RESUMEN

La existencia de actividades mineras en el sector del Barrio El Espino ha tenido como consecuencia la generación de varios fenómenos de inestabilidad del terreno, los cuales han sido agravados con el intenso proceso de urbanización; en efecto, la construcción de viviendas en los alrededores de las zonas de explotación antiguas y en actividad ha colocado en diversos niveles de riesgo a un número relativamente alto de habitantes, no solo desde el punto de vista de exposición a fenómenos de remoción en masa, sino porque sus condiciones de vida han redundado en que los niveles de Amenaza sean altos, debido a que la ausencia de redes sanitarias implica necesariamente el vertimiento de aguas servidas al terreno, lo cual puede señalarse como uno de los factores detonantes más importantes de procesos de inestabilidad del terreno en el área de estudio. Además, la disposición inadecuada de basuras, específicamente sobre los cauces de las corrientes de agua, ha generado degradación ambiental.

Este informe es la descripción de las actividades realizadas por el Consorcio Civiles Ltda. - Hidroconsulta Ltda. en el propósito de evaluar de una manera objetiva las condiciones actuales de exposición de los habitantes y de sus bienes a los distintos fenómenos latentes de remoción en masa en la zona de estudio; dicha evaluación, en la que intervienen los factores geotécnicos, geológicos, hidráulicos, hidrológicos, en combinación con los aspectos poblacionales y de vivienda, tiene como consecuencia la formulación, también objetiva, de medidas y de obras de mitigación de la amenaza, como lo son las estructuras de drenaje e intercepción de aguas servidas y remoción de materiales inestables, de acciones de reducción de la vulnerabilidad, específicamente procesos de reubicación, y de mejoramiento del entorno, mediante un planteamiento paisajístico para recuperación ambiental.

Las primeras visitas al sitio y la recopilación de información cartográfica permitieron identificar inicialmente y de forma conceptual, los procesos de inestabilidad más notables y que son los que proporcionan mayores niveles de amenaza sobre la población actual. De igual forma, con base en el levantamiento topográfico y el censo de población realizado, las viviendas del sitio se clasificaron en tres categorías de acuerdo a la calidad de la construcción, y se determinó el grado de vulnerabilidad de diferentes zonas habitadas en función de la extensión del área de influencia de cada una de las fuentes de amenaza.

Por otra parte, la caracterización geológica efectuada durante visitas de campo, la revisión bibliográfica y el análisis de cartografía geológica existente y de fotografías aéreas, permitió establecer la influencia de los sistemas de fallas y de la geología estructural en la generación de procesos de inestabilidad del terreno; los datos tomados y los análisis realizados dieron como resultado, además, los levantamientos geológicos regional y local, que son herramientas en la identificación y evaluación de las fuentes de Amenaza desde el punto de vista de extensión, área de influencia y dirección preferencial del movimiento. Se identificaron siete procesos activos.

La consulta bibliográfica, cartográfica y de registros hidrológicos del área se empleó en la caracterización de la cuenca de la quebrada Santa Rita; la determinación de caudales de precipitación asociados a la quebrada para períodos de retorno de 3 a 20 años revela valores reducidos, con los que se plantearon obras hidráulicas de protección y conservación del cauce, entre los que se encuentran diques y se plantea la posible necesidad de una alcantarilla de cajón si se permite la continuación de manera antitécnica de un relleno que podría taponarlo en caso de falla, con riesgo para la población ubicada aguas abajo por fuera de la zona de estudio. Los análisis de hidrología urbana relacionados con los caudales de aguas servidas dieron como resultado los caudales de diseño para el planetamiento de las obras de intercepción y drenaje para mejorar la estabilidad de la ladera.

Desde el punto de vista geotécnico, se procedió a la ejecución de ensayos de laboratorio sobre muestras en bloque y muestras remoldeadas para caracterizar la ladera mecánica y composicionalmente; los ensayos realizados incluyeron un corte directo, para establecer el orden de magnitud de los parámetros de resistencia de la roca presente, y ensayos de peso unitario, humedad y plasticidad en el material rocoso y en los materiales del relleno del costado oriental de la zona de estudio. Los resultados obtenidos en las pruebas se emplearon en la ejecución de los análisis de estabilidad necesarios para hallar las probabilidades de falla de cada una de las fuentes de Amenaza.

Los resultados de los análisis de estabilidad y de Amenaza, en conjunto con los análisis de vulnerabilidad, permitieron establecer los niveles de Riesgo a que están expuestos los habitantes de la zona de estudio; además, se plantearon las obras y acciones de mitigación ya mencionadas cuya viabilidad económica fue evaluada.

Dentro de las actividades que menciona este documento está la información recopilada y obtenida de los trabajos de campo, ensayos de laboratorio, análisis de estabilidad, evaluación de población, vivienda y servicios públicos, y análisis de amenaza ,vulnerabilidad y riesgo, entre los más sobresalientes. Finalmente, se plantean las actividades que deberá realizar la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito para reducir los niveles de riesgo por remoción en masa en el sector.

INTRODUCCIÓN

Este Informe Final presenta los resultados obtenidos en las actividades realizadas por el Consorcio Civiles Ltda. - Hidroconsulta Ltda. para evaluar los niveles reales de amenaza que se presentan en el sector del barrio El Espino, lo cual ha dado como resultado la formulación de una serie de obras y de actividades de mitigación para reducir el impacto que sobre la población puede tener el colapso de una o varias de las fuentes actuales de amenaza.

El estudio tiene como objetivos la caracterización de la zona de estudio desde el punto de vista geológico, geotécnico, hidrológico y poblacional, la zonificación del área de estudio en cuanto a condiciones topográficas, geológicas, geotécnicas y de niveles de amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo, y definir las obras y acciones tendientes a reducirlos.

Con respecto a los alcances del estudio, se trata de plantear las obras y acciones que deberá ejecutar la UPES con el propósito de reducir la exposición de personas y bienes a fenómenos de remoción en masa.

Las labores que se efectuaron en el desarrollo del proyecto incluyeron un levantamiento geológico detallado de la zona apoyado con interpretación de fotografías aéreas, trabajos de investigación del subsuelo, de los cuales se obtuvieron parámetros de resistencia para evaluación de estabilidad, adquisición de información de población y vivienda mediante la realización de encuestas, con lo cual se realizó una clasificación de la tipología de construcciones, densidad de población y determinación conceptual de disponibilidad de servicios públicos sanitarios, y consulta de las bases de datos y centros de información de las entidades del distrito, con lo cual fue posible, entre otros, la evaluación de las condiciones hidrológicas de la zona en estudio.

Los resultados finales indican que los procesos activos son los que exhiben mayores niveles de amenaza, además de tener, en la mayor parte de los casos, una población considerable en su área de influencia. En algunos casos, y dada la extensión del proceso activo, será necesario efectuar la reubicación de la población; en otros casos, la implementación de obras de intercepción y drenaje y trabajos de reconformación del terreno permitirán lograr el propósito de estabilizar la ladera y reducir drásticamente los niveles de amenaza y riesgo. La recomendación de las acciones a seguir se basó en análisis económicos y consideraciones de tipo técnico y social.

Finalmente, el refinamiento de todos los aspectos tratados por el estudio fue objeto de discusión con los representantes de la interventoría y de los funcionarios de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito Capital.

El estudio se llevó a cabo en el marco del contrato No G-1004-143-98, Barrio El Espino, celebrado entre la UPES y el Consorcio Consultor Civiles Ltda – Hidroconsulta Ltda.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la parte occidental del barrio Ismael Perdomo, en la localidad de Ciudad Bolívar, al sur de Santafé de Bogotá, y está limitada por los barrios San Rafael (al norte), La Carbonera (al sur), el barrio El Espino III Sector (al este), y en la parte alta de la ladera (al occidente) por los barrios El Espino I Sector y El Cerro del Diamante. En los costados norte y sur se encuentran, respectivamente, las quebradas Santa Rita y Santo Domingo. La extensión del proyecto es de 16.5 hectáreas aproximadamente; en la Figura No. 1 se observa la localización de la zona de estudio.

El área de estudio es aproximadamente rectangular, limitada por las siguientes coordenadas:

NORTE	ESTE
98800	89100
98400	89100
98400	89600
98900	89500

Tabla No. 1: Coordenadas de localización del área de estudio

Hay dos formas de acceso al sector: una, por la parte alta de la ladera, desde la zona de Altos del Cazucá (Municipio de Soacha, al occidente), y otra, desde el barrio Ismael Perdomo, empleando las calles 63 sur y 65 sur, en sentido oocidental, hasta llegar a la carrera 76. En el costado sur del área de estudio hay una vía de alta pendiente, conocida en el sector como la calle 5ª, que comunica la zona de las canteras con los barrios Cerro del Diamante y El Espino I Sector.

La zona de estudio está limtada, de forma aproximada, por las calles 63 sur y 68 sur, y por la carrera 76 y una franja de 200 metros al occidente de la denominada “carrera 1ª.”, que es aproximadamente la carrera 80; la extensión final mencionada incluye la ampliación hecha al área de estudio original, y que corresponde a la parte alta de la ladera, al occidente de la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental, la cual ha sido incluída dentro de los análisis de amenaza.

1.2 ANTECEDENTES

La zona de estudio viene siendo afectada desde hace unos tres años por fenómenos de inestabilidad, causados principalmente por la estructura del macizo rocoso presente, la explotación de materiales de construcción y la presencia de aguas infiltradas como resultado de la urbanización de la zona alta del sector. El proceso de urbanización se remonta al último decenio, en tanto que la explotación de materiales ha sido adelantada en los últimos treinta

años por los propietarios del área; a pesar de las restricciones impuestas para la labor minera, aún se explotan materiales de forma artesanal por parte de muchos habitantes del sector.

De acuerdo a testimonios de los habitantes del sector y con base en la información proveniente de las fotografías aéreas, las primeras viviendas construidas en el sector son las ubicadas en la parte norte de la quebrada Santa Rita, y que se instalaron allí una vez se detuvo la explotación de la cantera del mismo nombre.

A principios de la presente década, se inició la reconformación del terreno para urbanizar el costado este del área de estudio, frente a las canteras; dicho proceso continúa aún, y se inició con la construcción del barrio El Espino III Sector en su parte nororiental. Posteriormente, a mediados de la década se inicia el loteo y ocupación de la parte alta de la ladera, para construir los barrios Espino I Sector y Cerro del Diamante; además, el barrio Espino III Sector se extiende hacia el costado sur del área de estudio, frente a la cantera que se explota actualmente.

En resumen, inicialmente se ocupó el área de la cantera Santa Rita (El Rodeo), posteriormente la parte nororiental del área de estudio y, en los últimos años, se extendió el área urbanizada hacia el sur y hacia el occidente.

Ante la evidente amenaza de los fenómenos de inestabilidad, la UPES decidió el retiro de algunas viviendas de la zona de la quebrada Santa Rita, en el antiguo frente de explotación de la cantera, por negociación directa con los habitantes. Sin embargo, existen aún varias construcciones expuestas, y algunas de las negociadas por la UPES han sido reocupadas.

Es de anotar que la zona ha sido objeto de observación por parte de las autoridades distritales, especialmente de la UPES, desde inicios del año 1996; en efecto, funcionarios de la entidad han emitido conceptos técnicos fechados el día 4 de abril de ese año, en los que se advierten problemas de inestabilidad relacionados con las actividades mineras y el proceso de urbanización de la parte alta. Como consecuencia de las visitas realizadas, se concluyó que es necesaria la construcción de estructuras de captación y drenaje (parte alta), y de protección del cauce de la quebrada Sante Rita. Finalmente, se recomienda la evacuación de las familias que residen en la zona conocida como El Rodeo, en la que se encuentran, aún hoy día, 13 viviendas.

Finalmente, y en el marco del estudio de Zonificación de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá, llevado a cabo por la firma INGEOCIM Ltda. y por la UPES, se identificaron procesos activos relacionados con denudación del terreno y actividades mineras, y que son básicamente deslizamientos por falla planar, caída de bloques por volcamiento y depositación inadecuada de materiales remanentes de la explotación minera.

1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

De acuerdo con los términos contractuales y los lineamientos trazados por la interventoría y la dirección del proyecto, se formularon como objetivos del estudio los siguientes:

1.3.1 Objetivos Generales

A. Establecer la zonificación por niveles de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de la zona de estudio.

B. Plantear, cuando haya lugar a ello, las obras necesarias para garantizar la estabilidad de la ladera para reducir los niveles de Amenaza que se presentan actualmente en el sitio.

C. Indicar las acciones pertinentes a que haya lugar para reducir los niveles de exposición de los habitantes del sector a fenómenos de remoción en masa.

D. Prediseñar la alternativa de mitigación más favorable, y evaluar sus cantidades de obra y presupuesto aproximado, y desarrollar un planteamiento conceptual de las obras urbanísticas y paisajísticas para la recuperación del sector. Este objetivo fue el resultado de modificar el objetivo inicial de diseños completos y detallados, como compensación por la ampliación de los límites iniciales del área del estudio.

1.3.2 Objetivos Específicos

A. Identificar el tipo de problemas de inestabilidad que afectan la ladera, cuya localización fue señalada por la UPES y la interventoría.

B. Establecer la magnitud de los movimientos activos, y el área afectada.

C. Determinar los factores que han incidido y su importancia en la persistencia del fenómeno.

D. Definir las características del sitio, en relación con aspectos geológicos, físicos y geotécnicos.

E. Estimar el nivel de amenaza de los fenómenos.

F. Definir los niveles de exposición y vulnerabilidad.

G. Confluir a la evaluación del riesgo que representa el fenómeno citado para los habitantes, bienes y servicios.

1.4 METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos propuestos en el estudio, los cuales se consignaron en el numeral 1.2 se optó por desarrollar la siguiente metodología:

- Realización de visitas por parte de la dirección del proyecto y los especialistas de geología, geotecnia, hdrología e hidráulica y riesgo, tendientes a mejorar el enfoque del problema para programar adecuadamente las actividades posteriores. Durante esas visitas se recorrió el área inestable y se observó el fenómeno desde la zona plana de la sabana y desde la

parte alta de la zona del problema. Adicionalmente se sostuvieron reuniones con la interventoría y representantes de la UPES y se realizaron entrevistas a vecinos del lugar.

- Recopilación y análisis de información preliminar de la zona, en relación con aspectos sociales y poblacionales, geología, geotecnia, antecedentes de los fenómenos, hidrología, redes de servicios, sismicidad, fotografías aéreas y cartografía existente en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi Escala 1:2000. A partir de esta actividad se formuló el programa definitivo de las actividades de campo.

- Análisis secundario de la pluviosidad y generación de caudales a partir de los modelos de tormentas existentes para la zona, empleando registros pluviométricos y pluviográficos de estaciones instaladas por la empresa de Acueducto de Bogotá y la cartografía básica existente, con la que se determinó la extensión de la cuenca de la quebrada Santa Rita.

- Identificación de las áreas inestables en el campo a partir de la comprobación del ejercicio de fotointerpretación. Esta actividad se llevó a cabo en forma conjunta por los grupos de geología y geotecnia, con el propósito de lograr una visión global de los fenómenos y sus factores determinantes, además de aprovechar los aportes interdisciplinarios en la comprensión de los problemas que presentan los diversos sitios de la antigua cantera y sus alrededores.

- Levantamiento topográfico para construcción de cartografía con escala 1:1000. Materialización de puntos de exploración y levantamiento de columnas estratigráficas en los frentes de explotación y escarpes expuestos.

- Estudio de factores hidráulicos en el sitio para comprobar observaciones relacionadas con la infiltración de aguas negras y su influencia sobre los movimientos, empleando el programa PCStable; además, se evaluó un hipotético represamiento de la Quebrada Santa Rita, debido al manejo incontrolado de rellenos en la porción inferior del sitio, con base en el levantamiento topográfico y el análisis secundario de pluviosidad.

- Levantamiento geológico de detalle en el sitio, para plantear el mapa de geología para ingeniería, en escala 1:1000.

- Levantamiento geológico y geotécnico de campo para identificar factores que indujeron la inestabilidad, su morfología, atributos y características, recurriendo a la observación de procesos y toma de datos de geología estructural.

- Investigación directa del subsuelo en escarpes y sondeos para identificar las características de los materiales involucrados y recuperar muestras para análisis de laboratorio.

- Determinación de propiedades índice y parámetros geomecánicos en ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas.

- Sectorización de las laderas y escarpes por tipos de fenómenos observados.

- Modelación geotécnica de los problemas para realizar análisis cuantitativos. Se reunió y analizó toda la información acopiada y se realizaron reuniones de todos los especialistas

involucrados en el estudio y reuniones conjuntas con la interventoría, hasta plantear modelos de mecanismos de movimiento que representaran lo mejor posible los fenómenos observados.

- Análisis de estabilidad sobre los modelos geomecánicos planteados, con ayuda del programa de computador PCSTABLE.

- Análisis de niveles de Amenaza para toda la zona de estudio empleando la metodología planteada por Rosembleuth para la determinación de probabilidades de falla.

- Determinación de niveles de exposición de la población y de daños esperados sobre construcciones, con base en los resultados de las encuestas de vivienda y el levantamiento topográfico.

- Realización de encuestas de viviendas para cálculo de índices generales de carencias, niveles de exposición y vulnerabilidad.

- Deducción de niveles de riesgo, empleando la metodología propuesta por el Ingeniero Álvaro González para la ciudad de Santafé de Bogotá.

- Formulación de alternativas para estabilización y análisis de su efecto a partir de la modelación, para seleccionar las alternativas viables. Planteamiento de medidas complementarias a la luz de un estudio conceptual.

- Formulación de alternativas de mitigación de riesgo a partir de la intervención de los factores correspondientes, basada además en un análisis económico.

- Prediseño ingenieril de medidas correctivas o medidas de mitigación seleccionadas finalmente, elaboración de planos esquemáticos, evaluación de cantidades de obra y presupuestos aproximados. Las obras de intercepción de aguas en la parte superior de la ladera, para mejorar las condiciones de estabilidad de la ladera, se llevaron a nivel de diseño con el fin de que se acometan por la UPES de manera inmediata, para lo cual se evaluaron sus cantidades de obra y presupuestos y se incluyeron las especificaciones de construcción necesarias.

- Recomendaciones para la rehabilitación ambiental, urbanística y paisajística del área.

- Redacción de informes, incluyendo una descripción de la metodología seguida, memorias de los cálculos realizados y copia de todos los resultados obtenidos para presentar en forma coherente las recomendaciones formuladas, así como planos, presupuestos y especificaciones. El presente documento constituye el informe final del trabajo ejecutado, de acuerdo con las especificaciones contractuales, y en el que se presentan las actividades que este consultor considera como las más adecuadas para reducir los niveles de Amenaza y Riesgo en el área de estudio.

1.4.1 CONDICIONES TOPOGRÁFICAS

Una de las bases principales para la ejecución del estudio fue la ejecución de un levantamiento topográfico del área de estudio, incluyendo una gran zona en la corona de los movimientos y en la parte baja. Para el efecto se utilizó una estación total con distanciómetro electro-óptico marca Topcon, serie GTS-211D, con lectura de ángulo al segundo.

La información geodésica se trasladó hasta el sitio de estudio por medio de una poligonal doble, desde las placas IGAC con denominación CD-772 y CD-773, con sistema de proyección cartesiano de origen Bogotá; el control de la precisión de la poligonal se llevó cabo mediante lectura de ángulo doble y en lectura de distancia repetida adelante y atrás, respectivamente. El cierre de la poligonal se llevó a cabo en las placas de inicio. Luego de verificar el cierre obtenido, se procedió a la toma de detalles en general.

Con base en la poligonal base materializada en el área de trabajo, se instalaron dos mojones, con dimensiones visibles de 25x25 cms; el mojón No. 1 se localiza en un escarpe al sur de la quebrada Santo Domingo, frente a un pequeño tanque de agua, mientras que el mojón No. 2 fue colocado en una explanación localizada a unos cuarenta metros al este de la vía de acceso a los barrios del noroccidente. Los dos mojones son visibles entre sí, y desde el No. 2 se aprecian los puntos empleados para materializar la poligonal, que corresponden a las denominaciones PER-1 a PER-5, algunos de los cuáles se localizaron sobre las terrazas de algunas viviendas del sector. La longitud de la poligonal de base es de 3785.838 metros y tiene un error de cierre de 0.021.

Las coordenadas de placas IGAC y mojones colocados son las siguientes:

PUNTO	N	E	ALTURA
CD-772	100,023.128	89,281.798	2,554.460
CD-773	99,960.578	89,708.946	2,558.210
MOJON No. 1	98,412.217	89,361.934	2,673.587
MOJÓN No. 2	98,570.981	89,328.650	2,668.119

Tabla No. 2: Coordenadas de localización de puntos de referencia en el levantamiento topográfico.

Como resultado de las actividades topográficas de campo se produjo el Plano número 1: Levantamiento Topográfico a escala 1:1000; la interpolación de las curvas de nivel se llevó a cabo mediante la técnica de triangulación, empleando el programa Civil Survey. El plano se utilizó como base para los levantamientos geológicos y geotécnicos y para los detalles requeridos en el análisis hidráulico. Adicionalmente se tomaron dos secciones con detalles, para el levantamiento geológico y para la modelación geotécnica.

Los levantamientos topográficos se extendieron a la localización precisa de los puntos de exploración geotécnica; en razón a que el sector es sometido contínuamente a actividades de remoción de tierra, algunos de los detalles y formas mostradas en el plano no podrán ser comprobadas en campo, especialmente en la parte sureste del área de estudio, donde el terreno fue reconformado después de la ejecución de los trabajos topográficos.

El levantamiento topográfico del área se llevó a cabo entre los días 15 y 25 de enero de 1999.

1.5 ALCANCE

Los resultados de los análisis efectuados por este consultor conducen al planteamiento de varias medidas y obras de mitigación y control de la amenaza que muestran zonas inestables identificadas en el estudio; dichas obras y medidas tienen como propósito fundamental reducir de forma dramática la posibilidad de colapso y, en otros casos, eliminar la exposición de la población a niveles de riesgo altos.

El levantamiento topográfico, reflejado en el plano 1, a escala 1:1000, sirve de base para la localización de los rasgos obtenidos en el levantamiento geológico local de detalle, que además se apoya en el análisis multitemporal de fotografías aéreas de diferentes escalas. Este levantamiento detallado es una de las herramientas empleadas en la identificación de los procesos de inestabilidad activos, cuya disposición en el terreno se presenta en el Mapa de Zonificación por Amenaza; dichos procesos activos se analizaron empleando los modelos de computador PCStable y Tumble, con base en la información proveniente de los ensayos de laboratorio efectuados sobre muestras de roca y recurriendo a secciones geológicas obtenidas en el levantamiento topográfico. Los niveles de precisión de los análisis efectuados son medios, toda vez que los ensayos de laboratorio efectuados no cubren toda la ladera y el muestreo de los materiales rocosos fue difícil, por lo que los resultados de dichos ensayos sólo aportan un orden de magnitud de los parámetros de resistencia.

La observación de los fenómenos activos y latentes y su influencia sobre las zonas habitadas se refleja en el mapa de zonificación por riesgo, el cual se obtiene del análisis del alcance e influencia de las fuentes de amenaza presentes sobre las construcciones. Dado que la determinación de las zonas de influencia de los procesos más importantes implica, además de los análisis técnicos, un ejercicio conceptual basado en observación directa de la zona de estudio, la precisión en la determinación de las diferentes zonas de riesgo es media; además, teniendo en cuenta la naturaleza de las fuentes de amenaza y su localización en relación con las viviendas, se estableció de forma conceptual un nivel de daño de acuerdo al tipo de vivienda expuesto, de acuerdo a la metodología planteada por Leone, por lo que el nivel de precisión de la evaluación de vulnerabilidad provisto por este ejercicio conceptual es medio.

La misma base topográfica se empleó en la localización de las obras de mitigación de niveles de Amenaza, consistentes en estructuras de intercepción y drenaje, cuyos diseños detallados y planos de construcción se presentan en los Planos de Construcción y Localización de las Obras Hidráulicas de Mitigación; la precisión de los diseños es alta, dada la escala de la base topográfica.

Las actividades de reconformación del terreno que el consultor plantea como necesarias para reducir los niveles de Amenaza en algunas zonas del área de estudio no se presentan mediante un diseño detallado sino como una recomendación conceptual, toda vez que dichos diseños se encuentran fuera del alcance modificado del estudio. Así mismo, la posible construcción de una alcantarilla de cajón de 2 x 2 y 75 m de longitud, y de unos diques de protección del lecho de la Quebrada Santa Rita, se presentan a nivel de prediseño y su construcción depende del manejo que se le pueda dar al relleno que se realiza por particulares en la parte baja de la zona de estudio como mitigación del riesgo al que podría estar sometida

la población aguas abajo, a pesar de no ser evaluada tal condición por exceder el alcance de este estudio.

Por otra parte, el análisis económico realizado para determinar la alternativa de mitigación más viable se basó en la adopción de costos medios para cada uno de los tres tipos de vivienda que se encuentran en el sector; en este caso, la alternativa de reubicación se contrastó con la de intervención en la fuente de Amenaza. La adopción del valor de la vivienda de acuerdo a su tipología se basó en el costo actual de un lote en la zona de estudio, el cual está entre los tres y los cuatro millones de pesos, por lo que se considera que la precisión del análisis es alta.

Es de anotar que la localización de las viviendas de la parte alta de la ladera, en el costado occidental, se efectuó de manera aproximada sobre la base topográfica original, empleando los planos de loteo a escala 1:1000 realizados por la comunidad del barrio El Espino I Sector; para este sector se escogió un valor modal de 6 habitantes por vivienda, el cual es el valor modal arrojado por las encuestas efectuadas en el resto de la zona.

CAPÍTULO 2

POBLACIÓN, VIVIENDAS Y SERVICIOS PÚBLICOS

No es posible, dentro de la evaluación de riesgos físicos sobre un área determinada, ignorar los aspectos humanos que pueden verse afectados con la ejecución de medidas y obras de mitigación de amenazas; en atención a ello, la evaluación de las condiciones de vida de la comunidad expuesta permite esclarecer la viabilidad y conveniencia de las acciones que deberán adoptarse. Este proceso deberá tener en cuenta la forma en que se afectará la vida cotidiana de las personas, trascendiendo el aspecto puramente técnico y aún económico.

2.1 Características de las Viviendas y Distribución de Población

A simple vista, es posible ver que las construcciones del lugar se han ejecutado, en su gran mayoría, por el método de autoconstrucción; dependiendo de la capacidad económica del propietario, la vivienda puede variar desde una casa de mala calidad de construcción hasta una de varios pisos con estructura aporticada. Para efectos de clasificar las construcciones de acuerdo a las características mencionadas, se empleó la que propone Leone, y que se presenta a continuación:

TIPO DE VIVIENDA	CARACTERÍSTICAS
B1	Tugurios (Ranchos)
B2	Casas en mampostería o prefabricadas
B3	Casas de hasta dos niveles, de buena calidad de construcción (con estructura)
B4	Casas de más de dos niveles, de buena calidad de construcción (con estructura)

Tabla No. 3: Tipificación de viviendas propuesta por Leone

La zona más densamente construida y poblada es la que se encuentra al frente de la cantera sur, que además, desde el punto de vista de la calidad de la vivienda, es la más heterogénea; en efecto, en esta zona hay un número aproximado de 100 viviendas, cuya clasificación según los criterios de Leone van desde el tipo B1 al tipo B3, siendo la más frecuente la de tipo B2, con una población cercana a las 550 personas. Es de anotar que una gran parte de las viviendas del área de estudio se construye en materiales competentes como concreto reforzado y bloques, como puede verse en los barrios El Espino III Sector y San Rafael.

Con el propósito de hacer una zonificación por tipo y calidad de vivienda, así como por densidad poblacional, dentro del área original de estudio se han definido once (11) sectores o zonas, con las siguientes características:

ZONA NO.	LOCALIZACIÓN EN EL AREA	POBLACIÓN (Habitantes)		TIPO DE VIVIENDA B1		B2		B3	
1	ESTE	36	3.9%	0	0%	4	57%	3	43%
2	SURESTE	137	14.7%	4	15%	17	63%	6	22%
3	ESTE	30	3.2%	0	0%	5	63%	3	37%
4	SURESTE	44	4.7%	2	20%	7	70%	1	10%
5	ESTE	178	19.2%	24	65%	13	35%	0	0%
6	SUROESTE	125	13.5%	18	64%	10	36%	0	0%
7	NORTE	43	4.6%	8	73%	2	18%	1	9%
8	NORTE	43	4.6%	6	67%	3	33%	0	0%
9	NORESTE	77	8.3%	5	28%	10	56%	3	16%
10	OESTE	126	13.6%	12	57%	9	43%	0	0%
11	SUROESTE	90	9.7%	10	67%	5	33%	0	0%
	TOTAL	**929**	**100%**	**89**	**47%**	**85**	**45%**	**17**	**8%**
				TOTAL DE VIVIENDAS				**191**	**100%**

Tabla No. 4: Sectorización por características de vivienda y población del área original de estudio

En el sector adicionado al estudio, denominado como zonas No. 10 y 11 y correspondiente a los barrios El Espino I Sector y El Cerro del Diamante, se han identificado unas 35 viviendas de tipo B1 y B2, con una distribución aproximada de 6 habitantes por casa, el cual corresponde al valor modal obtenido en la encuesta de vivienda. La zonas y la tipificación de viviendas pueden verse en el plano del Levantamiento Topográfico (No. 1) anexo al presente informe. En la Figura No. 2 se presenta la distribución de viviendas para cada una de las once subzonas habitadas.

2.2 SERVICIOS PÚBLICOS

Dada la naturaleza del estudio, fue necesario conocer el manejo de las aguas lluvias y las de producto de actividad humana.

Según los datos recopilados, casi la totalidad de las viviendas cuenta con servicio de agua potable, el cual es suministrado por medio de mangueras provenientes del tanque de distribución del Acueducto de Bogotá ubicado en la zona de Jerusalén.

Es necesario mencionar que las conexiones de la red de agua potable que surte a toda la ladera son deficientes, de manera que hay pérdidas que sin duda afectan la estabilidad de la ladera, debido a la infiltración.

Por otra parte, la disposición de las aguas servidas no es apropiada, toda vez que éstas, en muchos casos, son vertidas directamente al terreno o conducidas hasta las quebradas vecinas mediante acequias no revestidas, que son empleadas también para depositar basuras; es obvio que esta circunstancia incrementa el volumen de aguas infiltradas en la ladera. En la ronda de la quebrada Santo Domingo hay un sistema de evacuación de aguas servidas mediante tubería, el cual se ha instalado bajo la vía de acceso; no se observa que el sistema presente fugas.

La disposición de aguas servidas por medio de canales no recubiertos se realiza en las viviendas ubicadas en la parte alta de la ladera, en el barrio El Espino I Sector; en este sitio y

cerca de la vía de acceso se localizan mas de 35 viviendas, en las que residen unas 210 personas. Es necesario indicar que a la altura de un pequeño tanque de distribución que se localiza al lado izquierdo de la vía de acceso, se realizó explotación de material de recebo y posteriormente se instalaron algunas viviendas allí; en especial, resulta de interés la disposición de aguas negras de las construcciones localizadas en el flanco occidental de esta cantera, que ha agravado el problema de estabilidad del material al generar un fenómeno retrogresivo que amenaza las viviendas localizadas en el área.

En resumen, es necesario, con base en las condiciones anteriores, establecer un sistema seguro de distribución y disposición de aguas, con lo que la reducción de amenaza por remoción en masa se reducirá dramáticamente, además de mejorar el aspecto ambiental y urbanístico de la parte alta de la ladera en el sector del barrio El Espino.

CAPITULO 3

GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

Con el objetivo de aportar los conceptos geológicos básicos para establecer el marco conceptual de los problemas de estabilidad y suministrar información para la modelación geotécnica, se desarrollaron diversas labores de fotointerpretación y de geología de campo. Las actividades se orientaron hacia el estudio de aspectos litológicos, estratigráficos, estructurales, geomorfológicos y tectónicos. Los resultados obtenidos se resumen en este capítulo.

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

3.1.1 Introducción.

La determinación de los factores estructurales, morfológicos y tectónicos relacionados con la estabilidad general de la zona se hizo mediante datos estructurales obtenidos en reconocimiento de campo, mediante el análisis de las fotografías aéreas IGAC R 1131 # 3558 y 3559 del año 1991, R 1183 # 018, 019, 155 y 156 del año 1992, y SADEC vuelo SAC 390, #1856,1857,1833 y 1384 del año 1996, y mediante revisión bibliográfica con consulta del plano geológico regional de Ciudad Bolívar a escala (1:10000) producido por Ingeocim Ltda.

La información obtenida como resultado de los análisis se consigna en el Plano Geológico Regional a escala 1:5000 (No. 3) adjunto al presente documento.

3.1.2 Estratigrafía

El terreno de la Cantera El Espino y el área aledaña hacia el suroccidente, hasta la divisoria de aguas, están ubicadas sobre rocas sedimentarias, preferencialmente areniscas, pertenecientes a la Formación Arenisca La Guía; además en sus vecindades, hacia el norte, noreste y sur; en contacto fallado con estas areniscas se encuentran secuencias potentes de arcillolitas con cintas de carbón y areniscas con intercalaciones de arcillolitas respectivamente, pertenecientes a la Formación Guaduas. En el Plano Geológico Regional se muestra el detalle de los contactos entre estas dos formaciones. Estas rocas están localmente recubiertas por depósitos recientes. Las característica litológicas generales de estas formaciones son las siguientes:

Formación Arenisca La Guía(Tkgu-ag). Como se observa en el Plano Geológico Regional, está expuesta en la mayor parte del área objeto de este estudio. La secuencia litológica que aflora en el sector está conformada por estratos de arenisca cuarzosa, de grano fino a medio, cemento silíceo a ligeramente arcilloso, su color es gris claro con manchas amarillas; se observa estratificación cruzada. El espesor de los estratos varía de delgado a grueso, con predominio de los gruesos. La arenisca de la parte superior de esta secuencia está interestratificada con estratos de arcillolitas grises, posiblemente caoliníticas. El espesor de los estratos varía entre pocos centímetros a más de un metro. Estas características

litológicas y la potencia de la secuencia son algunos de los elementos que hacen pensar que esta secuencia podría hacer parte de la Arenisca de Labor.

En lo que respecta a meteorización, en aquellos sitios donde no ha existido actividad antrópica se observa que la parte superior de la secuencia, en un espesor de 1.1m la arenisca tiene grado V de alteración, y en los sitios de actividad minera su grado de alteración es ll.

En cuanto a fracturación, esta secuencia está afectada por tres familias de diaclasas y varias fallas geológicas que serán descritas en detalle en el siguiente numeral; el espesor de secuencia observable, pues no aflora el piso de estas areniscas, es del orden de 25m

Formación Guaduas (Tkgu). Está expuesta en el costado nororiental del área de estudio y en las áreas colindantes por los flancos suroriental y norte del sector.

La secuencia expuesta en el costado nororiental del área, está conformada por la interestratificación de capas delgadas de arenisca cuarzosa, de grano fino, de color gris claro, y arcillolitas grises a pardas con manchas rojizas: además existen huellas de una antigua explotación subterránea de carbón . La secuencia está expuesta en los taludes de una antigua explotacion de recebo.

La secuencia expuesta en el costado suroriental está conformada por arcillolitas de color gris oscuro a carmelita con intercalación de varias cintas de carbón y de algunas capas delgadas de arenisca de grano fino y color gris claro; estos materiales presentan grado de meteorización lll. El espesor de esta secuencia es potente.

La secuencia expuesta en el costado norte está conformada por paquetes gruesos de arcillolitas grises con grados de meteorización lll - lV, intercalados con algunos estratos de areniscas cuarzosas, de grano fino, color gris a amarillo, y espesor medio a grueso. El espesor observable de esta secuencia es del orden de 20m.

3.1.3 Estructuras Geológicas.

El área se caracteriza por estar ubicada sobre una estructura monoclinal, aparentemente sencilla, que buza hacia el nororiente con inclinación inferior a $25^{0.}$. Sin embargo, como se aprecia en el Plano Geológico, está afectada por tres clases genéticas de fallas: inversa, de tendencia gravitacional y de rumbo.

3.1.3.1Falla inversa.

Esta falla está localizada en el costado noreste de la cantera del Espino, tiene orientación con tendencia noroeste - sureste y azimut de buzamiento hacia el suroeste. Los estratos de la Formación Arenisca La Guía cabalgaron sobre las arcillolitas con intercalación de arenisca pertenecientes a la Formación Guaduas. Parece ser la falla más antigua con relación a las otras presentes en el sector.

3.1.3.2 Fallas de tendencia gravitacional.

Se detectaron dos fallas de esta clase en el sector, las cuales específicamente sirven de limite por los costados norte y sur a la porción de ladera donde se ubica la cantera. De acuerdo con los rasgos morfológicos del terreno y las posiciones de las formaciones Guaduas y Arenisca La Guía, el movimiento relativo de bloques generado por estas dos fallas podría haber generado un alto tectónico que posibilitó el afloramiento de las areniscas y las puso en contacto con la formación Guaduas.

3.1.3.3 Fallas de Rumbo.

Esta falla se presenta en la parte media de la ladera, tiene una tendencia en orientación noroeste-sureste e inclinación hacia el suroeste con buzamiento superior a 60º. Además los espejos de falla poseen estriamientos con 30º de cabeceo hacia el sureste; por tanto aunque el movimiento de los bloques estructurales es predominantemente horizontal, existe también algo de desplazamiento vertical. La característica de truncamiento y desplazamiento de los planos de estratificación tiene incidencia fundamental sobre el tamaño máximo de masa rocosa, hacia arriba del corte de la cantera, que podría resultar involucrado en un proceso de remoción en masa controlado por el mecanismo de falla planar, lo cual se ilustra en la Figura No. 3 (Perfil geológico regional). Como se muestra en el Plano Geológico Regional, una de estas fallas está inmediatamente hacia arriba del carreteable que existe en la parte media de la ladera, y de esta falla hacia el suroccidente, los planos de estratificación tienen variación en su orientación, pues su rumbo es de tendencia este-oeste en la parte más alta de la ladera; esta característica también contribuye, desde el punto de vista cinemático, a limitar que la opción de falla planar involucre todo el tramo de ladera hasta la divisoria de aguas.

3.2 MODELO HIDROGEOLÓGICO GENERAL DEL ÁREA

De acuerdo con las características litológicas, específicamente texturales, como también los rasgos estructurales de las rocas existentes en el sector, desde el punto de vista hidrogeológico se les pueden clasificar en acuíferos, acuitardos y acuiclusos.

Los potenciales acuíferos son básicamente los paquetes de estratos de areniscas, pero su porosidad y permeabilidad se desarrolla a través de los planos de diaclasa, de fallas geológicas y de estratificación; es decir, su permeabilidad se debe a la fisuración. Los acuitardos están representados específicamente por los horizontes de suelo que se han desarrollado a expensas de la meteorización de los estratos superiores de la secuencia arenosa que fue explotada en el sector. Finalmente, los acuiclusos son básicamente los paquetes de arcillolitas, en la medida que los planos de discontinuidad existentes estén cerrados.

Específicamente para las litologias presentes en el área de estudio se tienen los siguientes elementos para la determinación del modelo hidrogeológico general:

Areas de recarga. Para las características topográficas y estructurales del sector, dentro de una condición natural, las áreas de recarga están localizadas en el sector de la divisoria de aguas y sobre la pendiente estructural, ubicada inmediatamente arriba del escarpe del frente de explotación de la cantera Santa Rita. Otros posibles sitios de recarga están ubicados en

los cauces de las quebradas Santa Rita y Santo Domingo, y a lo largo de las vías de acceso de la parte alta de la ladera.

Posibles acuíferos. La presencia de capas impermeables (acuiclusos) y semi impermeables (acuitardos), generan la posibilidad de existencia en los paquetes de areniscas de potenciales acuíferos confinados y semi confinados, pero el régimen hidrológico de este sector de la hoya del Rio Tunjuelito, con precipitaciones del orden de 600 mm/año imposibilita, para la condición natural, la presencia de acuíferos dentro de esta secuencia. Esta era la situación hasta el año 1992.

Con la ubicación de asentamientos humanos sobre la pendiente estructural, hacia arriba del talud de la cantera, se vuelve activa esta área de recarga, como consecuencia de la ejecución de excavaciones que destruyeron la capa de suelo, y del vertimiento, ladera abajo, de aguas servidas realizada por los habitantes del sector. De esta manera el agua comenzó a fluir por los estratos de arenisca y a saturar las capas de arcilla hasta generar los deslizamientos que son objeto de este estudio.

3.3 GEOLOGIA LOCAL

3.3.1 Introducción.

Las características geológicas de área de estudio se han determinado a partir de la realización de las siguientes actividades: revisión bibliográfica, fotointerpretación geológica de las fotografías aéreas IGAC, R 1131 # 3558 3559 del año 1991, R 1183 # 018, 019, 155 y 156 del año 1992 y SADEC vuelo SAC 390, #1856,1857,1833 y 1384 del año 1996; el reconocimiento de campo para la toma de información litológica, estructural y de procesos de inestabilidad. Toda esta información se consignó en el Plano Geológico Local (No. 2) y en los perfiles geológicos (Planos Nos. 5 y 6) y en el texto de este informe.

El reconocimiento de campo de efectuó en tres etapas, para igual número de zonas dentro del área del proyecto, que son:

- Antiguo frente de explotación de la cantera Santa Rita
- Frente de explotación de la cantera sur
- Parte alta de la ladera, en los barrios El Cerro del Diamante y El Espino I Sector

Los materiales presentes en los sitios mencionados pueden agruparse en suelos transportados, masas deslizadas, relleno y rocas sedimentarias. Las características de estos materiales como también los rasgos estructurales importantes de la masa rocosa se exponen a continuación.

3.3.2 Características litológicas.

3.3.2.1 Rocas Sedimentarias.

Las rocas aflorantes pertenecen a la Formación Arenisca La Guía (Tkgu-ag), la cual hace parte del Grupo Guaduas. Sin embargo es recomendable promover una investigación para precisar este aspecto estratigráfico, ya que las características morfológicas y estratigráficas hacen suponer que se trata de la formación Arenisca de Labor, perteneciente al Grupo Guadalupe; este aspecto es interesante, pero no tiene incidencia sobre los resultados cuantitativos de este estudio.

Los estratos se pueden agrupar en dos secuencias, claramente distinguibles en los escarpes dejados por la actividad minera, y presenta las siguientes características:

La secuencia superior, como se aprecia en la Foto No. 10 del Anexo Fotográfico, está compuesta por la intercalación de estratos delgados y láminas de arenisca cuarzosa y de arcillolitas caoliníticas grises que le ocasionan un comportamiento débil y tiene un espesor del orden de 10 m en los escarpes de la cantera Santa Rita. En los escarpes de la explotación sur no fue posible medir su espesor, pero parece ser similar.

La secuencia inferior está a continuación, hacia abajo, de la anteriormente descrita, y consta de un nivel potente de areniscas cuarzosas de color gris claro a amarillo, con estratos muy gruesos de espesor superior a 4 m; su comportamiento mecánico es de tendencia frágil, razón por la cual su fracturamiento es de tendencia astillosa. El espesor máximo observable se encuentra en el escarpe del costado oriental de la ladera afectada, y es del orden de 3 a 4 m; esta secuencia puede observarse en la parte superior de la ladera, en el corte de la vía de acceso, en donde se encuentra sometida al vertimiento de aguas servidas. En el anexo No. 2 se presenta la columna estrigráfica típica de la zona.

3.3.2.2 Depósitos recientes.

Los materiales de este tipo que se encuentran en el sector son básicamente los siguientes:

Suelos Residuales (Qs): Esta clase de material se encuentra en el costado noroccidental de la ladera objeto de este estudio; en los demás sitios en que hubo actividad de explotación fue totalmente removida.

Morfológicamente se le observa como una alfombra recubriendo los estratos de la secuencia de areniscas y arcillolitas, descritas en el numeral anterior

Su composición litológica, de arriba a abajo, es la siguiente:

- Capa de humus de color carmelita, textura areno limosa con frecuentes clastos de arenisca tamaño grava. Su espesor es de 0.7 m
- Capa de humus de color carmelita a terracota, textura areno limosa, muy permeable. Espesor de 0.45 m
- Capa de humus carmelita con manchas pardas claras; hay abundantes fragmentos de arenisca de grano fino de forma romboédrica y orientados siguiendo la tendencia de los estratos de arenisca que se hallan inmediatamente debajo. Se trata de una arenisca meteorizada con grado de alteración entre 3 y 4 . El espesor de esta capa es de. 0.65 m

Masas Deslizadas (Qd): Como se aprecia en el plano geológico, su localización y por ende su origen están directamente relacionados con los frentes de explotación de la zona, y son consecuencia de la actividad poco técnica de la labor minera; en algunos casos, como en los deslizamientos de la cantera Santa Rita y de la parte suroccidental alta, el flujo descontrolado de agua servidas es un factor adicional que afecta la resistencia y estabilidad de estas masas.

Tomando como base el volumen de material involucrado en el proceso de inestabilidad, es claro que la zona con mayor afectación corresponde al escarpe del frente de explotación de la cantera Santa Rita, e involucra un área del orden de 7380 m^2. Este material está constituido, por una parte, de material procedente de las capas de humus descritas dentro de la unidad Qs, y de otra por fragmentos angulares de arenisca y arcillolita procedentes de la parte superior de la secuencia de las rocas sedimentarias.

En la cantera sur se encuentra una masa deslizada que se compone de bloques de gran tamaño localizados en la parte central de la cantera; en el cuerpo del deslizamiento pueden verse además grietas de tracción, que evidencian el movimiento de la masa, que abarca una superficie cercana a los 4680 m^2; este sector de la cantera continúa en explotación.

Flujo de detritos (Qfd): Esta unidad está presente en dos sitios, como se aprecia en el Plano Geológico. Uno de los depósitos está localizado en el extremo nororiental del escarpe del frente de explotación sur, con una extensión aproximada de 870 m^2, y compuesto básicamente por fragmentos rocosos embebidos en una matriz areno-arcillosa y en estado suelto. El otro se localiza en el costado suroccidental del área de estudio, sobre la margen derecha del carreteable, con una extensión cercana a los 3100 m^2, y se compone también de bloques de diverso tamaño embebidos en una matriz en estado suelto, involucrando además suelo residual. De los dos, el que mayor amenaza genera es el de la parte alta, que compromete inicialmente las viviendas localizadas a lo largo de la vía de acceso.

En resumen, los materiales que componen los depósitos proceden de la desestabilización de las unidades Qs y Tkgu-ag, originada por la explotación inadecuada de la roca. Así, el material que fluye está conformado por fragmentos de arenisca, arcillolita y humus de diferentes tamaños (grandes bloques a gravas) con saturación variable.

Botadero de escombros (Qbe): Esta clase de relleno se halla ubicado en el costado nororiental del área. El sitio donde se realiza es una depresión topográfica, abierta hacia el cauce de la Quebrada Santa Rita, dejada por una antigua cantera, cuya cota final del piso de explotación fue similar a la del cauce de la quebrada que pasa aledaña. Como se aprecia en el Plano Geológico y en la Foto No. 8 del Anexo fotográfico, el relleno está conformado por escombros de construcción, arcillas, capa vegetal, basuras orgánica, llantas, aceites etc.; todos estos materiales están dispuesto de una manera desordenada y sin ninguna labor de preparación del piso en cuanto a pendientes del terreno in situ, aislamientos de los materiales tóxicos, obras de subdrenaje y confinamiento lateral del relleno en el tramo aledaño al cauce de la quebrada; además la compactación es mínima por cuanto se hace botado frontal desde alturas del orden de los 10 m. Por tanto, a mediano plazo este relleno se va a convertir en una fuente de amenaza para la comunidad del Barrio Ismael Perdomo y de contaminación para la quebrada.

Rellenos para terraplén (Qr): Estos materiales se localizan en la parte alta de la ladera, en la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental alta, y proceden de las actividades de corte de las unidades Tkgu-ag; se trata de granulares empleados en la nivelación de la vía misma y en formar una explanación con vista hacia el noreste, tal como puede observarse en el Plano Geológico Local (No. 2), y en los perfiles geológicos (No. 4 y No. 5).

3.3.3 Características estructurales.

El área de las canteras del sector de El Espino presenta los siguientes rasgos estructurales:

3.3.3.1 Pliegues

De acuerdo con la cartografía geológica regional de Julivert (1965), este sector está ubicado sobre el flanco occidental del Sinclinal de Usme, y los estratos poseen orientación noreste – suroeste y azimut de buzamiento hacia el noreste.

En concordancia con lo anterior, el área de la cantera de El Espino se halla sobre una estructura homoclinal o pendiente estructural que tiene una orientación media N 36 E y buzamiento promedio de 22^0 hacia el noreste, como se aprecia en los perfiles geológicos 1 y 2. La parte media y baja de esta estructura fue cortada en su continuidad por los cortes mineros de la explotación de areniscas. La pendiente estructural es la unidad geomorfológica más extensa e importantes en el área de estudio.

3.3.3.2 Fallas geológicas

Los reconocimientos de campo permitieron determinar que la pendiente estructural conformada por las areniscas está afectada por tres clases de fallas; una inversa y la otra de rumbo; además su continuidad hacia el norte y hacia el sur está truncada por la presencia de dos fallas posiblemente normales. Las características de cada una de ellas se exponen a continuación.

- **Falla inversa:** Esta estructura de corte tiene la importancia de que trunca la continuidad de la Arenisca La Guía hacia el sureste y la pone en contacto fallado con estratos de la Formación Guaduas representada por arcillolitas y areniscas, y arcillolitas con cintas de carbón. En el costado suroeste del área se encuentra una buena exposición del plano de falla. Con base en el levantamiento con topografía de los puntos donde se visualiza su presencia se determinó la traza que aparece en el Plano Geológico. La orientación aproximada del plano de falla es N 36 W y buzamiento medio de 46^0 hacia suroeste. El bloque suroccidental ascendió sobre el nororiental, como se ilustra en los perfiles geológicos.

- **Falla de Rumbo:** Esta falla se encuentra aflorando en la parte media del escarpe del frente de explotación sur donde genera un fracturamiento intenso en las areniscas de la unidad Tkgu-ag. En el Plano Geológico se muestra la traza de esta estructura y se indica la dirección del movimiento relativo de los bloques. De acuerdo con la información recolectada en campo el plano de falla tiene una orientación media de N 60 E y buzamiento de 80^0 hacia el sureste; el estriamiento de los espejos de falla observados

muestra un cabeceo de 18^0 hacia el sureste, hecho que revela que la falla generó algún desplazamiento en la dirección vertical.

- **Diaclasas:** Las características litológicas de las areniscas conducen a deformaciones de tendencia frágil al ser sometidas a esfuerzos. Este comportamiento está claramente expresado en la frecuencia de diaclasamiento que presenta la masa rocosa en los escarpes dejados por la explotación minera. Es importante destacar que esta clase de formas, producto de la actividad antrópica, es la segunda unidad morfológica en importancia, después de la pendiente estructural.

  La evaluación de campo y la recolección y procesamiento de la información sobre discontinuidades permitió identificar, en los escarpe noroeste y sur, tres familias de diaclasas (D1,D2,D3), cuyas características de orientación son las siguientes:

  Escarpe noroeste: D1: N 83 E / 76 SE, D2: N 08 E / 76 SE, D3: N 046 E / 79NW

  Escarpe sur:: D1: S 88 E / 73 SW, D2: N 10 E / 70 NW, D3: N46 E / 78NW

  Como se puede apreciar las variaciones de un escarpe con relación al otro son poco significativas, pero es conveniente anotar que la diaclasa D1 esta ligada a la falla de rumbo.

  En lo que respecta al espaciamiento y persistencia, las diaclasas D1 y D2 poseen espaciamientos que varían entre 20 cm y 60 cm, pero en las zonas aledañas a fallas geológicas pasa a variar entre 5 y 10 cm; en la diaclasa D3 varía entre 15 y 60cm.
  La rugosidad es leve en todas las familias, con un JRC de 5, en promedio.

3.4 RASGOS GEOMORFOLÓGICOS Y PROCESOS MORFODINÁMICOS

3.4.1 Características geomorfológicas. Como se mencionó en el numeral anterior, los rasgos geomorfológicos del área tienen un control eminentemente estructural, motivo por el cual las unidades geomorfológicas presentes, en orden de importancia por su control sobre la formas de la superficie del terreno, son:

Pendiente estructural. Esta unidad ejerce un control amplio sobre la ladera donde se ha desarrollado la actividad minera y donde se localizan, hacia abajo y hacia arriba de los cortes mineros, importantes asentamientos humanos. Su inclinación media es de 23º hacia el noreste.

Escarpes. Se determinó la existencia de dos clases de escarpes: uno es el desarrollado por el corte de la falla de la Quebrada Santa Rita , en el sector del Barrio El Rodeo. Los demás escarpes existentes son de origen antrópico; pero el análisis de sus geometrías permitió determinar que están controlados estructuralmente por las familias de diaclasas descritas en el numeral 3.3.3.

3.4.2 Procesos morfodinámicos. Los principales procesos que se desarrollan actualmente en el área están relacionados con la actividad antrópica. Por un lado está una actividad minera poco técnica que dio origen a grandes escarpes en estado de equilibrio límite y en otra circunstancias inestables; en segundo lugar, con asentamiento humanos subnormales que conllevan modificaciones morfológicas y presencia de aguas servidas que fluyen ladera abajo sin ningún encausamiento ni control.

La actividad minera unida a la presencia de volúmenes importantes y permanentes de agua fluyendo sin ningún control han generado movimientos en masa de diferentes dimensiones y dinámica de desplazamiento (Plano No. 2, Geológico Local, y Plano 2 A, Zonificación Morfodinámica); se destacan el deslizamiento del talud alto de la cantera del costado noroeste, el deslizamiento y el flujo de detritos en la cantera sur y los flujos de detritos localizados arriba del carreteable, sobre el mismo sector de la cantera sur.

Las aguas servida que fluyen ladera abajo por pendientes del orden del 40% y sobre suelos limo arenosos han generado erosión concentrada con desarrollo de surcos y cárcavas.

3.5 INFLUENCIA DE FACTORES ANTRÓPICOS

La actividad de los procesos activos y latentes que pueden ocasionar fenómenos de remoción en masa está fuertemente influenciada por dos actividades humanas: la intensa actividad minera que ha tenido lugar en amplios frentes de explotación, y el también extenso proceso de urbanización del sector.

En el primero de los casos, la explotación artesanal e incontrolada de material rocoso ha dado como resultado la descompresión del macizo en todos los frentes de explotación; esto, aunado al intenso fracturamiento de la roca y a la depositación de remanentes de explotación, ofrece un escenario propicio para generación de procesos de remoción en masa y de caída o volcamiento de bloques. En el segundo caso, el proceso de urbanización impuso el retiro de la cobertura vegetal, y el vertimiento de aguas servidas en el terreno, lo cual ha afectado especialmente la estabilidad de la zona nororiental, en la zona de la cantera Santa Rita.

Las formas de intervención mencionadas han generado además una degradación importante en el paisaje, lo cual se refleja en el aspecto visual de la zona; los cauces y drenajes naturales han sido afectados de forma intensa por el vertimiento de aguas negras a través de acequias, además de que en las rondas se depositan basuras. Finalmente, es de anotar que el cauce original de la quebrada Santa Rita fue modificado para facilitar la explotación de la cantera del mismo nombre.

CAPITULO 4

DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES DE AMENAZA

Para propósitos de conocimiento global de la ladera, de los procesos activos que se presentan en ella y los principales factores que gobiernan la inestabilidad, se realizaron ejercicios descriptivos que se consignan en el presente capítulo. La localización de cada amenaza puede verse en el Plano de zonificación por amenaza (No. 6) anexo a este documento.

4.1 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio presenta en la actualidad ocho (8) fuentes importantes de Amenaza, correspondientes a los procesos activos presentes, los cuales han sido identificados mediante los levantamientos geológicos, y su importancia depende de los volúmenes de material inestable y de la cercanía a las viviendas. Esta fuentes de amenaza son:

1. Deslizamiento de materiales frente al pequeño tanque de distribución de la parte suroccidental alta. (Fuente de Amenaza No. 1)
2. Caída de bloques, frente al pequeño tanque de distribución de la parte suroccidental alta. (Fuente de Amenaza No. 2)
3. Deslizamiento latente de bloques en la parte media de la cantera sur (Fuente de Amenaza No. 3).
4. Deslizamiento de detritos y bloques en el flanco derecho de la cantera sur (Fuente de Amenaza No. 4).
5. Deslizamiento de suelo y roca, controlado estructuralmente, entre la parte alta del antiguo frente de explotación de la cantera Santa Rita y la vía de acceso a los barrios de la zona noroccidental; esta es la amenaza más notable de la zona de estudio, e involucra un volumen alto de material que puede desplazarse (Fuente de Amenaza No. 5).
6. Relleno efectuado de forma poco técnica, en la parte oriental de la cantera Santa Rita: se trata de una amenaza potencial de colapso de los materiales depositados en caso de urbanización de la zona del relleno, con lo cual además resultaría afectado el cauce de la quebrada Santa Rita (Fuente de Amenaza No. 6).
7. Caída de bloques y falla planar en el talud norte de la quebrada Santa Rita (Fuente de Amenaza No. 7).
8. Deslizamiento potencial por falla planar en la ladera localizada al occidente de la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental alta (Fuente de Amenaza No. 8).

La localización de las fuentes de amenaza obligan a plantear una zonificación, la cual se presenta en el Plano de Zonificación de Procesos Morfodinámicos, y que determina las zonas de Amenaza mostradas en el plano correspondiente.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS FENOMENOS

La característica general de la zona de estudio es que ha sido sometida a un intenso proceso de extracción de materiales de construcción, básicamente de roca de la formación Arenisca La Guía; los frentes de explotación activos y abandonados que pueden observarse en la zona coinciden con las fuentes de Amenaza mencionadas.

Es posible identificar dos grandes causas, ambas de origen antrópico, que han incrementado los niveles de amenaza en la zona:

- Explotación no controlada y artesanal de las canteras del sitio.
- Un intenso proceso de urbanización en la zona, especialmente de la parte alta de la ladera, en la cual se hace vertimiento directo de aguas servidas sobre el terreno.

Con base en estas consideraciones, las características de cada uno de los movimientos son las siguientes:

4.2.1 Fuente de Amenaza No. 1

Se trata de un depósito conformado por remanentes de explotación del material rocoso que aflora en el sitio, correspondiente a la Arenisca La Guía. Se trata de bloques de tamaño medio embebidos en una matriz arenosa y areno-arcillosa; en la parte occidental se involucra además suelo residual.

El depósito está dispuesto directamente sobre la pendiente estructural de la ladera, por lo que se considera que el mecanismo de falla puede obedecer a deslizamiento sobre la misma, facilitado además por el vertimiento de aguas servidas desde las viviendas de la parte occidental. Otro mecanismo de falla, quizás el más probable, es el rotacional retrogresivo, también favorecido por la presencia de agua en el cuerpo del depósito.

En el momento actual pueden observarse evidencias del segundo mecanismo mencionado, pues ha afectado la estabilidad de la parte más alta del deslizamiento, en la que se aprecia un contenido de humedad media en el material. Bajo las condiciones actuales, la actividad de la fuente de Amenaza es alta.

Los detonantes de un proceso de remoción en masa son el vertimiento de aguas servidas en el cuerpo del depósito, un régimen fuerte de lluvias, posibles actividades de explotación artesanal, y solicitaciones de tipo sísmico. El colapso del material afectaría inicialmente las viviendas más cercanas, el cauce de la quebrada Santo Domingo y, dadas las condiciones topográficas, algún volumen de material alcanzaría la parte baja de la cantera sur; las direcciones preferenciales de movimiento serían hacia el este y el sureste.

El volumen aproximado del depósito es de unos 10800 m^3 en conjunto; esta fuente de amenaza se muestra en la Foto No. 1 del Anexo Fotográfico. Su disposición en los planos de zonificación Morfodinámica es función de la extensión del depósito sobre la pendiente estructural, y sus límites corresponden al contacto con el macizo rocoso.

4.2.2 Fuente de Amenaza No. 2

Se trata de un afloramiento rocoso ubicado inmediatamente al este de la Fuente de Amenaza No. 1, y sobre el mismo escarpe. Las condiciones en las cuales se llevó a cabo la explotación de materiales trajo como consecuencia la denudación de la ladera, dejando bloques de material correspondiente a la formación Arenisca La Guía expuestos en un frente de explotación de estabilidad precaria, toda vez que a las condiciones de laboreo se suma el alto nivel de fracturamiento de la roca, como consecuencia de la influencia de una falla geológica que pasa por el sitio.

Los fenómenos de remoción en masa asociados a esta Fuente de Amenaza pueden generarse por volcamiento o caída de bloques; de hecho, hay evidencias de que este tipo de fenómeno se ha presentado en el pasado, toda vez que hay al menos un bloque de gran tamaño que se desplazó hacia la pequeña explanación del costado sur, la cual está habitada actualmente. En consideración a los elementos y antecedentes mencionados, y en virtud al tamaño de los bloques que pueden observarse en el escarpe, la actividad puede considerarse alta.

Se considera que de continuar la ocupación de la parte alta del escarpe, de reiniciarse el proceso de explotación del material o de presentarse un sismo de magnitud moderada, puede presentarse caida de estos bloques. Dependiendo de la forma y tamaño de los mismos, se estima que el alcance del movimiento puede ser corto o llegar a las partes bajas de la cantera sur, afectando inicialmente las viviendas más próximas y la quebrada Santo Domingo. En la Foto No. 1 del Anexo fotográfico se muestra esta Fuente de Amenaza.

Los planos de zonificación correspondientes presentan esta fuente de Amenaza en función de la extensión del área desestabilizada por los cortes mineros.

4.2.3 Fuente de Amenaza No. 3

La zona de deslizamiento de materiales de distintos tamaños en la parte central de la cantera sur es producto de la falta de un diseño adecuado de la explotación, la cual se realiza actualmente de manera artesanal, básicamente con el propósito de extraer los bloques fracturados, producto de la influencia del sistema de fallas geológicas de la zona. El objeto de la explotación es la roca de la formación Arenisca La Guía que aflora en el lugar.

La masa en peligro de deslizamiento presenta, como características principales, un alto número de bloques de gran tamaño, y grietas de tracción que revelan la dinámica del movimiento, que tiene dirección preferencial hacia el este, amenazando las viviendas de El Espino III Sector. Es de anotar que la zona no está afectada por el vertimiento de aguas negras. El volumen de este deslizamiento es cercano a los 37400 m^3.

En esta Fuente de Amenaza es posible identificar dos mecanismos o tipos de falla: uno, deslizamiento sobre la pendiente estructural de la ladera, específicamente sobre la Arenisca La Guía, que es el material sobre el cual se encuentra el depósito. El otro mecanismo posible es un proceso de falla rotacional con componente retrogresiva. Dada la presencia de grietas de tracción y, además, el laboreo manual del depósito, la actividad del problema es alta.

Los factores que pueden influir en la desestabilización de la masa son básicamente: la explotación artesanal del material en la parte baja de la cantera; el colapso de las fuentes de amenaza de la parte suroccidental (amenazas 1 y 2), que pueden activar, por colisión en su parte alta, el movimiento; el vertimiento de aguas negras desde la parte alta de la cantera sur, en caso de que el proceso de urbanización se intensifique y no se instalen los servicios públicos adecuados; y, un evento sísmico de magnitud media.

Es de anotar que además del movimiento del depósito, también puede producirse un problema de falla planar lo largo de los estratos arcillosos, principalmente por explotación inapropiada de materiales y por un posible vertimiento de aguas servidas en el terreno; es obvio que esta eventualidad afectaría un área habitada extensa, que alcanzaría al menos las viviendas ubicadas a lo largo de la carrera 76.

En la foto No. 4 del anexo fotográfico se muestra la zona que puede deslizarse y las viviendas que pueden resultar afectadas. En el Perfil Geológico de la cantera sur (Plano No. 5), se

observa un corte que involucra el depósito mencionado. La extensión en planta de los materiales desestabilizados determina su localización en los planos de zonificación.

4.2.4 Fuente de Amenaza No. 4

El material que conforma el deslizamiento es, básicamente, remanente de la explotación del flanco derecho de la cantera sur, en el que han quedado bloques embebidos en una matriz areno-arcillosa, con un volumen aproximado de 3500 m^3. La dirección preferencial del movimiento es hacia el sureste, afectando inicialmente las viviendas más cercanas a ésta parte de la cantera.

Dado que se trata de materiales remanentes de explotación, los mecanismos de falla pueden ser de dos tipos: deslizamiento en masa a lo largo del contacto con el macizo rocoso sobre el cual se encuentran depositados; y fallas rotacionales dentro del cuerpo del mismo depósito. En virtud de que se encuentran evidencias de movimiento, se considera que la actividad del fenómeno es alta.

El colapso del material puede producirse en una época lluviosa, en caso de sismo, o de continuación de la explotación, la cual se efectúa en las partes bajas de la cantera, muy cerca de las construcciones. El material rocoso se encuentra muy fracturado debido a la influencia del sistema de fallas geológicas del lugar. La zona de este deslizamiento se muestra en la Foto No. 5 del Anexo Fotográfico. Los planos de zonificación anexos al presente documento presentan la localización de esta fuente de amenaza en función de su extensión actual en el terreno.

4.2.5 Fuente de Amenaza No. 5

Esta Fuente se extiende desde el antiguo frente de explotación de la cantera Santa Rita hasta la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental, en la parte alta, que es donde la secuencia estratigráfica se corta. El deslizamiento de suelo y roca sobre la parte alta del antiguo frente de explotación de la cantera Santa Rita se caracteriza por presentar una planta semicircular, con un radio aproximado de unos 60 metros y una alta presencia de grietas de tracción en su cuerpo. Este fenómeno de inestabilidad, el más importante que puede observarse en la zona, presenta una tendencia retrogresiva que puede extenderse hasta la vía mencionada, y tuvo una manifestación importante hace cerca de tres años, llegando a la forma que exhibe actualmente, en la que la dinámica del movimiento parece haberse detenido. Los fenómenos sísmicos que afectaron al país en los primeros meses de 1999 no tuvieron influencia sobre la estabilidad de la ladera. Los materiales involucrados son areniscas de la Formación Labor y arcillolitas de la formación Guaduas, con un volumen aproximado de 81.000 m^3.

De acuerdo con las observaciones realizadas en el levantamiento geológico, el deslizamiento de los materiales, que tiene control estructural y corresponde a falla planar, puede causar además un volcamiento de bloques del estrato sobre el cual se presenta el movimiento, incrementando el volumen desplazado en caso de un colapso, el cual a su vez puede ser detonado por cargas de sismo, una temporada de lluvias fuertes en la zona y

vertimiento de aguas servidas en la parte alta de la ladera; este último fue el detonante del actual proceso de inestabilidad. El grado de actividad del fenómeno es alto.

La zona que se vería directamente afectada por un fenómeno de remoción en masa es la de El Rodeo, incluyendo el cauce de la quebrada Santa Rita, la cual puede ser represada. El fenómeno afectaría directamente las viviendas localizadas en el antiguo patio de almacenamiento y en el costado norte de la quebrada.

El origen del movimiento está relacionado con el corte de la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental alta. Esta vía ha tenido influencia en la estabilidad de la ladera desde que se inició el proceso de urbanización, toda vez que la infiltración de aguas servidas, la cual se ha identificado como generadora del alto nivel de actividad de esta Fuente de Amenaza, tiene lugar en su superficie. La Figura No. 4 muestra la sección transversal de la ladera en el corte.

En las Fotos No. 6 y No. 7 del anexo Fotográfico pueden verse dos panorámicas del movimiento, y en el Perfil Geológico de la cantera Santa Rita (Plano No. 4) se observa un corte que involucra los materiales deslizados.

La zonificación debida a esta fuente de amenaza es función de la extensión de los materiales que pueden ser removidos, y que en este caso están limitados por la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental, el flanco izquierdo de la cantera Santa Rita, la quebrada del mismo nombre, y la parte baja del antiguo frente de explotación.

4.2.6 Fuente de Amenaza No. 6

Se trata de una zona de relleno, emplazada en una depresión, que representa una fuente de amenaza potencial, toda vez en ella se realiza botado de materiales, ya sea desde su parte alta o directamente en el fondo. En razón a que no se ejerce ningún control sobre la actividad de relleno, los materiales depositados allí son de distinto origen, por lo que el relleno es heterogéneo, constituido por desechos de explotación minera y de construcción. En la exploración geotécnica efectuada sobre los materialies del fondo se encontraron valores relativamente altos de peso unitario, debido al drenaje y al paso constante de volquetas.

Se considera que de no controlarse de forma técnica el proceso de llenado de la depresión, lo cual debería incluir estructuras de subdrenaje, puede generarse un fenómeno de inestabilidad de taludes, posiblemente de forma rotacional, en las zonas cercanas al cauce de la quebrada, cuando la altura del depósito sea mayor. Además, si el relleno queda expuesto cerca del cauce de la quebrada, subsiste la posibilidad de socavación durante una creciente. El grado de actividad de esta Fuente de Amenaza en la actualidad es medio, pero se incrementará en la medida en que no se establezca un control o se aplique un diseño geotécnico adecuado.

Los fenómenos de remoción en masa asociados afectarían el cauce de la quebrada Santa Rita, básicamente generando taponamiento de la misma, afectando las zonas habitadas

aguas abajo. Adicionalmente, si la zona del relleno es objeto de urbanización, se afectarían las viviendas que allí se construyan.

La Foto No. 8 del Anexo Fotográfico muestra la zona de relleno en su estado actual. Los límites de la parte alta del relleno sirven para establecer la zona de influencia de la amenaza, la que se muestra en los planos de zonificación respectivos.

4.2.7 Fuente de Amenaza No. 7

El talud ubicado al norte de la cantera Santa Rita es resultado de un proceso de explotación minera, básicamente para extraer roca de la formación Arenisca La Guía; el material que puede verse en el corte pertenece a la formación Guaduas, esencialmente estratos delgados de arenisca y arcillolita, lo cual indica que la explotación se detuvo en el momento de llegar al contacto litológico. Dada la disposición estructural de los estratos de roca, la alta pendiente y orientación del talud, y la presencia de una falla geológica que fracturó la roca, hay caída de bloques por volcamiento desde la parte alta hacia las viviendas y hacia el cauce de la quebrada Santa Rita.

También es posible observar, en el flanco derecho del talud, detrás de las viviendas, evidencias de falla planar en un remanente de explotación de la formación Arenisca La Guía, el cual se abandonó antes de llegar al contacto litológico. La disposición estructural de estos estratos es desfavorable a la estabilidad, representando un riesgo grave sobre la población que reside en la zona. Además, como resultado de la actividad minera y del mismo proceso de caída de material, se presentan depósitos de materiales botados que presentan altas pendientes. Estos depósitos presentan problemas de inestabildad, por lo que los habitantes de las viviendas cercanas construyeron un muro de contención.

La altura media del talud es de unos veinte metros, y en su parte superior se han construido algunas viviendas pertenecientes al barrio San Rafael. Se considera que en virtud de las características mencionadas, la actividad de los problemas que se presentan en la zona del talud es alta. Finalmente, los fenómenos de desprendimiento de materiales pueden desarrolarse de forma masiva durante la ocurrencia de un sismo.

En la Figura No. 5 se muestra el mecanismo de caída de bloques, y en la Foto No. 9 del Anexo Fotográfico se muestra el talud.

Los límites empleados en los mapas de zonificación de esta fuente de amenaza corresponden a la extensión actual, en planta, del frente de explotación del antiguo talud minero hasta la posición actual del cauce de la quebrada Santa Rita.

4.2.8 Fuente de Amenaza No. 8

Se trata del talud del costado occidental a la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental alta, en el cual se produjo también actividad minera. La disposición estructural de los estratos de arcillolita y arenisca es favorable a la inestabilidad, por lo que ésta tiene control estructural, pero la ladera es estable por cohesión y ángulo de fricción. La litología del talud guarda continuidad con los materiales involucrados en la fuente de amenaza no. 5.

La amenaza por falla planar se debe a que hay vertimiento de agua sobre estos estratos, lo cual puede afectar en determinado momento la competencia de la roca, esencialmente de los estratos de arcillolita caolinítica que afloran en el sitio. El colapso del macizo tendría carácter retrogresivo, afectando las viviendas construidas sobre él.

La zona del corte ha sido aprovechada, además, para depositar desechos de explotación minera, los cuales han sido botados o empleados en nivelar la vía, en la cual es posible observar dos sitios en que se produce apozamiento e infiltración del agua a los estratos inferiores del macizo, toda vez que la profundidad del corte es de unos veinte metros. Esta situación ha generado un fenómeno de inestabilidad en la cantera Santa Rita, localizada más abajo de la vía.

Es posible que, además de la infiltración de aguas servidas, la ladera afecte en su estabilidad durante la ocurrencia de un sismo de magnitud grande. Se considera que la actividad del problema es media, ya que la infiltración de agua en los estratos parece ser lenta y los procesos mineros están interrumpidos.

Un fenómeno de remoción en masa afectaría principalmente las viviendas construidas sobre la misma ladera, y podría influir directamente en la fuente de amenaza no. 5 y alcanzar la zona de El Rodeo.

La Figura No. 4 presenta un esquema de la zona del corte, y las Fotos No. 2 y No. 3 del Anexo Fotográfico muestran esta zona.

La definición del área de influencia de esta fuente de amenaza en los planos de zonificación es función de la posición de la falla geológica que parece cortar la dinámica del movimiento, y que se localiza en el macizo rocoso de la parte superior de la vía de acceso a los barrios de la parte noroccidental.