 m de profundidad y 1.0 m de ancho, cubierta con geomembrana para evitar la salida por infiltración hacia zonas aledañas.

El manejo de los sistemas de alcantarillados se realizará por parte de la comunidad, la cual deberá revisar periódicamente el nivel de material retenido en el tanque, con el fin de realizar su limpieza, removiendo el material allí depositado. El diseño correspondiente a este sistema se presenta en los planos 10 y 11. El tanque propuesto al final de cada línea tendrá un funcionamiento similar a un tanque séptico.

10.3 OPCIONES DE SOLUCIÓN

Las soluciones para la problemática del sector, desde el punto de vista de mitigación de riesgos, pueden plantearse con diversos niveles de reubicación, que corresponden a medidas sustitutivas de parte de las obras, o complementarias de ellas, las que se describen a continuación:

10.3.1 Reubicación de todas las viviendas que se encuentran en zona de riesgo muy alto, alto y medio, y realizar el mínimo de obras.

En esta alternativa se considera reubicar todas las familias que se encuentran asentadas en la zona comprendida entre la vía de acceso al barrio y el cauce del Río San Cristóbal, dado su nivel de riesgo y la decisión de no instalar redes de servicios en esa zona.

En el siguiente cuadro se especifica el inventario de las viviendas de la zona en referencia.

CUADRO No. 10.1 INVENTARIO DE VIVIENDAS

TIPO DE VIVIENDA	ZONA DE RIESGO					TOTAL DE VIVIENDAS
	1	2	3	4	5	
B1	2	10	2	4	2	20
B2	5	8	1	2	10	26
B3	-	1	-	1	10	12

Para evaluar el costo de esta alternativa, se efectuó una evaluación económica de lo que costaría comprar las viviendas involucradas en la zona, según se presenta en el cuadro No. 10.2. El valor de los predios es tomado de la apreciación que se hizo de las viviendas encontradas en la zona.

CUADRO No. 10.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA 1

TIPO DE VIVIENDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
B1	20	3.000.000	60.000.000
B2	26	6.000.000	156.000.000
B3	12	10.000.000	120.000.000
TOTAL			**$ 336.000.000**

Esta alternativa no requeriría la construcción de obras en el cauce del río, ni el alcantarillado sanitario local para la parte baja del barrio. Sin embargo, si es necesario la construcción de algunas de las obras planteadas para la parte alta tales como: el muro en gaviones y los drenes horizontales. Estas obras tienen un valor adicional de **$33.000.000**, según se desprende del capítulo 11.

10.3.2 Reubicación de todas las viviendas en riesgo alto.

Para esta alternativa se consideró la reubicación de las viviendas ubicadas en las zonas de riesgo 1 y 4. El costo estimado de esta labor es el siguiente:

CUADRO No. 10.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA 2

TIPO DE VIVIENDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
B1	6	3.000.000	18.000.000
B2	6	6.000.000	36.000.000
B3	-	10.000.000	
TOTAL			**$ 54.000.000**

Para esta alternativa se hace necesario la construcción de las obras planteadas tanto para el cauce del río, como para la colección y conducción de las aguas servidas de las viviendas ubicadas en las zonas de riesgo evaluadas. El valor de estas obras, sin incluir el sistema de alcantarillado sanitario local es de **$ 235´000.000**. La construcción del

alcantarillado local , el que reduce de manera significativa el nivel de riesgo de las demás viviendas incrementa los costos en la suma de **$ 87´000.000**.

11 PRESUPUESTO

En el cuadro siguiente se detalla el presupuesto correspondiente a las obras diseñadas, incluyendo las obras del alcantarillado sanitario local para las viviendas de la parte baja. No se incluyen las redes de acueducto y alcantarillado para todo el sector, cuyos diseños y consideración se salen del alcance de este estudio.

Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
	CUNETAS Y FILTROS				
1,1	EXCAVACIÓN	m3	206,5	8.621	1.780.237
2,1	RELLENO MATERIAL COMÚN	m3	136,5	21.893	2.988.395
2,1a	RELLENO MATERIAL FILTRANTE	m3	409,5	32.392	13.264.524
4,1	CONCRETO CUNETAS 210 kg/cm2	m3	135,07	274.762	37.112.790
5,1	ACERO DE REFUERZO (1/2")	Kg	8683,0	1.204	10.454.302
6,1	TUBERÍA DE DRENAJE 4" PVC	m	488	10.943	5.340.184
6,2	GEOTEXTIL NT 1400 o similar	m2	1867,5	2.470	4.612.725
				SUBTOTAL	**75.553.156**
	MURO DE CONTENCIÓN EN GAVIÓN				
10,1	GAVIONES	m3	189	55.862	10.557.918
1,1	EXCAVACIÓN MURO DE CONTENCIÓN	m3	189	23.698	4.478.922
				SUBTOTAL	**15.036.840**
	DRENES HORIZONTALES				
6,3	DRENES HORIZONTALES 2" (5cms)	m	56,0	160.143	8.968.008
				SUBTOTAL	**8.968.008**
	DIQUES EN GAVIÓN				
1,1	EXCAVACIÓN	m3	310,25	23.698	7.352.305
6,1	TUBERÍA DE PVC 4"	m	82	14.827	1.215.814
10,1	GAVIONES	m3	625	55.862	34.913.750
				SUBTOTAL	**43.481.869**
	SUMIDEROS Y CAJAS DE ENTREGA				
1,1	EXCAVACIÓN	m3	54,7	8.621	471.569
2,1	RELLENO MATERIAL COMÚN	m3	15	21.893	328.395
2,1a	RELLENO MATERIAL FILTRANTE	m3	26,25	32.392	850.290
4,3	CONCRETO	m3	9,95	319.079	3.174.836
5,1	ACERO DE REFUERZO	Kg	703,5	1.204	847.014
6,3	GEOTEXTIL	m2	112,5	2.470	277.875
9,1	REJILLA METÁLICA para sumidero transversal l= 0.80	Un	36	87.845	3.162.420
				SUBTOTAL	**9.112.399**
	SISTEMA DE ALCANTARILLADO				
1,1	EXCAVACIÓN	m3	512	8.621	4.413.952
2,2	RELLENO RECEBO COMPACTADO	m3	491	25.794	12.664.854
4,3	CONCRETO CIMENTACIÓN DE TUBERÍAS	m3	34	13.287	451.758

7,1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TUBERÍA CONCRETO SIMPLE DIÁMETRO 8 " CON SELLO DE CAUCHO	m	677	23.355	15.811.335
8,1	POZOS DE INSPECCIÓN	Un	20	1.156.298	23.125.960
				SUBTOTAL	**56.467.859**
	POZOS SÉPTICOS				
6,2	TUBERÍA DE DRENAJE GRES 4"	m	135	10.927	1.475.145
6,3	ACCESORIOS GRES 4"	Un	9	14.024	126.216
6,4	GEOMEMBRANA	m2	607,5	7.225	4.389.188
8,2	POZO SÉPTICO	Un	3	260.402	781.206
				SUBTOTAL	**6.771.755**
	GALERÍAS DE FILTRACIÓN				
1,1	EXCAVACIÓN	m3	90	8.621	775.890
2,1a	RELLENO CON ARENA FILTRANTE LAVADA	m3	90	27.180	2.446.200
				SUBTOTAL	**3.222.090**
	ESTRUCTURAS DE ENTREGA				
4,3	CONCRETO ESTRUCTURA DE ENTREGA	m3	0,45	337.410	151.835
5,1	ACERO DE REFUERZO (1/2")	Kg	24,0	1.204	28.896
				SUBTOTAL	**180.731**
				SUB - TOTAL	**242.943.944**
				AIU (30%)	**72.883.183**
				IVA SOBRE UTILIDAD	**1.943.552**
				TOTAL	**317.770.679**

12 CONCLUSIONES

En el sector se observa un depósito fluviotorrencial conformado por fragmentos subangulares a subredondeados de arenisca cuarzosa cuyo tamaño varía desde bloque mayores a 1.00 m a clastos tamaño grava, la matriz esta constituida por arena limosa. Se trata de un material permeable. Bajo éste, subyace un arcillolita de color rojizo a abigarrado de la formación Guaduas.

En el sector del barrio Laureles se han identificado una serie de deslizamientos de carácter rotacional localizados básicamente sobre la margen izquierda del río San Cristóbal.

El fenómeno de inestabilidad se ha generado por la saturación que han sufrido los materiales del subsuelo a causa del inadecuado o escaso manejo que se hace de las aguas lluvias, potable y servidas.

Desde el punto de vista de la amenaza se identificaron cinco zonas, Dos de ellas ubicadas en la parte baja del área en estudio, con niveles de muy alto en el sector de la ronda del río, a medio en la franja comprendida entre la vía de acceso al barrio y la anterior. La parte alta se identificó como zona de amenaza media. En el costado occidental de la vía de acceso se ubica una pequeña zona afectada por un deslizamiento rotacional, a la cual se le estableció un nivel de amenaza muy alto, en vista del grado de afectación del mismo.

El consorcio consultor aclara que la estimación de los valores de probabilidad de falla establecidos para determinar el nivel de amenaza, se hizo mediante métodos estocásticos.

En el estudio se tuvo en cuenta la zona que limita con el área en estudio por el sur, la cual se encuentra muy afectada por una serie de deslizamientos rotacionales y retrogresivos, situación que se ve agravada por la presencia del nivel freático muy superficial. A esta zona y de manera cualitativa se le asignó un valor de probabilidad de falla igual al establecido para zona comprendida por la ronda del río.

Con respecto a esta zona, el consorcio consultor recomienda adelantar un estudio a fin de determinar con un buen grado de precisión el estado actual de estabilidad a fin de recomendar y acometer las medidas correctivas tendientes a estabilizar dicha zona, con lo cual se reduciría la posibilidad actual latente de deslizamiento y taponamiento del cauce del Río San Cristóbal, con lo cual se generaría el riesgo de una avalancha que pondría en peligró los barrios que se encuentran ubicados aguas debajo de este punto.

El sector en estudio en términos generales exhibe un nivel de vulnerabilidad de alto a muy alto y de riesgo muy bajo a medio. Aunque lo anterior parezca contradictorio, no lo es ya que la estimación de la vulnerabilidad tiene en cuenta tanto la incapacidad física como social de la comunidad para recuperarse ante un evento dado, mientras que la valoración del riesgo se hizo con base en los daños materiales que el evento causaría. Es por tanto

que para sectores de vulnerabilidad alta a muy alta se establecieron niveles de riesgo muy bajo a medio.

Para garantizar la estabilidad de la zona se hará necesario emprender algunas de las siguientes medidas.

- Se hace necesario construir sistemas de acueducto y alcantarillado adecuados a fin de colectar y conducir las aguas potable y servidas, evitando de esta manera la infiltración al subsuelo y la saturación de éste.

- Captar el agua infiltrada a través del fluviotorrencial, empleando para ello, drenes horizontales hincados en el contacto de éste con la arcillolita a la altura del carreteable; sobretodo en el lugar donde se está presentando el fenómeno de remoción en masa. posteriormente el agua colectada se debe conducir mediante cunetas revestidas al río.

- Para colectar la escorrentía se hace necesario la construcción de cunetas y filtros bajo ellas, los cuales, descargarán el agua captada al Río San Cristóbal. La entrega a éste deberá realizarse mediante estructuras que reduzcan el riesgo de socavación y afectación del cauce.

- El manejo del río para evitar problemas de socavación, podrá realizarse mediante diques transversales retenedores de sedimentos, mejorando de esta manera la estabilidad de la ribera.

Como las obras recomendadas pueden conjugarse con diversos alcances de un programa de reubicación, como se presenta en el capítulo No. 10, los consultores hacen las siguientes consideraciones que sustentan su recomendación:

- La primera opción consiste en reubicar las 58 viviendas ubicadas entre la vía y el río dado su nivel de riesgo y la imposibilidad de darles servicios; además construir un muro de gaviones para estabilizar la zona de amenaza 3. El costo aproximado es de $ 369.000.000, sin incluir el costo social que implica reubicar a las personas y la presión que ello producirá sobre la demanda de servicios en otras zonas de la ciudad. Tampoco incluye ninguna obra de alcantarillado.

- La segunda opción contempla construir todas las obras propuestas, incluyendo el alcantarillado local de la parte baja, y reubicar a las 12 familias que se encuentran en la zona de riesgo alto, zona 1 y 4. Su costo aproximado es de $ 376.000.000. En este caso las familias movilizadas pueden reubicarse en la parte alta del barrio, causando un costo social bajo, además que parte de la inversión en redes para el saneamiento del sector está incluido en las obras proyectadas.

Con base en anterior, y teniendo en cuenta el costo social que tiene el reubicar a las personas, el Consorcio Consultor recomienda adoptar la segunda opción, construyendo la totalidad de las obras proyectadas y reubicar las 12 viviendas que se encuentran en la zona de riesgo alto hacia la parte alta del barrio.

Durante la ejecución del presente estudio se identificó la zona de amenaza No. 4, vecina al área estudiada, la cual presenta una serie de movimientos y de zonas inestables que en un momento dado podrían deslizarse hacia el río y represarlo, con lo cual los barrios ubicados aguas a bajo de este punto se encontrarían en alto riesgo por efecto de una avalancha torrencial de los materiales represados. Ante esta situación el consorcio consultor sugiere que la entidad competente adelante un estudio en esta zona a fin de presentar las medidas de mitigación y contención necesarias para estabilizar el sector.

13 URBANISMO Y PAISAJISMO

El barrio Laureles se localiza al suroriente de Bogotá, sobre la ribera izquierda del río San Cristóbal, alrededor de la cota 2840. Es un barrio en rápido crecimiento, sin planeación y por tanto sin una estructura clara del espacio público. Las edificaciones se levantan sobre unas manzanas ortogonales, trazadas de manera incipiente sobre las vías destapadas y con fuerte pendiente. La ocupación de dichas manzanas es aún parcial y en muchas construcciones loS materiales aún son perecederos.

Atraviesa el sitio una carretera destapada (corresponde a la carrera 21B Este), principal acceso desde el vecino barrio La Gran Colombia. En la parte alta de esta vía, está la escuela y el centro de salud, y las viviendas se distribuyen en terrazas hasta la cerca que las separa de un bosque de pinos. Por la pendiente de estas vías destapadas, los habitantes tienen dificultad para desplazarse, sobre todo en épocas de lluvia. Entre la carretera y el río varias familias se ubicado, incluso muy cerca del mismo invadiendo la zona de ronda. Hay una cancha de tejo, un teléfono frente a la tienda y senderos peatonales entre manzanas.

La propuesta desarrollada en Laureles, por parte del grupo asesor en Urbanismo y Paisajismo, consiste en delimitar y diseñar una red de espacios públicos que logren la interacción de los ambientes en el sitio y de este con sus vecinos. Una red que por supuesto dotará espacios comunales para el disfrute de sus habitantes.

La intervención se realiza en cuatro acciones fundamentales así:

1. **Trazado de vías y andenes.** Se propone la construcción de la carrera 21B Este, con una calzada de 6 metros paralela a la cuneta propuesta, complementada con andenes a lado y lado de entre 1 y 1.5 metros. Asimismo se sugiere el trazado de vías y andenes en las manzanas arriba de la principal; estas serán con prioridad peatonal (vehicular restringido) debido al escaso espacio entre paramentos. Sólo en los casos en que las dimensiones lo permiten tendrán una calzada de 3.5 metros. Sugerimos el uso de la Cartilla de Andenes elaborada por el Taller del Espacio Público (DAPD), que el Distrito viene aplicando en varios sectores de la ciudad, para la modulación y detalles constructivos de andenes.

2. **Definición de un parque a escala zonal.** Aprovechando los espacios libres que aún existen en el sitio, se propone la construcción de un parque lineal que atraviesa de sur a norte el barrio. Parque que se desarrolla en escaleras, descansos y pequeñas terrazas, en un ambiente predominantemente verde. En su extremo superior, se deja libre una amplia zona empradizada con juegos para niños, más un pedestal donde la comunidad puede poner algún símbolo que tenga significado para ellos (una virgen, una estatua, una bandera, etc.). A partir de un mirador hacia el río comienza el descenso a través de tramos de escaleras, terrazas duras y pequeñas zonas verdes arborizadas. A medida que se desciende, este paseo tiene salidas a las calles que

rematan en él. Por la distribución del recorrido, se puede acceder a él desde muchos puntos en el barrio. Al llegar a la vía principal el paseo se abre hacia un parque arborizado para actividades al aire libre, complementado con una cancha múltiple en una de las manzanas adyacentes, donde aún no se han ubicado familias. Este conjunto de instalaciones recreativas se ubica cerca de la escuela, y su carácter zonal garantiza una amplia cobertura, aún para los barrios vecinos. En este punto, al otro lado de la carretera y frente a la actual tienda del barrio, donde está el teléfono público, una plazoleta dura con algunos árboles resalta un punto de encuentro importante. También se conserva en su lugar la cancha de tejo.

3. **Delimitación de la zona de Ronda y zona de manejo y preservación ambiental.** Esta delimitación se hace con un sendero peatonal trazado a 30 metros del cauce del río. Su diseño busca proporcionar un ambiente agradable donde exista armonía entre el componente paisajístico, los espacios de recreación, el amoblamiento y los senderos. En la franja más cercana al río, que corresponde al talud de su cauce, se propone sembrar arbustos para la protección del recurso hídrico. A lo largo del sendero, en los cruces con las peatonales, aparecen pequeñas plazoletas con vista hacia el río y los cerros. Todas las plazoletas, terrazas y andenes deberán ser amoblados con bancas, luminarias, teléfonos y canecas según los diseños y especificaciones reglamentadas por el Taller del Espacio Público, del Departamento Administrativo de Planeación Distrital (Decreto 170 del 17 de marzo de 1999). Las manzanas entre la vía principal y la ronda contarán con calles peatonales arborizadas, con tramos de escaleras necesarios para salvar la pendiente. Las familias que tienen viviendas dentro del área de ronda serán reubicadas.

4. **Arborización.** Para la selección de árboles se tuvieron en cuenta factores como el porte, resistencia, necesidades, configuración de sus raíces, disponibilidad y la experiencia que de ellas se ha tenido en otras zonas de la ciudad. A lo largo y ancho del barrio Laureles se impulsará la siembra masiva de especies, con énfasis en cuatro puntos claves:
   - El recorrido lineal que conecta la carretera principal con las manzanas de arriba: el Jazmín (Jz), al igual que el Arrayán (Arr), es un árbol con follaje alto de tal manera que permite el paso peatonal y proporciona sombra. El Jazmín es un árbol resistente, atrae aves, sus flores tienen un agradable aroma y sus hojas son de un verde intenso muy decorativo. Están alternados con Alcaparros (Alc), de troncos retorcidos y flores amarillas durante todo el año. Complementa este conjunto el Liquidambar (Liq), árbol esbelto y transparente.
   - Las zonas verdes con juegos de niños: en la del extremo occidental sembramos un Caucho Sabanero (Cch) que por su porte se convierte en un punto focal del barrio. En el parque frente a la cancha las especies plantadas son: Falso Pimiento (Fp) que conforma una barrera entre las actividades deportivas de la cancha y la zona empradizada; es un árbol que resalta la iluminación, solar o artificial, y le da una apariencia de alameda a la diagonal 9ª Sur. Los Cerezos (Cz) son árboles frutales muy bienvenidos en estas zonas de la ciudad y con la ventaja de crecer rápidamente.
   - Las calles peatonales son arborizadas con especies de mediano y bajo porte, sembradas en las materas, en diferentes combinaciones: Alcaparro (Alc) – Sauco (Sco), Holly (Hll) – Sauco (Sco), Trompeto (Tro) – Chicalá (Chi). Son especies

resistentes si se siembran ya crecidas, si bien de todas maneras requieren la protección de los vecinos.

- La zona de Ronda: las especies escogidas se caracterizan por su importante papel como protectoras de cuencas hídricas, pues sus raíces amarran el suelo y evitan la erosión. Son ellas: Corono (Cor), Hayuelo (Ha), Holly (Hll), Chiripique (Cq) y Sauco (Sco). Los tres últimos además proporcionan colorido a los taludes. El Holly y el Corono tienen espinas, eficaz defensa contra el vandalismo; y el Sauco es especie recomendable dada la facilidad con que prenden, casi de manera espontánea, en estos sitios.
- Ya que la orilla opuesta del río San Cristóbal pertenece a una institución militar, el paso de un lado a otro se hace innecesario por lo cual no se proponen puentes y la vegetación se siembra de manera muy densa.
- A su vez se propone la arborización de la zona adyacente al barrio río arriba, a fin de preservarla como área boscosa sin urbanizar. Aquí se sugieren el Pino Romerón (P) y el Sauce (Sce), los cuales, sobretodo este último, ayudarán en el control de la humedad de estos terrenos. No aconsejamos la siembra de Eucaliptos por ser absorbentes en exceso y por estar prohibida su siembra en Bogotá por el decreto 984 de 1998.

Finalmente insistimos en la necesidad de instruir a la comunidad acerca de la importancia del espacio público y el medio ambiente, de su cuidado y mantenimiento. No sólo por las comodidades que de por sí contempla tener adecuados andenes, vías y parques, sino porque ellos integran el sector a la red urbana de la ciudad, consolidan el barrio y mejoran la calidad de vida de sus habitantes; así como por la provisión de oxígeno, salubridad y sostenibilidad. De igual manera el manejo apropiado de las basuras, el respeto por el río, la protección de las especies vegetales y el uso adecuado del mobiliario urbano, deben ser comportamientos a inculcar en los habitantes, a través de campañas de acción comunal.

14 BIBLIOGRAFÍA

- INGEOCIM LTDA. **Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Bogotá, localidad de San Cristóbal**, UPES FOPAE, Santafé de Bogotá, 1998.

- INGEOCIM LTDA. **Estudios y diseños de estabilidad geotécnica, control de erosión y manejo de aguas para la estabilidad de taludes – Sitio Manila y Gran Colombia**. UPES FOPAE, Santafé de Bogotá,1998.

- IFCAYA LTDA. **Estudio geológico y geotécnico de algunos sitios en los barrios Gran Colombia, El Triángulo Corinto y Ramajal**. UPES FOPAE, Santafé de Bogotá,1988.

- WINTERKON H. , FANG H., **Foundation Engineering Handbook, Litton Education** Publishing inc, U.S.A. 1975

- SOLER Fabio, GONZALEZ Alvaro, VESGA Luis. **Metodología para el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa de Santafé de Bogotá. Bogotá-Colombia.**

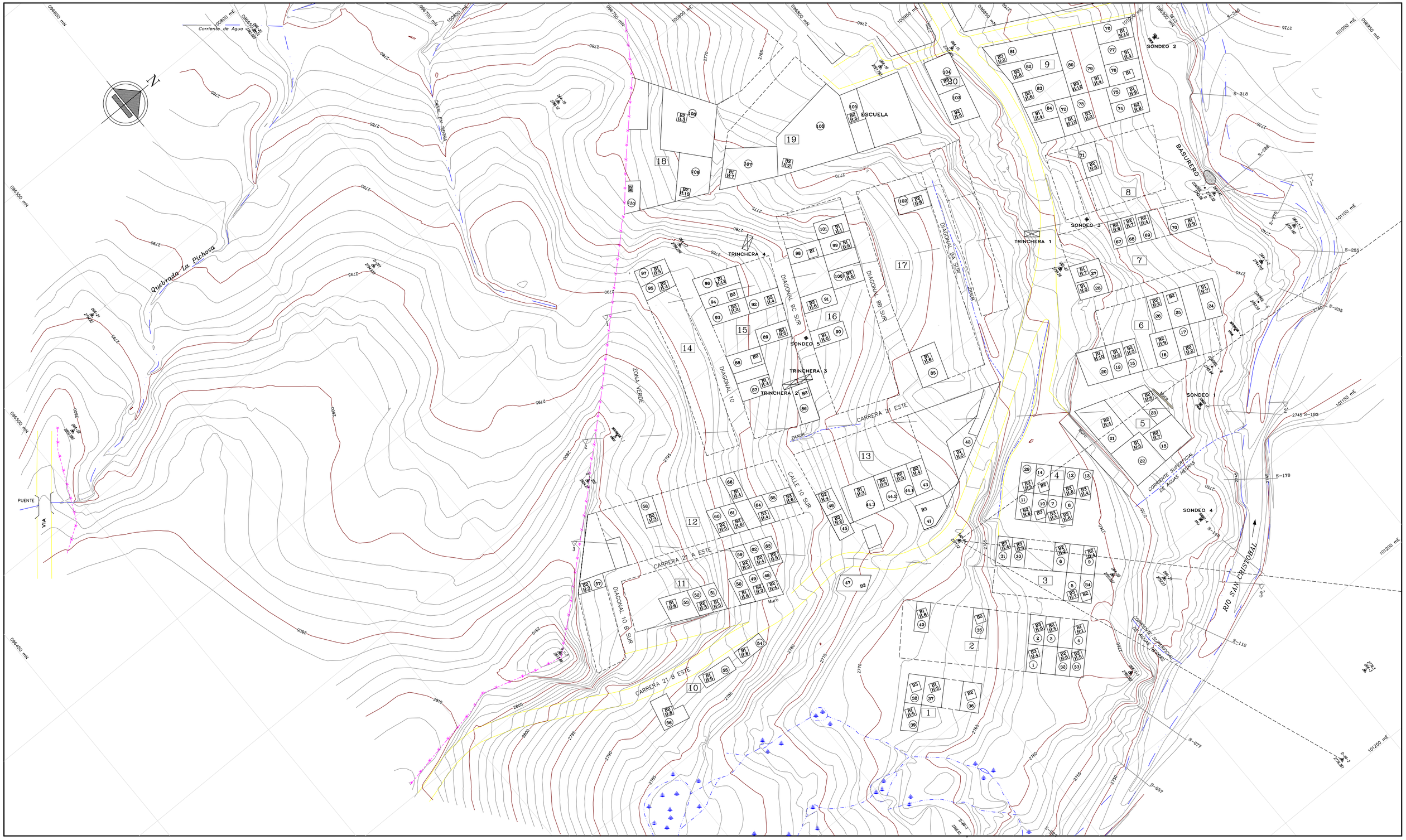
- BOWLES Joseph, **Propiedades Geofísicas de los Materiales**, Ediciones Lerner Ltda, Bogotá-Colombia, 1982

- CHOW, VEN TE, **Open-Channel Hydraulics**, 1960.

- IRH LTDA., **Caracterización de tormentas de la Sabana de Bogotá**, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1993.

- HENDERSON, F. M., **Open Channel Flow**, Fourth Printing, 1966.

- BUREAU OF RECLAMATION, United States Departament of the Interior, **Design of Small Canal Structures**, 1974.



CONVENCIONES

ESTACIÓN TOPOGRÁFICA D-2	TRINCHERA	PERFIL 1 1'	
PARAMENTO CONSTRUÍDO	PUNTO DE CONTROL	NÚMERO DE LA MANZANA	2
PARAMENTO NO CONSTRUÍDO	NACEDERO	NÚMERO DEL PREDIO	1
CURVA DE NIVEL	CERCA DE ALAMBRE	TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA	B3 H-2
SONDEO	CORRIENTE DE AGUA	NÚMERO DE HABITANTES EN LA VIVIENDA	

NOTAS:

FUENTE: CARTOGRAFÍA IGAC PLANCHA M–31 (1974) ESC. 1:2000
RESTITUCIÓN CON FOTOGRAFÍAS AÉREAS DE AGOS. 1970 y NOV. 1971

LOS NÚMEROS QUE IDENTIFICAN TANTO LAS MANZANAS COMO LOS PREDIOS FUERÓN ASIGNADOS POR EL CONSORCIO CONSULTOR

0 5 10 15 20 25 50 m
ESCALA 1:500

REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	POR:	REV:	APROBO:
1	ABRIL/99				

CONSORCIO

CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES

HIDROCONSULTA

DIBUJO: A. MATIZ R.
REVISO: C. MOTTA
APROBO: A. DURAN

PRESENTO: CONSORCIO CIVILES LTDA. – HIDROCONSULTA LTDA.
APROBO: ANALISIS GEOTECNICOS LTDA.

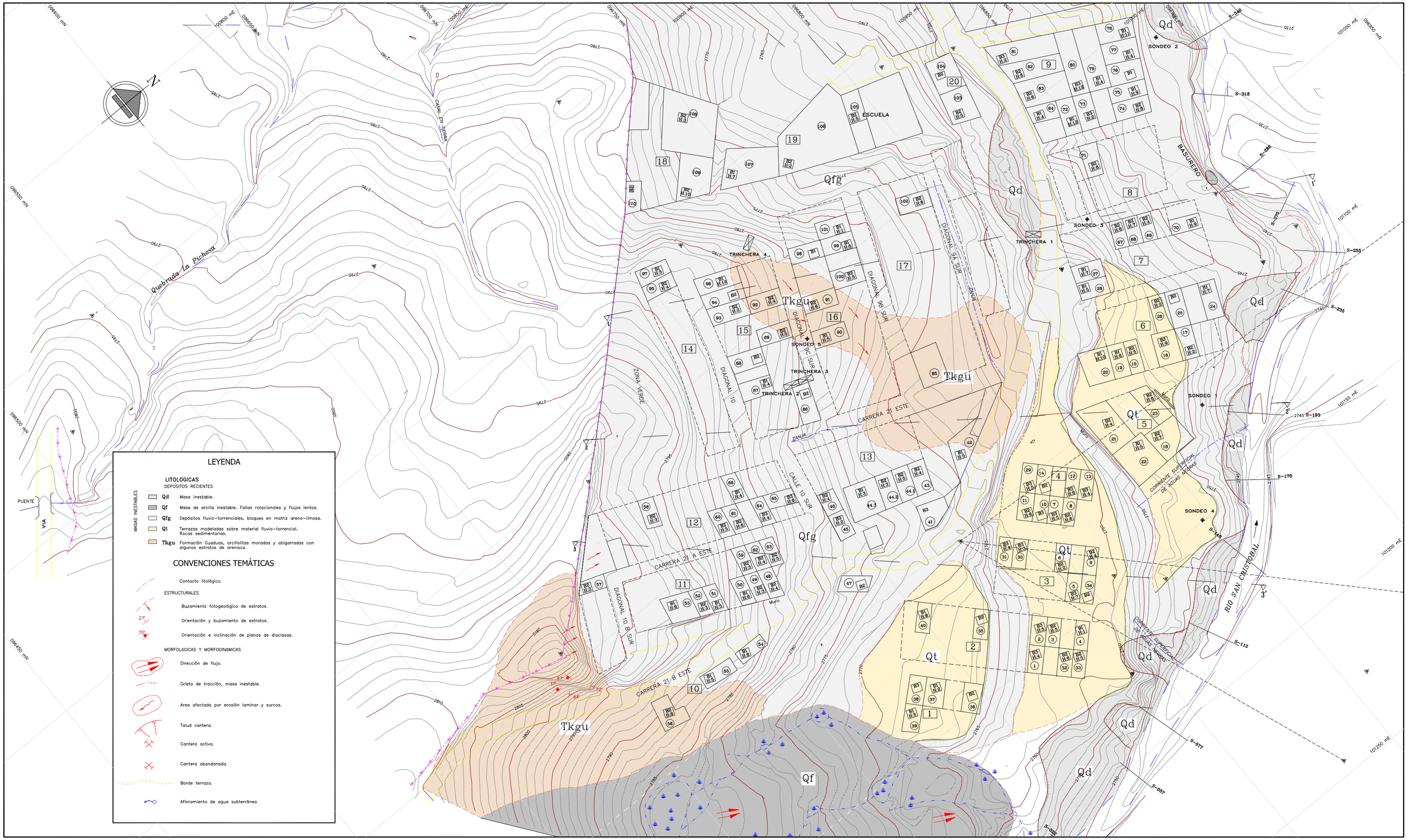
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

BARRIO LAURELES SECTOR SUR OCCIDENTAL
LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL

PLANO TOPOGRÁFICO
PLANTA GENERAL

ESCALA:	FECHA:	REFERENCIA:	PLANO 01 DE: 13
1:500	ABRIL 1.999	G 1152–181/98	

PLOTED: MAY/0 02:09
LAU–TOPO.DWG



CONVENCIONES

ESTACIÓN TOPOGRÁFICA D-2	TRINCHERA	PERFIL 1 1'	
PARAMENTO CONSTRUÍDO	PUNTO DE CONTROL	NÚMERO DE LA MANZANA 2	
PARAMENTO NO CONSTRUÍDO	NACEDERO	NÚMERO DEL PREDIO 1	
CURVA DE NIVEL	CERCA DE ALAMBRE	TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA B3 H-2	
SONDEO	CORRIENTE DE AGUA	NÚMERO DE HABITANTES EN LA VIVIENDA	

NOTAS:
FUENTE: CARTOGRAFÍA IGAC PLANCHA M-31 (1974)
RESTITUCIÓN FOTOGRAFÍAS AÉREAS DE AGOS. 1970 y NOV. 1971
ADICIONALMENTE SE EMPALMARÓN FOTOGRAFÍAS AÉREAS PARA FOTOINTERPRETACIÓN.
FOTOS No. 105 y 106 VUELO C-1763 23 JUL/77. ESC. 1:7600
FOTOGRAFÍAS 1580 y 1581 VUELO No. R-1131/1990 y 1991 ESC. 1:5000.

0 5 10 15 20 25 50 m
ESCALA 1:500

REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	POR:	REV:	APROBO:
1	ABRIL/99				

CONSORCIO
CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES
HIDROCONSULTA

DIBUJO: A. MATIZ R.	PRESENTO: CONSORCIO CIVILES LTDA. – HIDROCONSULTA LTDA.
REVISO: C. MOTTA	APROBO: ANALISIS GEOTECNICOS LTDA.
APROBO: A. DURAN	

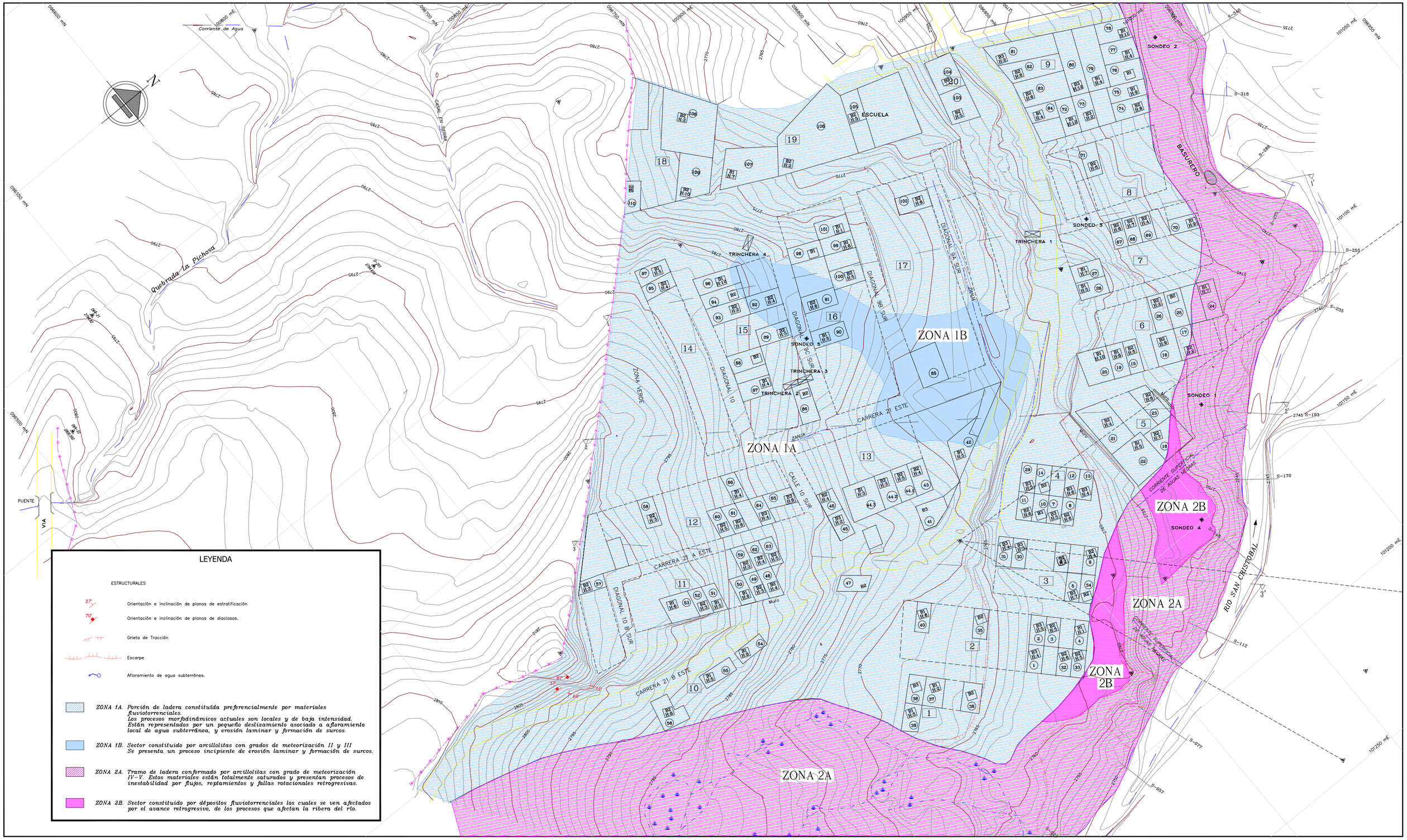
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

BARRIO LAURELES SECTOR SUR OCCIDENTAL
LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL

PLANO GEOLÓGICO LOCAL
PLANTA GENERAL

ESCALA:	FECHA:	REFERENCIA:	PLANO 02 DE: 13
1:500	ABRIL 1.999	G 1152-181/98	

PLOTTED: MAYO 03/99
LAU-GEO.DWG



LEYENDA

ESTRUCTURALES

- 27° — Orientación e inclinación de planos de estratificación
- 70° — Orientación e inclinación de planos de diaclasas.
- Grieta de Tracción
- Escarpe
- Afloramiento de agua subterránea.

ZONA 1A. Porción de ladera constituida preferencialmente por materiales fluviotorrenciales. Los procesos morfodinámicos actuales son locales y de baja intensidad. Están representados por un pequeño deslizamiento asociado a afloramiento local de agua subterránea, y erosión laminar y formación de surcos.

ZONA 1B. Sector constituido por arcillolitas con grados de meteorización II y III Se presenta un proceso incipiente de erosión laminar y formación de surcos.

ZONA 2A. Tramo de ladera conformado por arcillolitas con grado de meteorización IV–V. Estos materiales están totalmente saturados y presentan procesos de inestabilidad por flujos, reptamientos y fallas rotacionales retrogresivas.

ZONA 2B. Sector constituido por dépositos fluviotorrenciales los cuales se ven afectados por el avance retrogresivo, de los procesos que afectan la ribera del río.

CONVENCIONES

ESTACIÓN TOPOGRÁFICA	D–2	TRINCHERA	PERFIL i i'
PARAMENTO CONSTRUÍDO		PUNTO DE CONTROL	NÚMERO DE LA MANZANA 2
PARAMENTO NO CONSTRUÍDO		NACEDERO	NÚMERO DEL PREDIO 1
CURVA DE NIVEL		CERCA DE ALAMBRE	TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA B3
SONDEO		CORRIENTE DE AGUA	NÚMERO DE HABITANTES EN LA VIVIENDA H-2

NOTAS:
FUENTE: CARTOGRAFÍA IGAC PLANCHA M–31 (1974)
RESTITUCIÓN FOTOGRAFÍAS AÉREAS DE AGOS.1970 y NOV. 1971
ADICIONALMENTE SE EMPALMARÓN FOTOGRAFÍAS AÉREAS PARA FOTOINTERPRETACIÓN.
FOTOS No. 105 y 106 VUELO C–1763 23 JUL/77. ESC. 1:7600
FOTOGRAFÍAS 1580 y 1581 VUELO No. R–1131/1990 y 1991 ESC. 1:5000.

0 5 10 15 20 25 50 m
ESCALA 1:500

REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	POR:	REV:	APROBO:
1	ABRIL/99				

CONSORCIO
CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES
HIDROCONSULTA

DIBUJO: A. MATIZ R.
REVISO: C. MOTTA
APROBO: A. DURAN

PRESENTO: CONSORCIO CIVILES LTDA. – HIDROCONSULTA LTDA.
APROBO: ANALISIS GEOTECNICOS LTDA.

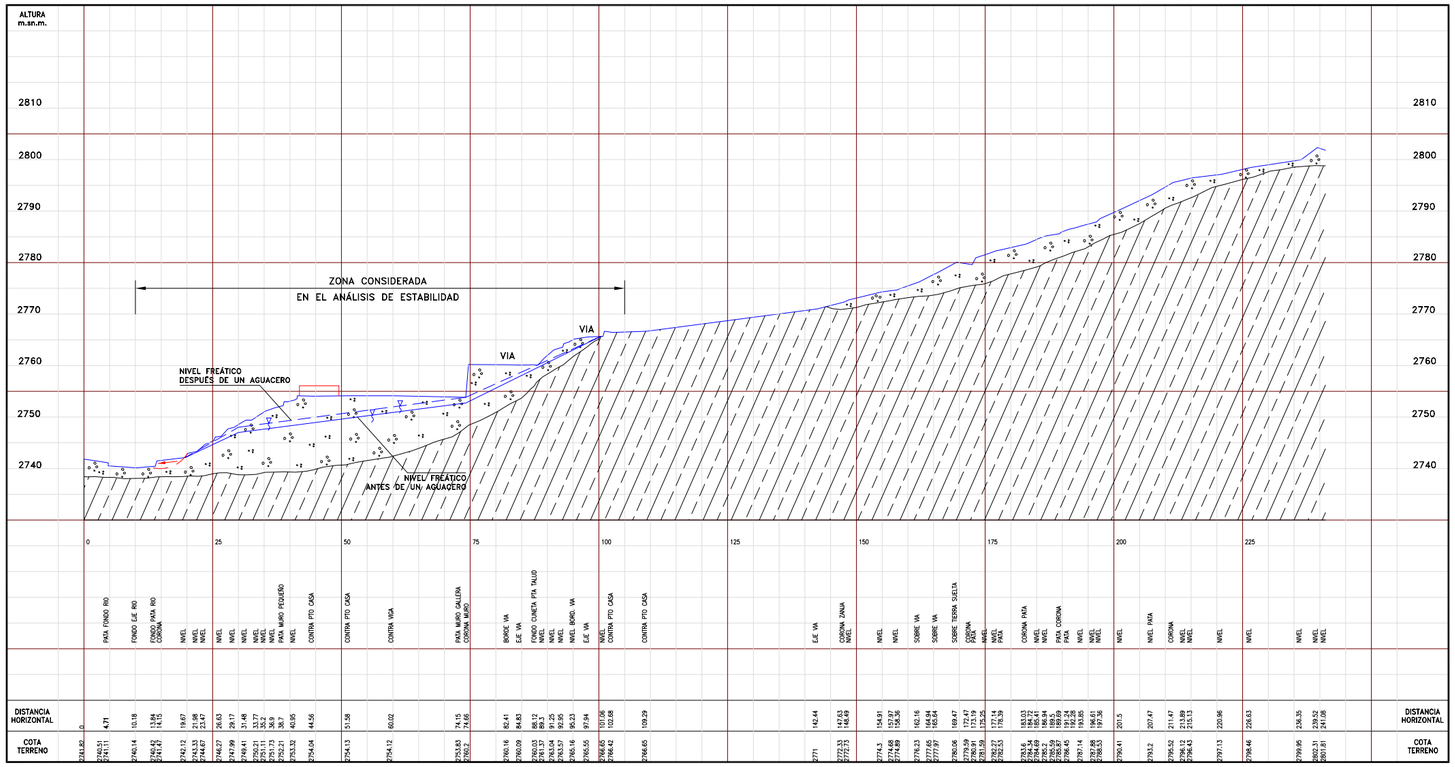
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

BARRIO LAURELES SECTOR SUR OCCIDENTAL
LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL

PLANO DE ZONIFICACIÓN MORFODINÁMICA
PLANTA GENERAL

ESCALA:	FECHA:	REFERENCIA:	PLANO 02A DE: 13
1:500	ABRIL 1.999	G 1152–181/98	

PLOTED MAY/0 02/99
LAU–LAD.DWG



LEYENDA

Qfg Depósito Fluvio–torrencial
γ_t =1.97 g/cm³
c =0.06 Kg/cm²
ϕ =25°

Tkgu Formación Guaduas
γ_t =2.12 g/cm³
c =0.80 Kg/cm²
ϕ =36°

NOTAS:
.

REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	POR:	REV:	APROBO:
1	ABRIL/99				

CONSORCIO
CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES
HIDROCONSULTA

DIBUJO: A. MATIZ R.
REVISO: C. MOTTA
APROBO: A. DURAN

PRESENTO: CONSORCIO CIVILES LTDA. – HIDROCONSULTA LTDA.
APROBO: ANALISIS GEOTECNICO LTDA.

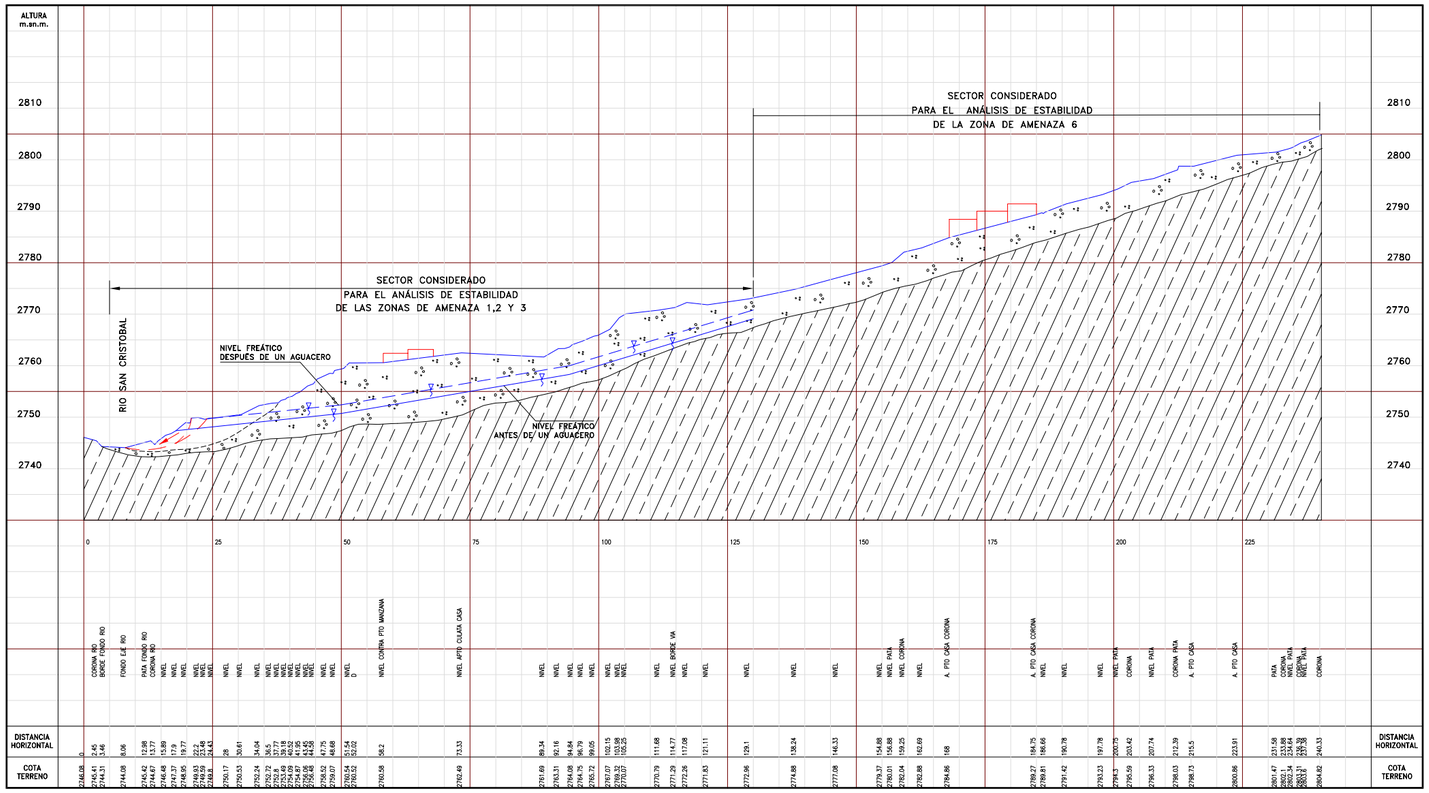
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

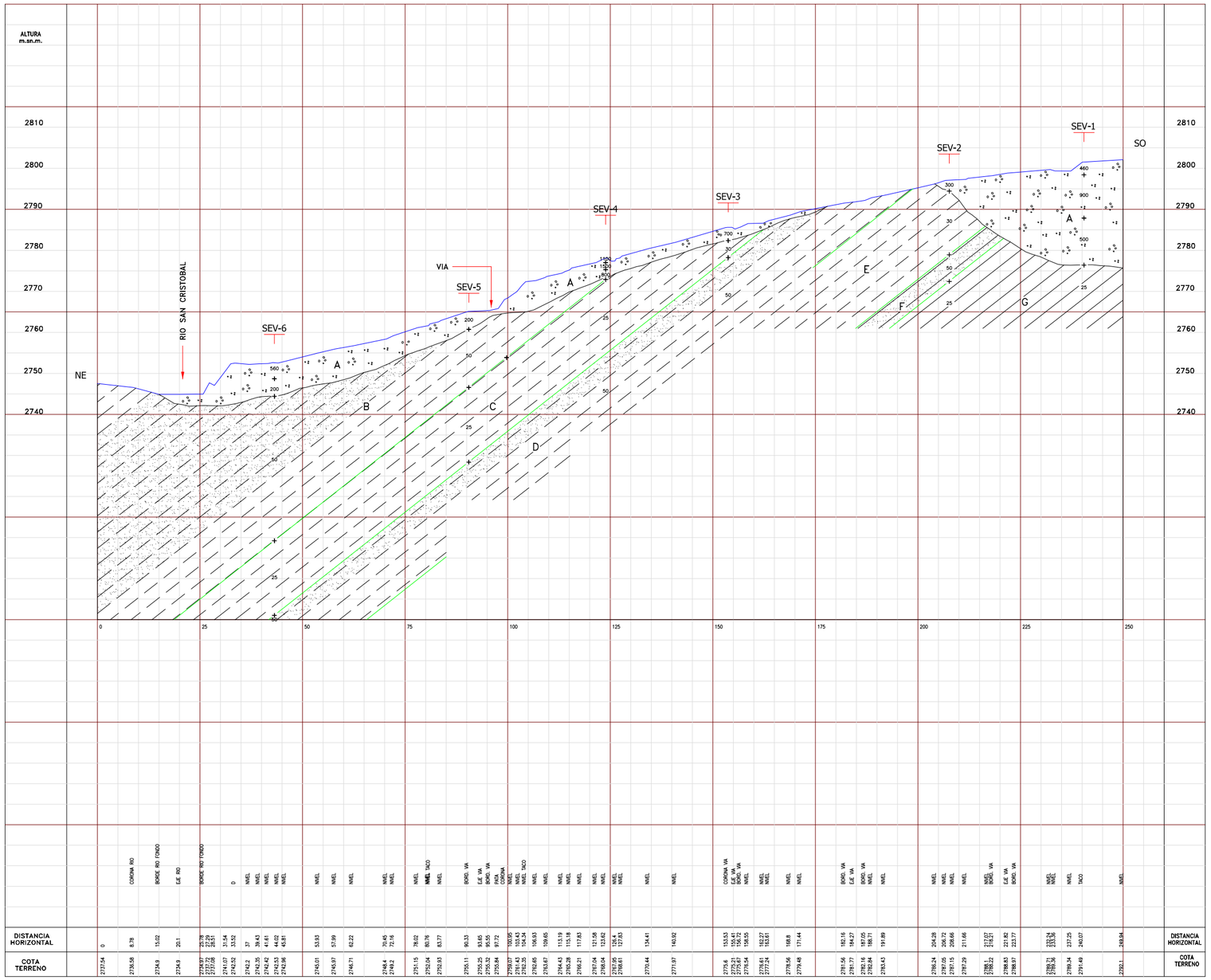
BARRIO LAURELES SECTOR SUR OCCIDENTAL
LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL

PERFIL GEOLÓGICO SECCIÓN 2–2'

ESCALA:	FECHA:	REFERENCIA:	PLANO 05 DE: 13
H – 1:500 V – 1:500	ABRIL 1.999	G 1152–181/98	

LAU–02.DWG


ALTURA m.sn.m.
2810
2800
2790
2780
2770
2760
2750
2740
SECTOR CONSIDERADO
PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD
DE LAS ZONAS DE AMENAZA 1,2 Y 3
SECTOR CONSIDERADO
PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD
DE LA ZONA DE AMENAZA 6
RIO SAN CRISTOBAL
NIVEL FREÁTICO DESPUÉS DE UN AGUACERO
NIVEL FREÁTICO ANTES DE UN AGUACERO
0
25
50
75
100
125
150
175
200
225
CORONA RIO
BORDE FONDO RIO
FONDO CJE RIO
PIATA FONDO RIO
CORONA RIO
NIVEL
NIVEL
NIVEL



LEYENDA Y CONVENCIONES TEMÁTICAS

SEV-4 — SONDEO GEOELECTRICO N.G.

200 — RESISTIVIDAD 200 ohm-m

CONTACTO GEOELECTRICO

CONTACTO CONGLOMERADO – Fm GUADUAS

SONDEO GEOELECTRICO N.G.

ESCALAS H= 1:500
V= 1:500

DEP. FLUVIO – TORRENCIAL: CONGLOMERADO, CAPAS A

FORMACION GUADUAS: ARCILLOLITAS, CAPAS C–E–G

LIMOLITAS, ARENITAS, CAPAS B–D–F

NOTAS:
.

REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	POR:	REV:	APROBO:
1	ABRIL/99				

CONSORCIO

CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES

HIDROCONSULTA

DIBUJO: A. MATIZ R.	PRESENTO: CONSORCIO CIVILES LTDA. – HIDROCONSULTA LTDA.
REVISO: C. MOTTA	APROBO:
APROBO: A. DURAN	ANALISIS GEOTECNICO LTDA.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

BARRIO LAURELES SECTOR SUR OCCIDENTAL

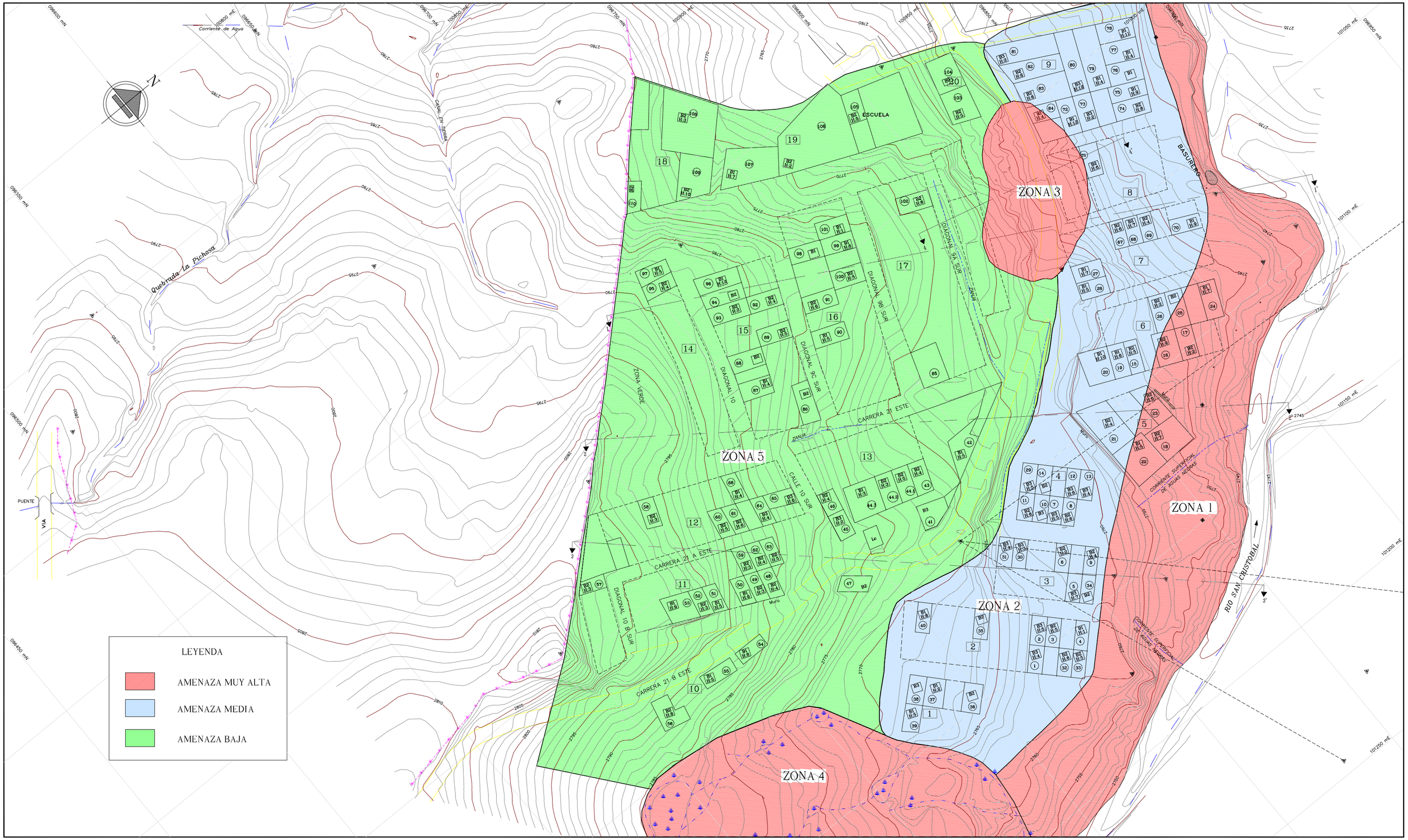
LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL

PERFIL GEOELÉCTRICO

ESCALA:	FECHA:	REFERENCIA:	PLANO 07 DE: 13
H – 1:500 V – 1:500	ABRIL 1.999	G 1152–181/98	

LAU–ELEC.DWG

FONDO MAYO 03/99



CONVENCIONES

ESTACIÓN TOPOGRÁFICA D-2	TRINCHERA	PERFIL ANÁLISIS GEOTÉCNICO 1 — 1'	
PARAMENTO CONSTRUÍDO	PUNTO DE CONTROL	NÚMERO DE LA MANZANA 2	
PARAMENTO NO CONSTRUÍDO	NACEDERO	NÚMERO DEL PREDIO 1	
CURVA DE NIVEL	CERCA DE ALAMBRE	TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA B3	
SONDEO	CORRIENTE DE AGUA	NÚMERO DE HABITANTES EN LA VIVIENDA H:2	

ESCALA 1:500

REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	POR:	REV:	APROBO:
1	ABRIL/99				

CONSORCIO

CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES

HIDROCONSULTA

DIBUJO: A. MATIZ R.

REVISO: C. MOTTA

APROBO: A. DURAN

PRESENTO: CONSORCIO CIVILES LTDA. – HIDROCONSULTA LTDA.

APROBO: ANALISIS GEOTECNICOS LTDA.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

BARRIO LAURELES SECTOR SUR OCCIDENTAL

LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL

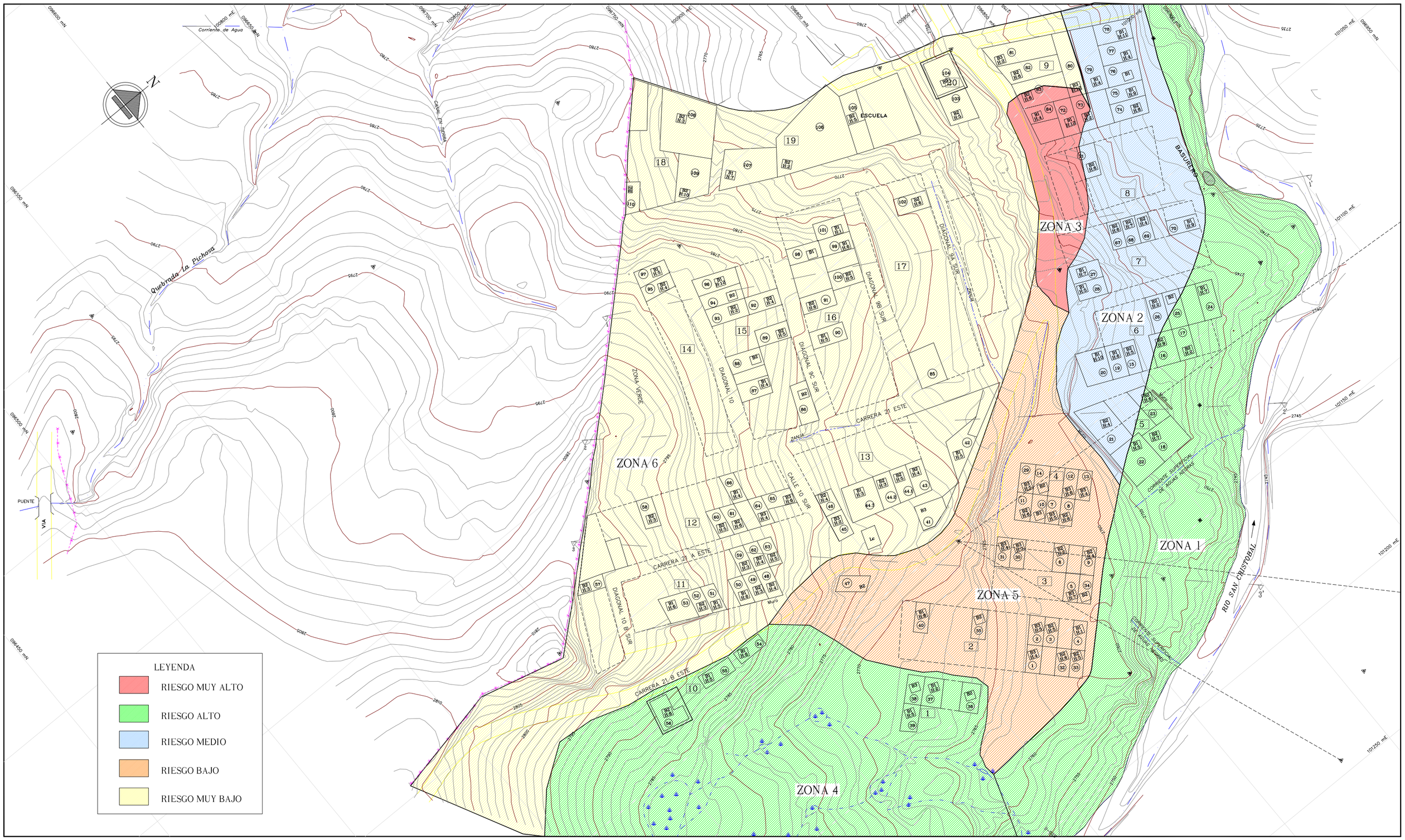
PLANO DE ZONIFICACIÓN POR AMENAZA

PLANTA GENERAL

ESCALA:	FECHA:	REFERENCIA:	PLANO 08 DE: 13
1:500	ABRIL 1.999	G 1152-181/98	

PLOTED MAYO 03/99

LAU-AMEN.DWG



CONVENCIONES

- ESTACIÓN TOPOGRÁFICA D-2
- PARAMENTO CONSTRUÍDO
- PARAMENTO NO CONSTRUÍDO
- CURVA DE NIVEL
- SONDEO
- TRINCHERA
- PUNTO DE CONTROL
- NACEDERO
- CERCA DE ALAMBRE
- CORRIENTE DE AGUA
- PERFIL 1 — 1'
- NÚMERO DE LA MANZANA 2
- NÚMERO DEL PREDIO 1
- TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA B3
- NÚMERO DE HABITANTES EN LA VIVIENDA H-2

ESCALA 1:500

REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	POR:	REV:	APROBO:
1	ABRIL/99				

CONSORCIO

CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES

HIDROCONSULTA

DIBUJO: A. MATIZ R.	PRESENTO: CONSORCIO CIVILES LTDA. – HIDROCONSULTA LTDA.
REVISO: C. MOTTA	APROBO: ANALISIS GEOTECNICOS LTDA.
APROBO: A. DURAN	

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ALCALDÍA MAYOR DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

BARRIO LAURELES SECTOR SUR OCCIDENTAL

LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL

PLANO DE ZONIFICACIÓN POR RIESGO

PLANTA GENERAL

ESCALA:	FECHA:	REFERENCIA:	PLANO 09 DE: 13
1:500	ABRIL 1.999	G 1152–181/98	

LAU-RIES.DWG

PLOTTED: MAYO 03/99