INFORME EJECUTIVO

1. GENERALIDADES

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias a través de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito – DPAE contrató por medio del Contrato de Consultoría No. 448 de 2005 a EDGAR EDUARDO RODRÍGUEZ GRANADOS - INGENIERÍA Y GEORIESGOS, la elaboración del "*Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y de compresibilidad del terreno, la evaluación de alternativas de mitigación del riesgo y los diseños detallados de las medidas recomendadas, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Atenas, en la localidad de San Cristóbal de la ciudad de Bogotá, D.C"*, contrato iniciado a partir del 26 de Septiembre de 2005 con una duración de cuatro meses y la adición de un mes mas.

El barrio Atenas esta localizado en las faldas de los cerros orientales que bordean la Sabana de Bogotá, allí se accede a través de la carretera oriente (antigua vía a Villavicencio). Las viviendas ubicadas en la zona son en general de 1 y 2 pisos en mampostería y pórticos incompletos, se construyeron en forma densa sobre un sector conformado por laderas de pendiente media a baja con dos zonas verdes hacia la parte superior e inferior del barrio.

El barrio Atenas fue legalizado mediante Acuerdo 22 del 21 de Febrero de 1963, emitido por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD. Desde el año de 1974 se reportan daños en viviendas, por deslizamientos en suelos residuales de arcillolita, los agrietamientos y daños vuelven a reportarse oficialmente en la década del 90 hasta la fecha. La anterior situación generó la necesidad del desarrollo del presente estudio.

La Localidad de San Cristóbal se ubica en el suroriente de Bogotá D.C y el sector del barrio Atenas, objeto del presente estudio, está ubicado entre las siguientes coordenadas

Norte:	95540 a 96000
Este:	97860 a 98250
Altitud:	2657 a 2710

Limita al occidente con los barrios Villa de los Alpes y Guacamayas, al sur con el barrio La Victoria y la antigua vía al llano, al oriente con el barrio San Vicente y al norte con el barrio Bello Horizonte.

2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se realizó la topografía del barrio a escala 1:500 con curvas de nivel cada 50 cm con la identificación entre amarre, los mojones de referencia y auxiliares de 3524 puntos.. El área total fue de 8.2 Ha, localizándose tres mojones con las siguientes coordenadas:

Punto No.	Norte	Este	Elevación	Referencia
9	95651.6011	98001.1096	2713.050	CACL1
16	96002.4562	98123.6677	2681.287	CACL2
12	95587.9183	98135.9487	2724.464	CACL4

3. CLIMA, HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y SISMOLOGÍA

Dentro del marco de los estudios de riesgo por remoción en masa y compresibilidad del terreno y la evaluación de alternativas de mitigación, los análisis de los elementos climáticos del área juegan un papel importante, en particular los que se refieren al régimen de precipitación, como factor detonante de deslizamientos de laderas.

Dado que no fue posible contar con información de un gran número de estaciones con información sobre el área, la precipitación media se obtuvo como el promedio aritmético de los valores anuales correspondientes a las estaciones Vitelma, Juan Rey y El Delirio. El promedio anual multianual de precipitación en el área es de 1119 milímetros.

Adicionalmente, se deduce que la precipitación de recurrencia 100 años es 1,52 veces el valor de la media multianual; la de 50 años de recurrencia es 1,46 veces mayor que la de probabilidad 50 % cuyo valor extractado de la distribución es de 986 mm

La zona de estudio de acuerdo al Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá se ubica hacia lo que se conoce como Zona 1 – Cerros. Para esta zona el parámetro Am tiene un valor de 0,24, el cual debe ser utilizado para los análisis de estabilidad.

4. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

Se ejecutó la geología de la zona, en donde se ubica en rocas de la Formación Bogotá de características lodosas y arenosas, sobre las cuales se encuentra un antiguo y pequeño valle de una quebrada conformando suelos transportados (fluvio glacial) de espesor promedio entre 4 a 8 m y rellenos de origen antrópico de mediano espesor (2 a 4 m). La roca se encuentra a profundidades variables de 6 a 11 m.

5. COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

La cobertura vegetal, en general, constituye un papel fundamental en las condiciones de estabilidad, particularmente en lo referente al control de erosión (interceptación, retención, retardo, infiltración, transpiración), y contribuye a prevenir movimientos en masa (deslizamientos superficiales). vegetal garantiza la calidad del suelo, agua y aire, entre otros. Se identificaron: a) Áreas urbanas consolidadas (ZUP) , Áreas urbanas sin pavimentar (ZUSP) y Pastos o vegetación herbácea (PN)

6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Se realizaron 13 sondeos de exploración con profundidad variable entre 6 a 15 m. Se instalaron seis (6) piezómetros en la zona los cuales se leyeron periódicamente durante el desarrollo del proyecto. Se realizaron ensayos de caracterización tales como plasticidad, peso unitario entre otros y ensayos para obtener parámetros de consolidación (14) y corte directo(9).

El perfil geotécnico final obtenido basado en las observaciones de campo y las consideraciones geológicas y geotécnicas anteriores determina cuatro tipos de materiales que de menor a mayor profundidad se pueden describir como:

- **Rellenos (suelo 1).** Estos rellenos antrópicos provienen del mismo material de la zona por cortes. En pequeños casos se observa material de demolición, piedra y ladrillo. La fracción fina es predominante en estos rellenos. Estos rellenos pueden oscilar entre 1 a 5 m en los sitios de valles de quebradas.
- **Suelos transportados (suelo 2).** Estos materiales se identifican como arcillas de plasticidad media de color rojizo, con algunas tonalidad grises, los cuales se encuentran siguiendo valles antiguos de quebradas. Este material en algunos casos presenta pequeñas gravas sueltas dentro de la misma matriz. Predomina la matriz fina y el material granular no es fácilmente identificable o con condiciones de muestreo en campo. Es posible confundirlo con el suelo residual de la formación Bogotá. Los espesores obtenidos pueden estar entre 3 a 5 m.
- **Suelo residual (suelo 3).** Se presenta este tipo de material como producto de la alteración de la Formación Bogotá, con predominio de fracción arcilla de color gris a habano. Este suelo residual se confunde con los suelos transportados y solo el valor de resistencia por SPT en alguna medida permite identificarlo. Su espesor puede estar entre 1 a 3 m.
- **Formación Bogota (roca).** Se identifica intercalaciones de lodolita con arenisca. La resistencia es alta cuando se encuentra inalterada. Este material presenta una orientación tal que no favorece al movimiento. En el sondeo No. 1 se realizó 9 metros en este material que permitió identificar claramente la formación existente.

Es importante mencionar que la zona se encuentra completamente cubierta de viviendas y vías. Por ello la delimitación o contactos entre materiales se realizó por medio de las fotografías aéreas en el análisis multitemporal.

Los daños de las viviendas se encuentran identificados a lo largo del antiguo valle y en el contacto definido para los suelos transportados.

Los rellenos, los suelos transportados y el suelo residual presentan en general condiciones de plasticidad similares por ser producto del mismo origen, dificultando la identificación de los contactos en profundidad de dichos materiales.

Las condiciones de compresibilidad de los materiales se resume en la siguiente tabla:

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD			TIPO	CONSOLIDACION				RSC
		DE	A	MEDIA		Cc	Cr	s_p	s_o	
S-1	1	0.80	1.30	1.05	1	0.236	0.038	2.40	0.21	11.49
S-4	2	1.25	1.80	1.53	1	0.245	0.043	1.60	0.21	7.62
S-5	5	2.20	2.70	2.45	1	0.242	0.060	4.20	0.49	8.53
S-6	3	1.45	2.00	1.73	1	0.224	0.044	5.00	0.36	14.03
S-10	2	2.00	2.50	2.25	1	0.208	0.052	6.00	0.46	13.14
S-12	1	1.50	2.00	1.75	1	0.225	0.060	2.00	0.33	6.02
S-13	1	1.00	1.50	1.25	1	0.292	0.040	2.00	0.25	8.07
S-9	2	2.00	2.50	2.25	2	0.492	0.085	3.20	0.25	12.93
S-9	3	3.50	4.00	3.75	2	0.304	0.074	4.50	0.41	11.02
S-10	4	3.50	4.00	3.75	2	0.319	0.086	4.50	0.75	6.00
S-10	8	6.50	7.00	6.75	2	0.304	0.086	3.20	1.35	2.38
S-4	5	3.10	3.60	3.35	3	0.166	0.060	3.40	0.41	8.21
S-4	7	4.05	4.50	4.28	3	0.153	0.043	4.00	0.53	7.59
S-6	12	5.45	5.70	5.58	3	0.110	0.022	4.50	1.17	3.84

ara cada uno de los ensayos de corte se determinó el valor de c y ? pico y residual de cada material así:

MATERIAL		CORTE DIRECTO						SONDEO	M#	PROF
		PICO			RESIDUAL					
		C (KG/CM2)	C (t/m2)	FI	C (KG/CM2)	C (t/m2)	FI			
RELLENO	SUELO 1	0.31	3.10	16.10	0.20	1.95	10.89	12	3	3.50-4.00
		0.24	2.40	12.60	0.16	1.61	6.07	10	1	1.50-2.00
		0.37	3.70	19.00	0.23	2.33	18.50	10	3	2.50-4.00
TRANSPO	SUELO 2	0.14	1.40	21.70	0.10	1.00	18.00	9	2	2.00-2.50
		0.23	2.30	12.70	0.11	1.13	11.00	9	3	3.50-4.00
		0.10	1.00	19.80	0.07	0.70	19.40	13	1	1.00-1.50
RESIDUAL	SUELO 3	0.13	1.30	20.50	0.10	1.00	18.76	4	4	2.60-3.10
		0.23	2.30	22.00	0.12	1.16	15.50	4	7	4.05-4.50
		0.25	2.50	18.20	0.16	1.55	10.47	9	4	4.50-5.00

Finalmente y evaluando la tendencia de valores máximos y mínimos en estos materiales se obtienen las tendencias en la siguiente tabla:

TIPO DE SUELO	PROPIEDADES							
	Cmax		fmax	Cmin		fmin	TIPO	TIPO
	(kg/cm2)	(t/m2)		(kg/cm2)	(t/m2)			
SUELO 1	0.37	3.70	19	0.16	1.60	6.00	1	Relleno
SUELO 2	0.23	2.30	22	0.07	0.70	11.00	2	Transportado
SUELO 3	0.25	2.50	22	0.10	1.00	10.00	3	Residual
ROCA	130.00	1300.00	40					Roca

A partir de estar secciones y la tendencia de valores se procedió a realizar el modelamiento de amenaza por FRM y compresibilidad del suelo.

7. ANÁLISIS DE DEFORMACIÓNES EN EL TERRENO

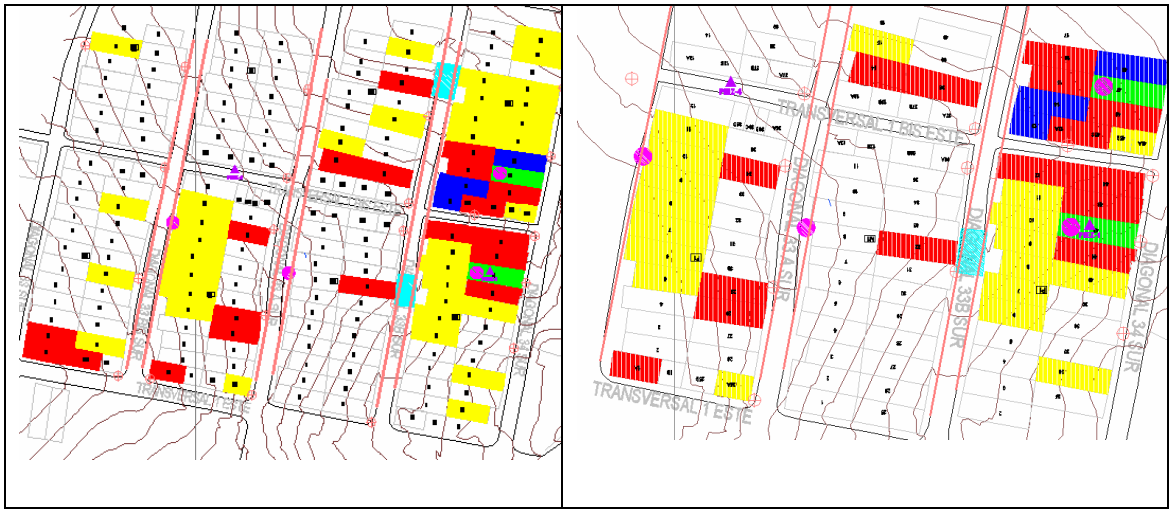
Se realizó el análisis de compresibilidad del suelo para las secciones de análisis teniendo en cuenta las etapas antes y después de construida las viviendas, se presenta del orden de 4 a 10 cm de asentamiento en 30 años para las zonas críticas o de grandes daños en viviendas. El orden de magnitud de las deformaciones horizontales son similares a las verticales.

Desde el punto de vista de expansión – contracción se presentan niveles medios a bajos con posibilidad de afectación en viviendas de baja altura.

Los ensayos de colapsiblidad realizados en muestras dentro de la zona de daño alto de viviendas no presentan indicios de esta naturaleza.

En la Figura siguiente se presenta las líneas de desplazamiento obtenidas del análisis de la topografía 2005, asumiendo que el primer tramo del alineamiento de la vía y el último debieron en el momento de la construcción tener correcta dirección o paralelismo, además de haber sido comparado con el alineamiento existente en la topografía del año 1980.

Desplazamientos relativos del terreno



Se pueden calcular los siguientes valores de desplazamiento relativo:

Calle No.	Máximo desplazamiento Relativo
Diagonal 33B sur	1.77 m
Diagonal 33 A sur	2.90 m
Diagonal 33 bis sur	1.22 m

Es decir que de acuerdo a comentarios de la comunidad, la vía se construyo alrededor de los años 80 se podría tener una tasa relativa de movimiento entre 5 y 11 cm por año de desplazamiento.

Se puede tener en cuenta que el borde de movimiento corresponde al del suelo transportado delimitado en el Plano de Geomorfología.

En general las viviendas ubicadas en el borde y parte central del movimiento presentan daños importantes.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede concluir que existe un proceso de reptamiento dentro del contorno de los suelos transportados y a lo largo del antiguo cauce de quebrada acelerado a flujo lento o con una tasa mayor de movimiento probablemente por la excavación para la instalación de la red matriz de la EAAB en el año 2003.

8. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FRM

Con los valores obtenidos de los materiales y utilizando seis secciones de análisis se evaluó las condiciones de estabilidad teniendo en cuenta el sismo y la lluvia. En el análisis de amenaza se obtuvieron valores medios a bajos con una ventana de tiempo de 25 años. Para una ventana de tiempo actual o a 10 años la amenaza por FRM obtenida fue baja.

9. VULNERABILIDAD Y RIESGO

Para el análisis de vulnerabilidad se realizó el inventario de viviendas con un total de 395 y la presencia de daños estructurales importantes en un número de no menos de 24, realizando un plano de daños alto, medio y bajo. Existen dos predios reasentados por la DPAE. Con esta primera aproximación permitió caracterizar las viviendas por niveles, además en función de su tipología. Posteriormente en el análisis se obtienen el mapa de vulnerabilidad con viviendas en grado alto, medio y bajo. Con el mapa de amenaza y vulnerabilidad se obtiene en general viviendas en riesgo medio a bajo.

10. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La calidad de la construcción se puede catalogar generalmente como de regular a mala dada la friabilidad del mortero de pega (bajos contenidos de cemento), inadecuados o inexistentes controles de calidad en la mano de obra (colocación de las piezas) y la ausencia de traba entre muros ortogonales. La rigidez y resistencia de los muros simples se ve aumentada en algún grado por la presencia generalizada de pañetes de acabado o revoques. Los sistemas de cubierta encontrados corresponden a entramados de madera apoyados directamente sobre los muros simples de carga.

A nivel de cimentación las viviendas en su gran mayoría se emplazan sobre vigas corridas de concreto ciclópeo. Dada la condición quebrada del terreno las zonas bajas de los lotes han sido rellenadas en algunos casos con materiales de desecho (escombros) sin que existan elementos estructurales de contención. Estos rellenos se apoyan entonces en muros simples o en el mejor de los casos en muros confinados correspondientes a viviendas vecinas.

En general la patología predominante corresponde a presencia de fisuras y grietas en placas de piso y en muros. De la misma forma se evidenció en los casos de mayor gravedad el desplome de muros, generalmente los largos de lindero o medianeros, los cuales corresponden con los pasillos o circulaciones interiores por lo cual no cuentan con elementos de soporte lateral fuera del plano como muros perpendiculares. Por el tipo de cubiertas predominantes tampoco cuentan con elementos de soporte adecuados en su nivel superior. En muros interiores se pudieron evidenciar desplomes de hasta 7%, los cuales son a todas luces inaceptables desde el punto de vista funcional.

11. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

Se realizó un análisis de costo beneficio comparativo de las alternativas probables para reducir o mitigar el problema. De esta forma se concluye que las obras de

ingeniería probables de ejecución son demasiado costosas, técnicamente complejas y además de tener una connotación urbana de alto impacto y sin poder considerar a la fecha con condiciones validas y certeras del modelo para una intervención segura y directa en el problema.

La recomendación final es evacuar y posteriormente reasentar a tres familias en la zona por sus condiciones complejas estructurales y la ejecución de un monitoreo geotécnico y estructural para ajustar el modelo, evaluar las condiciones de movimiento o flujo lento de la zona, los bordes de influencia del movimiento y su posterior intervención. Esta posterior intervención será realizar acciones de evacuación y reasentamiento de predios.

Finalmente debido a los movimientos que han ocurrido y seguirán ocurriendo en la zona, es necesario además que la EAAB revise el sistema de drenaje de aguas negras, pozos, sumideros, tuberías de agua potable, válvulas entre otros elementos y mantener en permanente observación, evitando así mayor afectación.

******