ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS DE RIESGO IMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTAFÉ, SAN CRISTÓBAL Y RAFAEL URIBE DE LA CIUDAD DEBOGOTÁ D.C.

SITIO 5 - BARRIO EL PORTAL II SECTOR
LOCALIDAD RAFAEL URIBE
INFORME FINAL

Consorcio PI-LAMBDA
(Conformado por GEOCING LIMITADA y el Ing. MIGUEL ANGEL RABA M.)

CONSULTORIA

CONTRATO: No. 453 de 2005

FONDO PARA PREVENCIÓN Y ATENCION DE EMERGENCIAS - FOPAE

BOGOTA AGOSTO 2006

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE

TITULO: ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTAFÉ, SAN CRISTÓBAL Y RAFAEL URIBE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

SITIO 3 - BARRIO EL PORTAL II SECTOR

LOCALIDAD RAFAEL URIBE

AUTORES: Consorcio PI-LAMBDA (conformado por GEOCING LIMITADA y el Ing. MIGUEL ANGEL RABA M.)

RESUMEN: En este informe se presentan los diseños de obras, presupuesto y especificaciones técnicas en el sitio ubicado en la calle 53 f sur con 5B Bis, en el barrio Portal II sector, localidad de Rafael Uribe, Bogotá D.C.,

PALABRAS CLAVE: Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Fenómenos de Remoción en Masa, Deslizamientos, Barrio Ramajal, Localidad de San Cristóbal.

TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE:

Fenómenos de remoción en masa: Deslizamientos de tierra,

Amenaza: Probabilidad de excedencia de un fenómeno dado.

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD:	CONTRATO:	IDIOMA:	NÚMERO DE PÁGINAS:	NÚMERO DE COPIAS:
Clasificado	No. 453 de 2005	Español	43	4

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

CLASE DE DOCUMENTO:	CODIGO:	FECHA:
Informe Final	GE-131-5	06/10/2006

LISTA DE DESTINATARIOS

DESTINATARIO DEL INFORME	IDENTIFICACION
FOPAE	ORIGINAL
FOPAE	COPIA 1
FOPAE	COPIA 2
FOPAE	COPIA 3
Consorcio PI-LAMBDA	COPIA 4

CONTROL DE MODIFICACIONES

INDICE REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACION	OBSERVACIONES	APROBADO

GLOSARIO

Amenaza
Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso en un periodo de tiempo, en un sitio dado.

Antropico
Se refiere a todas las actividades mediante las cuales el hombre transforma el medio natural, tales como obras civiles, Deforestación, Minería, Actividades Agrícolas, Sobrepastoreo, Uso del suelo.

Cuenca
Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones

Deslizamientos
Son movimientos en masa que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies de falla ó a través de una franja relativamente estrecha del material. Generalmente las superficies de deslizamiento son visibles o pueden deducirse razonablemente.

Deslizamientos Rotacionales
Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava.

Deslizamientos Traslacionales
En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación.

Escarpe
Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia de área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla

Geomorfología
En pocas palabras, la geomorfología es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre; pues, según las partículas que componen el término, "geo" es tierra, "morfo" es forma y "logía" es tratado o estudio. Por lo tanto, esta ciencia se remite sólo al estudio de la topografía terrestre. En otras circunstancias, en el estudio de los paisajes de otros astros deberá omitirse el término "geo", y se podrá decir, por ejemplo, morfología de la luna, morfología de marte, etc. En esos casos, se supone, que habrá toda otra serie de factores muy diferentes a los de la tierra que han dado lugar a la fisonomía de los paisajes en dichos astros.

Riesgo
Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una fusión de la amenaza y la vulnerabilidad.

Superficie De Falla
Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

Vulnerabilidad
Es el grado de perdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultados de la probable ocurrencia de un suceso desastroso.

ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTAFÉ, SAN CRISTÓBAL Y RAFAEL URIBE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

Contrato de Consultoría No. 453 de 2005

CONSORCIO PI - LAMBDA
Informe Sitio No. 5
BARRIO EL PORTAL II SECTOR
Trabajo No. 191 - 06

1. INTRODUCCIÓN:

1.1. Generalidades:

En cumplimiento del Contrato de Consultoría No. 453/05, suscrito entre el FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE) y el CONSORCIO PI – LAMBDA (constituido por Geocing Limitada y el Ingeniero Miguel Ángel Raba M.), cuyo objeto es la "Elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de Chapinero, Santa fe, San Cristóbal y Rafael Uribe de la Ciudad de Bogotá D.C.", se presenta este documento que contiene el Informe del Sitio No. 5, localizado en el barrio El Portal de la localidad de Rafael Uribe.

El objeto del estudio consiste en determinar las causas de los problemas de estabilidad de la zona y efectuar los respectivos diseños geotécnicos para las obras de mitigación. Para cumplir con este objeto, se realizó un reconocimiento del sitio por parte de los especialistas en Geología y Geotecnia, y se desarrolló un programa de exploración geotécnica del subsuelo con base en trincheras a lo largo del talud, perforaciones, y ensayos de laboratorio.

Con base en los resultados de los trabajos de campo y laboratorio se efectuaron los análisis de ingeniería, tendientes a establecer las causas del problema y a efectuar el planteamiento de alternativas de solución.

1.2. Descripción del problema:

El sitio de estudio se encuentra localizado en la calle 53 F sur con 5B Bis, barrio El Portal II sector, de la localidad de Rafael Uribe, en una zona de laderas de pendiente moderada a alta.

1.2.1. Diagnóstico Preliminar:

- Con base en el Diagnóstico Técnico reportado en el Estudio de Inestabilidad del Terreno en Diferentes Localidades de Santa fe de Bogotá, elaborado por la firma INGEOCIM Ltda. en el año de 1998 para el FOPAE, el sitio de estudio se encuentra clasificado en amenaza alta por fenómenos de remoción en masa.

- En septiembre de 2004 personal de la coordinación técnica de la DEPAE realizó una visita mencionando los siguientes aspectos:

  Se encuentra un escarpe desprovisto de vegetación en el cual se evidencian procesos de erosión en surcos produciendo el desgaste del escarpe y el depósito hacia la base del mismo.

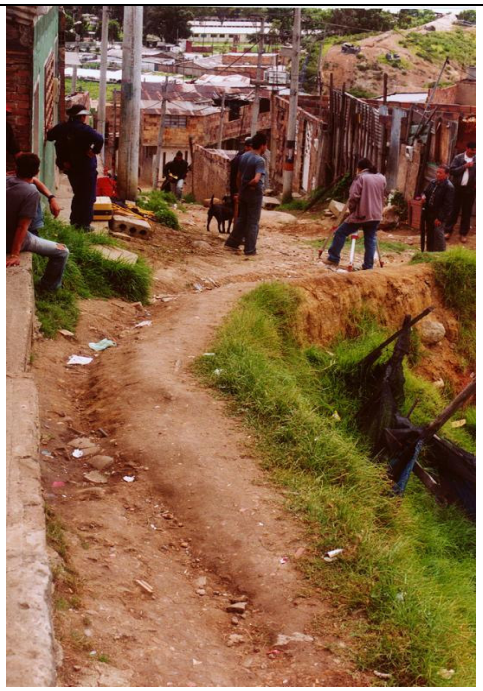
  Estos procesos erosivos tienen como principal causa la falta de una cobertura vegetal de la zona y las deficiencias en el manejo de aguas de escorrentía.

- En enero 30 de 2006 la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias emitió el concepto técnico No 4320, en el cual se evaluaron los tipos de riesgo por remoción en masa en el barrio El Portal II Sector, concluyendo:

  Que el barrio El porta II sector presenta una clasificación de amenaza media y alta por fenómenos de remoción en masa.
  Las recomendaciones dadas para los predios inmediatamente ubicados en la parte baja del talud fueron destinar como suelos de protección por riesgo, y para aquellos que se encuentran en la corona del talud, se recomienda adelantar diseño y construcción de obras de mitigación.

1.2.2. Situación actual:

Con base en la visita de reconocimiento efectuada el mes de junio de 2006, se encontró un escarpe verticalizado del orden de 8 m de altura y desprovisto de vegetación; según las evidencias del momento el talud viene presentando desprendimientos recientes de pequeños bloques debido a los procesos de erosión; los materiales de estos taludes caen progresivamente en la parte inferior donde se encuentran viviendas que están potencialmente expuestas a daños (ver fotografía 1); en la parte alta se ha venido reduciendo los espacios peatonales desarrollados en la corona del talud, acortando mas la distancia entre las viviendas y la línea de corte del escarpe (ver fotografía 2).

	
Fotografía 1. Talud verticalizado de 8m de altura, desprovisto de vegetación, se ven recientes desprendimientos en la parte baja del talud.	*Fotografía 2. La berma peatonal existente entre las casas y la corona del talud, se viene reduciendo a causa de los desprendimientos.*

En la parte superior, detrás de la corona del talud, se encuentra un terreno de alta pendiente donde se ubican casas de uno a dos pisos de altura, desprovistas de sistemas de evacuación de aguas lluvias y residuales; estas viviendas vierten sus aguas directamente a la calle o pozos internos que generan escorrentías superficiales, o infiltración de aguas en el cuerpo del talud (ver fotografía 3).



Fotografía 3. Construcciones existentes en la parte alta del talud, las aguas provenientes de la parte alta de la calle son vertidas directamente al talud erosionándolo. Adicionalmente las viviendas a los costados de la calle vierten allí sus aguas residuales.

Las calles están desprovistas de un sistema de captación y evacuación de aguas superficiales, y de una estructura de pavimento que impida la filtración, ante la ocurrencias de lluvias intensas las aguas llegan hasta el talud generando erosión laminar en su superficie.

El talud frontal tiene una longitud aproximada de 30m y una altura promedio de 8 metros; la parte superior es morfológicamente irregular y verticalizada, producto de los procesos erosivos, y la parte inferior es inclinada debido a los depósitos recientes originados por los desprendimientos de material y sobre los cuales se ha venido recuperando con la vegetación (ver fotografía 1).

No se encontraron daños en las viviendas perimetrales al talud, tanto en la parte alta como en la parte baja, pero si se observa un avance progresivo del proceso de erosión que puede comprometer las casas aledañas al talud, en la parte alta.

1.3. Diagnóstico de amenaza y riesgo por fenómenos de remosión en masa (situación actual):

1.3.1. Evaluación cualitativa de la amenaza:

Para la evaluación cualitativa de la amenaza se utilizó la valoración de expertos, utilizando la escala de valores presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorización de la amenaza cualitativa

CATEGORÍA DE LA AMENAZA	NIVEL
Muy alta	Significativa posibilidad de ocurrencia. Sucede algunas veces (período de retorno de aproximadamente 5 años)
Alta	Limitada posibilidad de ocurrencia. Puede suceder en forma esporádica (período de retorno de unos 10 años)
Media	Baja posibilidad de ocurrencia. Sucede muy raramente (período de retorno del orden de 25 años)
Baja	Muy baja posibilidad de ocurrencia. Sucedería en forma excepcional (período de retorno de 100 años)
Muy baja	Muy difícil que ocurra (ocurre cada 1000 años)

Teniendo en cuenta la descripción del problema, de acuerdo con el concepto técnico No 4320 de la DPAE y la visita de reconocimiento, se estimó que la categoría de amenaza es MUY ALTA, situación que se respalda por los recientes desprendimientos generalizados de bloques del talud, los cuales pueden fallar de manera súbita , entre ellos, la presencia de un gran bloque en la parte oriental muy alterado con grietas en la parte alta y que está a punto de colapsar; este tipo de evento se puede generar en un corto plazo, y comprometer las casas de la zona posterior (ver fotografía 4).



Fotografía 4. Además de los pequeños bloques que se han desprendido en diferentes puntos del talud, esta gran masa, ya esta bastante alterada y a punto del colapso.

1.3.2. Evaluación de la vulnerabilidad:

La vulnerabilidad se valorará según la magnitud de las consecuencias, utilizando las siguientes variables lingüísticas:

- **Insignificante:** Pérdidas o daños despreciables.
- **Marginal:** Pérdidas o daños moderados.
- **Crítica:** Pérdidas o daños considerables.
- **Catastrófica:** Pérdidas o daños de gran magnitud.

Para el caso de la zona de estudio en el barrio El Portal II Sector, los daños o pérdidas corresponden a un retroceso de la corona del talud, lo cual puede causar daños inminentes en 5 casas que están muy cerca de dicha corona. En el largo plazo puede llegar a comprometer por lo menos a 10 casas más que se encuentran relativamente cerca de la corona del talud. Los daños también están representados por la caída de bloques, los cuales pueden afectar a dos viviendas localizadas en la parte baja del talud; adicionalmente la zona de alto riesgo es de fácil acceso para cualquier persona; por lo cual puede generar lesiones en ellas; estas razones son suficientes para considerar la zona de estudio como Crítica.

1.3.3. Determinación del riesgo:

Teniendo en cuenta la categorización de amenaza y vulnerabilidad previamente descrita, se presenta en la Tabla 2 la matriz de aceptabilidad del riesgo.

Tabla 2. Matriz de aceptabilidad del riesgo

Amenaza relativa					
	Muy Alta	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Alta	Tolerable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable
	Media	Aceptable	Tolerable	Tolerable	Inaceptable
	Baja	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Tolerable
	Muy Baja	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Tolerable
		Insignificante	Marginal	Critica	Catastrófica
		Vulnerabilidad relativa			

Como se puede ver en dicha figura, se identifican tres (3) zonas o niveles de riesgo, los cuales se describen a continuación:

- Nivel de riesgo aceptable (nivel de riesgo menor del 15%)

Un escenario situado en esta región de la matriz, significa que la amenaza - vulnerabilidad no representa un peligro significativo, por lo que no amerita la inversión inmediata en acciones específicas para la gestión sobre el riesgo.

- Nivel de riesgo tolerable (nivel de riesgo entre el 15% y el 30%)

Un escenario situado en esta región de la matriz, significa que aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, esta tiene una prioridad de segundo nivel. Se deben ahondar los esfuerzos para disminuir la incertidumbre en la evaluación.

- Nivel de riesgo inaceptable (mayor al 30%)

Un escenario situado en esta región de la matriz, significa que se requiere siempre desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión debida al acto impacto que tendría sobre la zona.

Ya que la amenaza se calificó como MUY ALTA y la vulnerabilidad (consecuencias) como CRITICA, de acuerdo con la matriz presentada se califica el riesgo como INACEPTABLE, recomendándose llevar a cabo obras de mitigación de amenaza para disminuir el riesgo.

2. TOPOGRAFÍA:

2.1. Generalidades:

Se efectuó un levantamiento altimétrico y planimétrico del sector de estudio que abarca un área aproximada de 1 Ha. El terreno presenta una topografía inclinada enmarcada entre las cotas 2.590 y 2.626 msnm.

Para la ejecución de los trabajos se utilizó una estación TOPCON GTS-235W, y una estación Total Electrónica.

Este instrumento cuenta con su respectivo Certificado de verificación Óptico- Mecánico y Electrónico, suministrado por la empresa TOPO-ESTAR, el cual se anexa en este informe.

2.2. Descripción de actividades:

Los trabajos de campo se realizaron a finales del mes de junio de 2006; desarrollándose en las siguientes etapas:

Amarre de coordenadas reales utilizando el punto CD-608-A con señal azimut a monserrate.

Información topográfica tomada para cada punto, levantado en las 3 dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota).

Se materializaron dos (2) puntos en la zona de estudio para la futura localización de las obras diseñadas en este estudio. Las coordenadas de estos puntos son:

Tabla 3. Mojones materializados en campo

MOJON	BARRIO	LOCALIDAD
D-1	EL PORTAL II SECTOR	RAFAEL URIBE URIBE
D-2		

Para realizar el traslado de coordenadas del levantamiento topográfico se empleó la información del punto certificado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (IGAC), CD-608-A, con azimut al punto Monserrate, con el fin de amarrar dos vértices amojonados a coordenadas reales. A continuación se presenta en la Tabla 2 las coordenadas de cada uno de los punto de amarre. Y en los Anexos se presenta la Certificación de IGAC, del punto CD-608-A.

Tabla 4. Listado de coordenadas de los puntos de amarre

MOJON	NORTE	ESTE	COTA
D-1	94289.8995	95526.7307	2600.4113
D-2	94254.8263	95503.0012	2606.7667

Se realizó el levantamiento de todos los detalles por radiación para la elaboración del plano respectivo utilizando una estación total TOPCON GTS-235W, estos detalles fueron: vías, paramentos, postes, pozos, y puntos de topografía para generar curvas de nivel cada 0.5 m, el total de puntos levantados fue de 780. Los detalles del levantamiento fueron almacenados en cartera electrónica, lo cual garantiza su veracidad. Las cotas fueron calculadas por nivelación trigonométrica a partir de los datos de la estación, mediante el software SURFACE MODELING.

Los datos del levantamiento topográfico realizado, se bajaron directamente desde el colector de datos de la estación total al computador, evitando así errores de trascripción y agilizando este proceso; en el Anexo I se presentan los datos crudos de la estación, y el listado de coordenadas del levantamiento topográfico.

Los puntos topográficos fueron interpolados utilizando el software SURFACE MODELING, hallando las curvas de nivel, y con las carteras de campo y se realizó la planimetría del sitio, obteniendo como resultado el Plano POR-PL-001 Topografía.

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO:

Con el fin de conocer la estratigrafía del sector y determinar las características geomecánicas de los diferentes materiales que conforman el subsuelo en la zona de estudio, se llevó a cabo un programa de investigación del subsuelo, detallado a continuación.

3.1. Exploración del subsuelo:

Para determinar las características del suelo del área de estudio, se efectuaron tres (3) trincheras a lo largo del escarpe, y una (1) perforación del orden de 3 metros en la parte alta del talud.

En las perforaciones se efectuó el ensayo de penetración estándar y se recuperaron muestras alteradas con el sistema de cuchara partida; el muestreo se efectuó de manera continua.

En las trincheras se recuperaron muestras inalteradas de suelo en bloque para ensayos especiales de laboratorio.

En el Anexo II se presentan los registros de las perforaciones y trincheras realizados.

3.2. Ensayos de laboratorio:

En el laboratorio se efectuaron ensayos de clasificación de suelos y propiedades índice; al igual que ensayos de resistencia al corte no drenado con veleta y penetrómetro. En suelos se programaron ensayos de corte directo, consolidados y fallados a baja tasa de deformación.

Adicionalmente se llevo acabo un ensayo de Dispersividad de Pinhole, este con el fin de evaluar el comportamiento del suelo ante el flujo interno.

En el Anexo III se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

4. GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA:

La zona de estudio esta ubicada al sur de la ciudad de Bogotá y al sur y adyacente a la penitenciaria "La Picota", al costado oriental de la carretera Bogotá – Usme. Conformada por macizos rocosos correspondientes a la denominada formación Usme y por depósitos de varios orígenes.

La presencia de una depresión morfológica de carácter antrópico limitada por taludes altos y verticalizados ha sido objeto del desarrollo urbanístico tanto en la zona topográficamente baja como en la zona alta, perimetral a los taludes escarpados.

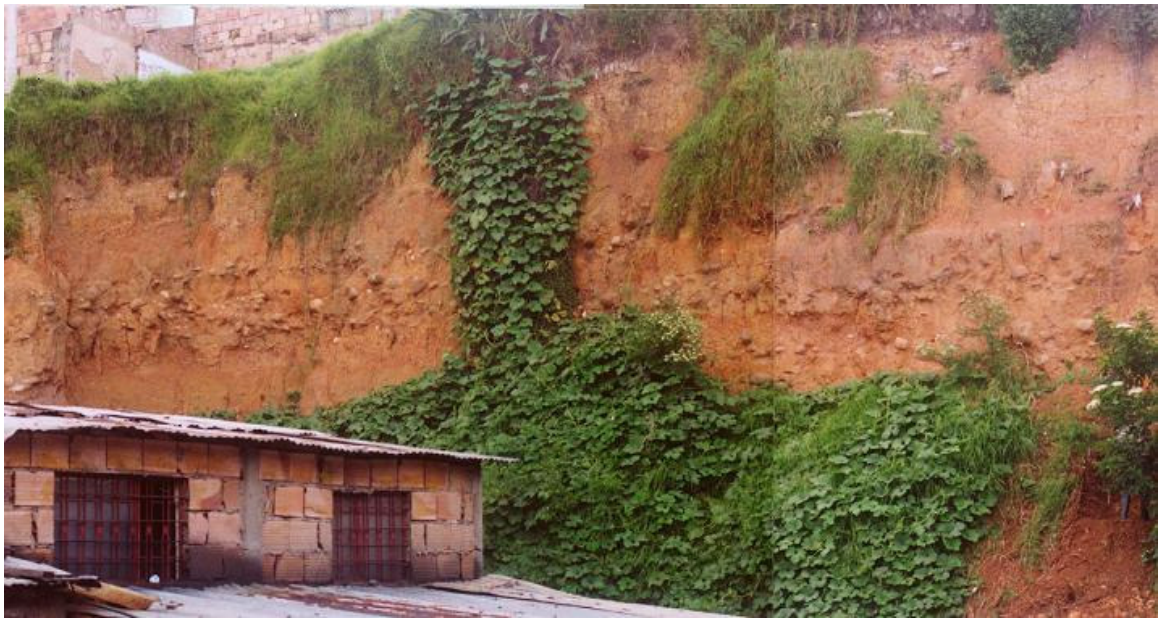
4.1. Geología local:

Regionalmente la zona esta conformada por macizos rocosos integrados por material estratificado: areniscas arcillosas y arcillolitas abigarradas correspondientes a la denominada formación Usme (T) y por depósitos de varios orígenes; coluviones, conos, depósitos fluviolacustres, (Qf). (ver plano POR-PL-002 GEOLOGIA).

En la zona de estudio del barrio El Portal II Sector aflora en los taludes de corte, material seudoestratificado de arcillas rojizas, grises-amarillentas, material areno-limo-arcilloso (descripción macroscópica) conteniendo o no material típico de origen aluvial, fragmentos de roca subredondeados a redondeados de varios tamaños hasta de 0.2m de diámetro, dispersos entre si pero alineados a lo largo de la base o techo de los seudoestratos arenosos (ver fotografía 5). En la parte inferior del talud aflora un seudoestrato competente de arenas gruesas y medias de color rojizo que contiene bloques angulares de diferentes rocas, entre ellas areniscas, cuarcitas y areniscas con alta concentración de óxidos de hierro adquiriendo características metálicas. El diámetro observado de los fragmentos de rocas es hasta de 0.2m. Algunos de los seudoestratos de los materiales citados pierden continuidad lateral y/o disminución de sus espesores, lo que ocasiona que haya diferencias en las columnas "estratigráficas" levantadas en diferentes perfiles del escarpe (ver fotografía 6).



Fotografía 5. Suelos sedimentarios que conforman un alto talud escarpado.



Fotografía 6. Los espesores de los estratos varían a lo largo del escarpe.

La siguiente columna "estratigráfica" es representativa del material de depósito que conforma el talud escarpado de El Portal. De arriba hacia abajo en el talud aflora:

De 0 a 3.2m	Material típicamente arcilloso abigarrado con tonalidades claras, el cual en su parte superior contiene material orgánico.
3.2-5.2m	Material areno arcilloso con bloques subredondeados a redondeados, alargados, bien diseminados.
5.2-6.2m	Material arcilloso, abigarrado con tonalidades rojizas.
6.2-7.3	Material areno arcilloso amarillento con algunos bloques.
7.3-10.4	Material areno arcilloso rojizo.
>10.4	Material areno arcilloso con muchos bloques de forma angular de 0.05m a 0.2 m de diámetro.

Las características litológicas y espaciales del material descrito excepto del seudoestrato inferior reflejan ambientes lacustres y fluviales intermitentes que dieron origen al depósito aflorante. El seudoestrato inferior puede corresponder a un depósito de tipo coluvial.

El material areno arcilloso, especialmente de la parte inferior del talud, presenta un intenso grado de desintegración con discontinuidades oblicuas y perpendiculares a la seudoestratificación (ver fotografía 7).



Fotografía 7. Características granulométricas, fracturamiento y susceptibilidad a los procesos erosivos de socavación del depósito lacustre.

En la zona posterior del depósito y adyacente a él, el relieve alto, por correlación geológica regional, corresponde a un macizo rocoso integrado por material estratificado de la formación Usme.

En el talud vertical del costado sur de la depresión aflora material sedimentario parcialmente estratificado y parcialmente con disposición espacial caótica. Areniscas de consistencias duras y muy blandas mostrando amplias superficies planas y lisas correspondientes a espejos de falla. Sobre este material brechado yacen depósitos delgados de carácter aluvio – coluvial.

4.2. Morfología:

La morfología del barrio El Portal II Sector consiste de un relieve bajo, de acolinado a abrupto conformado por taludes de superficies amplias cóncavas y convexas de pendientes suaves y localmente con taludes de superficies planas fuertemente inclinadas. Los drenajes son bien incisados. La morfología en la zona de estudio de El Portal II Sector esta integrada por taludes de corte verticales y/o verticalizados de 5 a

12 metros de altura. Los taludes laterales son rectilíneos mientras que el frontal es suavemente cóncavo. La mitad superior es dominantemente verticalizada, de origen erosivo, localmente con pendientes negativas. La mitad inferior es fuertemente inclinada conformada por material de depósito muy reciente (ver fotografía 8).



Fotografía 8. En la parte alta, pendiente verticalizada; en la parte baja la pendiente es fuertemente inclinada y conformada por acción de depósitos recientes.

En la mitad superior la superficie es morfológicamente irregular con entrantes y salientes tanto en sentido horizontal como vertical. Esta rugosidad de la superficie es el resultado de erosión diferencial en distintos materiales y/o por desprendimientos de grandes bloques limitados lateralmente por discontinuidades verticalizadas.

En la mitad inferior la pendiente del talud corresponde a la de los depósitos originados por desprendimientos de material de la parte superior.

El drenaje sobre el talud es en general de carácter laminar pero localmente la escorrentia se concentra a lo largo de un amplio y prolongado sendero peatonal que proviene la parte más alta de la zona de influencia y llega directamente al borde del escarpe y se precipita sobre él.

Hay drenajes subsuperficiales controlados verticalmente por material de carácter impermeable.

5. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

5.1. Características geotécnicas del subsuelo

El subsuelo del lote consiste en depósitos seudoestratificados de origen fluviolacustre sobre un macizo rocoso estratificado de areniscas arcillosas y arcillolitas.

Con base en los resultados del programa de exploración se definieron tres zonas, las tres están compuestas por los mismos depósitos pero con espesores diferentes, o simplemente hay ausencia de alguno de ellos.

La zona 1, se presenta en el costado oriental del talud y estratigraficamente esta conformada por:

De 0.0 a 1.0 m: Cobertura vegetal, rellenos de escombros mezclados con limos y arcillas, raíces, etc.

De 1.0 a 5.0 m: Arena arcillo-limosa.

De 5.0 a 6.2 m: Arena con clastos subredondeados matriz soportados y con tamaños que están entre 10 y 80 cm.

De 6.2 a 7.2 m: Arcilla arenosa.

A partir de los 7.2 metros de profundidad se encuentran clastos subredondeados a angulares conglomerados, matriz soportados en arena arcillosa, hasta encontrar el macizo rocoso.

La zona 2, esta localizada en el costado sur del talud, o parte central del mismo, conformada estratigraficamente por los mismos materiales y distribuidos asi:

De 0.0 a 1.5 m: Suelo orgánico, ausente de vegetación y compuesto por limos orgánicos, arcillas amarillas y rojizas, y materiales de desecho.

De 1.5 a 2.0 m: Arenas arcillosas con clastos, muy meteorizadas.

De 2.0 a 3.30 m: Arcilla arenosa con tonalidades amarillas, grises y rojas.

De 3.30 hasta 4.70 m: Arena arcillosa de color rojizo, con clastos de tamaños variables entre 0.5 y 2.0 cm en la parte superior y en la parte baja de 5 cm aproximadamente.

A partir de 4.70 m: Clastos subredondeados a sub angulares en matriz arcillosa hasta alcanzar la profundidad del estrato rocoso.

.

La zona 3, se localiza en la parte suroccidental del sitio de estudio, y presenta la siguiente estratificación:

Desde 0.0m de profundidad y con un espesor de 0.50m se encuentra un limo orgánico.

De 0.50 a 3.40 m: Se encuentra un estrato de arenas arcillosas con clastos matriz soportados en la base.

De 3.40 a 4.10 m: Arena arcillosa de color rojizo.

Desde 4.60 m de profundidad se encuentran arenas con presencia de clastos.

Las siguientes son sus propiedades geotécnicas de cada uno de los materiales encontrados: En el Anexo XI se muestra la forma de obtención de los parámetros.

ARENA ARCILLOSA

Humedad natural:	Wn = 6.5 a 10, 7 %
Límite líquido:	Wl = 40
Límite plástico:	Wp = 22
Peso unitario:	γt = 18 KN/m³
Contenido de Finos :	PT200 = 27, a 46%
Cohesión:	C = 36.5 KN/m^2
Angulo de fricción:	ϕ = 22.1
Ensayo de Dispersividad	ND = Suelo No Dispersivo.

ARCILLA ARENOSA

Humedad natural:	Wn = 4, a 17 %
Límite líquido:	Wl = 32
Límite plástico:	Wp = 18
Peso unitario:	γt = 18 KN/m³
Contenido de Finos	PT200 = 53.4, a 63.7%
Ensayo de Penetración Estándar SPT	N = 9 - 16 golpes / pie
Cohesión:	C = 69.5 KN/m^2
Angulo de fricción:	ϕ = 23.9

Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna fueron obtenidos a partir de los criterios de resistencia evaluados por Hvorslev, Bjerrum and Simons (1960), con base en el esfuerzo de preconsolidación σ'_n estimados de ensayos de campo (Cu, SPT) y del índice de plasticidad del suelo.

A partir de muestras obtenidas en las trincheras se efectuó un ensayo de corte directo a la arena arcillosa (TR1 – M2), obteniendo los siguientes resultados:

Cohesión	$c' =$ 0.14 Kg/cm^2
Angulo de fricción interna	$\phi' =$ 24.0°.

La cohesión medida en el corte directo es más baja debido a que la muestra tomada sobre la trinchera, ya ha sufrido un proceso de degradación e interperismo, lo cual genera una pérdida de resistencia del material.

Los resultados de exploración y de los ensayos de laboratorio se presentan en el Anexo III de Laboratorio.

5.2. Análisis de Estabilidad:

5.2.1. Generalidades:

Para el análisis de las condiciones de estabilidad del talud se utilizó el programa P.C. Stable Versión 5, el cual permite analizar las condiciones de estabilidad del talud basados en modelos de equilibrio límite; se analizaron aleatoriomente numerosas superficies de falla circular por el método de Janbú Simplificado, y se determinaron aquellas que definen las condiciones de estabilidad más críticas.

Para los análisis de estabilidad se adoptaron los parámetros de resistencia presentados en la Tabla 5, con 2 valores de cohesión, los primeros fueron los obtenidos para los materiales que se encuentran degradados en la cara del talud y los segundos son los parámetros hallados para los materiales no alterados, Los datos fueron obtenidos de ensayos de laboratorio, correlaciones y criterios ingenieriles, siempre bajo un criterio que está del lado de la seguridad.

Con respecto a las condiciones de presiones de poros en el suelo, se analizaron dos posibles escenarios ya que el suelo de la zona de estudio esta muy expuesto a sufrir cambios en las condiciones de las presiones de poros ante la presencia o ausencia de lluvias.

a) En un primer escenario existe un nivel freático colgado por encima de los estratos de arcilla y abatido por los suelos arenosos que se encuentran en el sitio; estas son las condiciones criticas que se pueden inferir en el sitio, si se tiene en cuenta los puntos por donde aflora agua del talud, la ausencia de nivel freático en la perforación, y la humedad de los suelos encontradas en la exploración.

b) Un segundo escenario de talud seco, como se observó en campo.

Tabla 5. Parámetros de resistencia al corte adoptados para los análisis

MATERIAL	PESO UNITARIO TOTAL (ton/m³)	COHESIÓN (KN/m²)	ANGULO DE FRICCION (°)
ARENA ARCILLOSA CON CLASTOS	19	14.2-36.5	27.1
ARCILLA ARENOSA	18	26.4-69.5	22.1
ARENA ARCILLOSA	18	14.2-36.5	23.9
ARCILLA ARENOSA CON CLASTOS	19	26.4-69.5	28.9

Los valores mínimos de cohesión son ajustados con base en los ensayos de corte directo, y los valores máximos corresponden a los obtenidos a partir de los criterios de Hvorslev, Bjerrum & Simons (1.960).

Para tener en cuenta la influencia de sismo, se acogieron los valores indicados en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, correspondientes a la Zona 1 (Cerros), en el cual se define un coeficiente de aceleración máxima Am=0.24 g, para un periodo de recurrencia de 475 años. Para fines de efectuar un análisis de sensibilidad, y como criterio de diseño de las obras geotécnicas de mitigación, se adoptaron en los modelos la mitad de la aceleración máxima que equivale a un valor de a=0,12 g (esto basado en el criterio de Hynes –Grifin y Franklin, 1984); esta aceleración corresponde a un periodo de recurrencia de 100 años aproximadamente.

5.2.2. Análisis de estabilidad general de la situación actual:

El problema identificado en las visitas de campo y reconocimiento por parte de los especialistas determina fallas superficiales del talud por acción de la erosión; con el fin de evaluar la estabilidad interna del talud y contemplar la ejecución o no de obras de contención se efectuaron los siguientes análisis:

5.2.2.1. Secciones de análisis:

Se seleccionaron tres (3) secciones típicas de análisis, cuya localización en planta se presenta en el Plano de obras (POR-PL-002); cada sección abarca las subdivisiones de zona que se efectuaron y de forma tal que abarque y represente las soluciones planteadas.

5.2.2.2. Factores de seguridad:

Tabla 6. Sección 3-3 Situación Actual.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
Talud seco	1.30 – 2.18	1.09 – 1.85	0.94 – 1.59
Talud N.F. colgado	1.19 – 2.05	1.00 – 1.74	0.85 – 1.49

Tabla 7. Sección 4-4 Situación Actual.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
Talud seco	1.40 – 2.23	1.18 – 1.87	1.00 – 1.59
Talud N.F. colgado	1.27 - 2.09	1.07 - 1.75	0.91 - 1.49

Tabla 8. Sección 6-6 Situación Actual.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
Talud seco	4.18 – 10.66	3.29 – 8.58	2.68 – 7.14
Talud N.F. colgado	2.79 - 3.75	1.94 - 3.52	1.42 - 3.32

NOTA: Los valores mínimos obtenidos corresponde a los análisis obtenidos a partir de los parámetros de resistencia al corte, derivados de ensayos de corte directo sobre muestras superficiales alteradas, y los valores máximos a los obtenidos por los parámetros Hvorslev Bjerrum and Simona (1960).

En condición de sismo y con nivel freático colgado, el talud resiste un sismo de intensidad moderada.

Las condiciones de estabilidad indican que el talud en su condición actual es estable, y no presenta problemas de falla por comportamiento geomecánico de los suelos, por tal razón no son necesarias obras de contención.

Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo IV del informe.

5.2.3. Condiciones de estabilidad general con obras de mitigación de erosión:

Con los resultados obtenidos a partir de los análisis de estabilidad sobre las condiciones actuales del sitio de estudio, se concluye que el problema no radica en la estabilidad de los suelos si no que es atribuido específicamente a procesos erosivos en los suelos y rocas; las obras a realizar tiene como función mitigar el problema de erosión que afecta el talud, sin embargo como dichas obras contienen remoción de material se realizó el análisis de estabilidad para la nueva conformación.

Teniendo en cuenta las condiciones actuales del sitio, los estudios de campo y laboratorio, y los análisis efectuados, se tienen dos situaciones para las cuales se presentan como solución las siguientes obras de mitigación:

Situación 1. Talud Zona Oriental (Sección 3-3) y Zona Central (Sección 4-4).

- Se requiere efectuar el perfilado del talud con inclinaciones 1.0H:3.0V de forma tal que se retiren bloques alterados de suelos erodados (bad lands) los cuales cubren la superficie actual del talud y son susceptibles a presentar inestabilidad local. (Ver plano de Obras POR-PL-003).

- Con el objeto de controlar y detener el problema de erosión en el suelo se propone instalar sobre el talud perfilado un sistema de recuperación de la vegetación por medio de semillas ancladas al talud con microrisas y biomanto, contemplando además una malla de gavión como sistema adicional de protección contra posibles desprendimientos de bloques de suelo (Ver plano de detalles POR-PL-004).

Situación 2. Talud Zona Occidental (Sección 6-6):

- Con el fin de retirar el material alterado en esta zona y adicionalmente recuperar el paso peatonal que se encuentra en la corona del talud sur-occidental, se propone la construcción de dos muros de gaviones, uno en la pata del talud de 6 metros de altura, seguido por una berma de 1.50m de ancho y finalmente un segundo muro de gaviones de 4 metros de altura, (ver plano de detalles POR-PL-003); la función de esta estructura de contención consiste en recuperar el corredor peatonal de la parte alta.

- Manejo y transporte de aguas superficiales y subsuperficiales por medio de la construcción de cunetas, rejillas, y pozos de captación; adicionalmente se propone la construcción de zonas peatonales en adoquín que reduzca la infiltración de aguas al subsuelo, y la instalación de drenes en tubería PVC en la superficie del talud verticalizado, con el objeto de evitar la acumulación de aguas dentro del cuerpo del talud (ver plano de obras POR-PL-003).

Para poder realizar las obras de reconformación del talud es necesario adquirir el predio (sin nomenclatura) de propiedad del señor OLMEDO DUARTE, identificado con consistente en una casa construida con latón y madera, con pisos en tierra; esta vivienda está actualmente localizada en la parte media del talud sur-oriental, sobre una pequeña terraza que se conformó en dicho sector.

Al realizar las obras de conformación del talud, por medio de los muros de gaviones del sector sur-occidental, se obtienen los siguientes factores de seguridad para las secciones de diseño.

Tabla 9. Sección 3-3 Situación Talud Perfilado.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
Talud seco	1.52 - 2.55	1.28 - 2.17	1.09 - 1.86
Talud N.F. colgado	1.42 – 2.45	1.19 – 2.09	1.01 – 1.79

Tabla 10. Sección 4-4 Situación Talud Perfilado.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
Talud seco	2.22 – 2.94	1.81 – 2.41	1.50 – 1.99
Talud N.F. colgado	1.99 – 2.69	1.65 – 2.25	1.39 – 1.89

Tabla 11. Sección 6-6 Situación Obra de Conformación.

Condición de drenaje	Condición Estática	Condición de sismo	
		a_h = 0,12 g	a_h = 0,24 g
Talud seco	2.79 - 5.66	1.91 - 3.98	1.42 - 3.03
Talud N.F. colgado	2.77 - 4.12	2.32 - 3.46	1.97 - 2.95

Los análisis indican que con las obras de reconformación del talud previstas en la zona occidental, las condiciones de estabilidad interna del talud no son afectadas.

Con las obras de conformación propuestas se mitigan los procesos de erosión en la superficie del talud.

Las obras de drenaje superficial y subsuperficial son importantes para ambas condiciones, ya que evita que se generen embalsamientos, este generaría presiones de poros importantes en los estratos, lo cual terminaría afectando la estabilidad del talud con el tiempo.

En los planos (POR-PL-003 Y POR-PL-004) se presentan la localización de las obras y los detalles respectivos. Los resultados de los análisis de estabilidad para las obras de conformación del talud se presentan en el Anexo V).

5.3. Pérdida de suelos por erosión pluvial:

5.3.1. Conceptos generales:

Los edafólogos distinguen entre erosión geológica o desgaste natural de la tierra sin influencia humana y erosión acelerada o pérdida de suelo como consecuencia de la alteración del sistema natural debida al tipo de uso del suelo.

La erosión es un fenómeno natural que abarca la separación, el transporte y el depósito de los materiales que componen el suelo y es causada, principalmente, por el agua (erosión hídrica) por escorrentía y/o por infiltración y por el viento (erosión eólica). La erosión hídrica comienza con la caída de las gotas de lluvia que pueden desprender las partículas de suelo; parte del agua que cae se infiltra, pero dependiendo de la intensidad del aguacero y del tipo y condiciones del suelo superficial, hay una parte que no alcanza a infiltrarse y fluye sobre el terreno arrastrando los materiales sueltos.

La intensidad del proceso de erosión avanza en secuencia desde el lavado superficial difuso, a la erosión laminar, la formación de hilos o canalículos, surcos y en casos más graves, zanjas, cárcavas y barrancas. En el extremo se degradará el terreno en alto grado, con la ramificación de cárcavas y eliminación de las capas u horizontes del perfil de suelos en toda el área afectada; se hablará entonces de calvas o "bad-lands". El volumen de suelo removido aumenta a tasa enorme de una etapa a la otra.

Esta acción del agua lluvia sobre el terreno se puede resumir de la siguiente forma:

Tabla 12: Modos de acción de la lluvia sobre el terreno.

Erosiva directa o indirecta de la lluvia	Mecanismo de acción	Efectos erosivos, directos o indirectos
Impacto de las gotas	Disgregación	Erosión por escurrimiento laminar.
Escurrimiento superficial	Disgregación Transporte	Erosión diferencial, por diferentes resistencias al fenómeno en las distintas capas del terreno.
Infiltraciones	Nivel freático colgado Elevación del nivel freático Corrientes subterráneas Saturación	Deslizamientos de tierra. Erosión interna, tubificación, etc. Lavado interno (Lixiviación); disolución
Humedecimiento y secado	Expansión y contracción	Fisuramiento Pérdida de cohesión. Flujos estacionales.

El análisis y predicción de la pérdida de suelo por efecto de la erosión pluvial en una cuenca, se realiza aplicando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, EUPS, aceptada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, USDA, que se describe a continuación:

5.3.2. Método de estudio:

Para la estimación de la pérdida de suelo por erosión pluvial en el barrio Portal del Sur se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, EUPS, que correlaciona factores de erosión (lluvia - viento), propiedades del suelo y condiciones que afectan el proceso de erosión.

La expresión matemática del modelo EUPS es:

$$E = R \times K \times LS \times P \times C$$

donde:

E: Pérdida de suelos (ton/ha/año)
R: Erosividad de la lluvia, en función de su energía cinética (J/m^2), si la lluvia se expresa en mm y (MJ/m^2), si se expresa en cm.
K: Erosionabilidad del suelo (adimensional)
L: Longitud de la pendiente, expresada en m.
S: Grado de pendiente, expresado en %.
P: Prácticas de conservación de suelos (mecánicas, biológicas).
C: Cobertura superficial (vegetal, pavimento, etc).

Para estimar cada uno de los factores involucrados en la ecuación anterior se realizaron las siguientes actividades:

5.3.3. Revisión de información básica:

Para determinar la pérdida por erosión se consultó y analizó la siguiente información:

- Plano topográfico del área de estudio
- Información meteorológica: Precipitación total mensual
- Información referente al medio físico: clima, vegetación, suelos, geología, hidrología.
- Información relacionada con la aplicación del modelo USDA para la estimación de la pérdida de suelo.

5.3.4. Base teórica:

Los siguientes son los factores que componen el modelo teórico del modelo:

- Factor R: *Erosividad*.

Como se dispone sólo de información pluviométrica se utiliza el modelo de Fournier, para la determinación del factor R, erosividad.

$$R = \sum_{i=1}^{n} \frac{p^2}{P}$$

Donde R es el índice de erosividad; *p* es la precipitación momentánea (horaria, diaria, mensual), *P* es la precipitación total del período estudiado y n es el número de años.

- Factor K, *Erodabilidad.*

La erodabilidad, facilidad o susceptibilidad que tiene el suelo a ser erosionado, depende de sus propiedades físicas, que determinan la velocidad de infiltración y la resistencia del suelo a la dispersión y arrastre del agua lluvia y de escorrentía.

Para hallar el valor K, se emplean 5 propiedades del suelo, que se relacionan mediante el modelo matemático cuya expresión es:

$$100K = 10^{-4}(2.71\ M^{1.14})(12-a) + 4.20\ (b-2) + [3.23\ (c-3)]$$

donde:

K: Indice de erodabilidad
M: (100 - %Arcillas) (%limo + Arena Muy Fina)
a: % de Materia orgánica
b: Estructura del suelo
c: Velocidad de infiltración
100: Factor de conversión cuando la lluvia está referida en centímetros.

El factor K, erodabilidad de los suelos, se clasifica según se muestra en la tabla siguiente (Montenegro, 1985).

Tabla 13: Calificación de la erodabilidad de los suelos.

Valores de Erodabilidad Factor k	Clasificación
Menor de 0,20	Bajo
Entre 0,20 y 0,30	Medio
Entre 0,30 y 0,50	Alto
Mayor de 0,50	Muy alto

Los componentes de la ecuación para estimar el factor K se obtuvieron de la siguiente manera:

- Granulometría: Sobre muestras obtenidas en campo se realizaron ensayos de granulometría por hidrómetro y por tamizado y con los resultados se obtuvieron las curvas de gradación presentadas en el AnexoIII
- La materia orgánica se determinó por el método de quemado al horno.
- La estructura se determinó en campo.
- La velocidad de infiltración se determinó con base en la textura del suelo, usando la gráfica de la figura del anexo III.

El valor de Infiltración básica de los suelos, se clasifica según se muestra en la tabla siguiente (Montenegro, 1985).

Tabla 14: Clasificación de la Infiltración básica de los suelos.

Conductividad hidráulica		**Infiltración básica**	**Clasificación, según codificación USDA**
cm/hora	**m/día**	**cm/hora**	
Menor de 0.1	0.03	Menor de 0.1	6 - Muy lenta
0.1a 0.5	0.03 a 0.12	0.2a 0.5	5 - Lenta
0.6 a 1.5	0.13 a 0.38	0.6 a 2.0	4 - Moderadamente lenta
1.6 a 5.0	0.39 a 1.2	2.0 a 6.3	3 - Moderada
5.1 a 12	1.3 a 2.9	6.3 a 12.7	2 - Moderadamente rápida
12.1 a 18	3.0 a 4.3	12.7 a 25.4	1 - Rápida
mayor de 18	mayor de 4.3	mayor de 25.4	1 - Muy rápida

- Factor LS, *Longitud y grado de pendiente.*

Este factor combina dos aspectos del relieve que determinan la facilidad de escurrimiento del agua y la velocidad y energía cinética alcanzada por la escorrentía. Así, a mayor grado y longitud de pendiente corresponde mayor erosión, ya que en longitudes pendientes muy largas y pronunciadas, la escorrentía aumenta tanto en volumen como en velocidad y profundidad.

Para la determinación del factor que mide el efecto de la longitud y grado de pendiente (LS) se utilizó el mapa de pendientes de la zona de estudio y se aplicó la siguiente ecuación:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1}\right)^{0.3}\left(\frac{s}{9}\right)^{1.3}$$

Donde:

λ: Longitud de la pendiente, en m
S: Grado de pendiente, en %

- Factor C, C*obertura del suelo.*

Relaciona el tipo y extensión de la cobertura del suelo con la erosión originada por la lluvia; en el caso de la cobertura vegetal, el efecto sobre la erosión se observa en cuatro aspectos:

- Intercepción de la lluvia por la cubierta vegetal
- Disminución de la velocidad de escurrimiento y acción cortante del agua.
- Aumento de la granulación del suelo por efecto de las raíces, además del aumento de la porosidad y la actividad biótica.

– Incremento de la transpiración, conducente a desecación del suelo.

Se estima que un 40% de la superficie del talud cuenta con la protección de vegetación y el área restante no presenta cobertura, por lo que el factor C se considera igual a la unidad.

- Factor P, *Prácticas de manejo o protección.*

La erosión acelerada o antrópica puede ser disminuida hasta el equilibrio con la erosión geológica con obras que disminuyan la superficie expuesta, como revegetalización y cubrimiento con asfalto o cemento, y obras de Ingeniería para el manejo del agua superficial, como canales, desagües, etc, que reducen el carácter agresivo del agua. En el área de estudio no se encontraron obras de manejo, por lo que el factor P no es importante y para efectos de la estimación de la pérdida de suelos se iguala a la unidad.

5.3.5. Análisis de resultados:

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos.

- Factor Erosividad (R):

Se utilizó información pluviométrica, de la estación "La Picota" (CAR), reportada como precipitación total mensual (cm), para un periodo de 10 años (1991 a 2000). El valor calculado para el Factor Erosividad usando el modelo de Fournier, fue de 58,17. Este valor muestra condiciones de lluvias intensas, con apreciable capacidad de erosión.

- Factor erodabilidad (K):

Para la evaluación del Factor K, se utilizaron los resultados de los análisis de laboratorio realizados sobre muestras representativas de los materiales expuestos a la acción de la lluvia, así como el dato obtenido para la infiltración, a partir de la textura del suelo.

– Granulometría.

Los suelos del área de estudio poseen alto contenido de arena y contenido moderado de limos y arcillas, con una textura franco limosa (Areno limo arcilloso). En la Tabla 15 se presenta la distribución granulométrica de la muestra analizada.

Tabla 15. Distribución granulométrica de los materiales.

Notación	Diámetro mm.	Porcentaje
Arena muy gruesa	1.0 a 2.0	1.0
Arena gruesa	0.5 a 1.0	4.0
Arena media	0.25 a 0.5	24.0
Arena fina	0.1 a 0.25	10.0
Arena muy fina	0.05 a 0.1	10.0
Limos	0.002 a 0.05	29.0
Arcillas	Menor a 0.002	21.0

- El contenido de materia orgánica es extremadamente bajo, con registro de 0.5%, clasificándose los materiales edáficos como minerales.

- La estructura corresponde a granular, con grado medio a grueso y en la codificación USDA es No. 3.

- En cuanto a la infiltración, con los resultados de los ensayos de granulometría se estimó a partir de la figura del Anexo III, resultando Moderadamente lenta, No. 4 de la codificación USDA.

La información de granulometría, estructura, materia orgánica e infiltración, se relacionó por medio del modelo matemático descrito anteriormente y los resultados del factor erosibidad, K, se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Valor del factor K, erodabilidad.

DETERMINACION	VALOR
% materia orgánica	0.5
% Arcillas (ϕ < 0.002)	21.0
% Limo más arena muy fina (0.002 < ϕ < 0.1)	39.0
100-% Arcillas	79.0
Apreciación	Franco limoso
Estructura Calificación USDA	Granular media 3
Permeabilidad Calificación USDA	Moderadamente lenta 4
Factor K	**0.37**
Clasificación	**Alto**

Como se aprecia en la tabla, el valor del Factor K para el suelo superficial del talud indica materiales con alta susceptibilidad al efecto erosivo de la lluvia. Este resultado es debido a la velocidad de infiltración, moderadamente lenta, indicando que una gran parte del agua lluvia fluye superficialmente como escorrentía, arrastrando las

partículas que se encuentren sueltas. Otro aspecto importante es el bajo contenido de materia orgánica, lo cual indica muy poca cohesión o amarre de los peds por coloides orgánicos.

- Factor de pendiente (LS):

La pendiente del talud es del orden de 1:3. lo cual significa que su grado (S) es de 155% y la altura o longitud (L) del declive es de 12 m. Relacionando esta información con el modelo matemático para el factor LS, obtenemos como resultado 33.68, un alto valor de LS, reflejando una situación que favorece el incremento de la escorrentía.

- Factor de Cobertura superficial (C)

De acuerdo con lo expuesto en el aparte correspondiente al factor C, su valor se iguala a la unidad, pues se analiza la pérdida de suelo en el área sin cobertura, que corresponde al 60% del área del talud, o sea, a 300 m^2.

- Factor Prácticas de conservación (P)

No se evidencia prácticas de conservación de suelos ni de manejo del agua de escorrentía, por lo que a éste factor se le asignó el valor de 1 para el modelo de predicción de pérdida de suelo y no es importante en el resultado final.

5.3.6. Pérdida de suelos

Con base en el análisis de cada factor se construyó la matriz de la Tabla 17, donde se muestra el resultado al aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

Tabla 17. Resultados totales de los factores de la EUPS.

FACTORES DE LA EUPS	***VALOR***
FACTOR R. EROSIBIDAD	*58.17*
FACTOR K, EROSIONABILIDAD	*0.37*
FACTOR LS, PENDIENTE	*33.68*
FACTOR C, COBERTURA	*1*
FACTOR P, MANEJO	*1*
EROSION, Ton/Ha - Año	*724.9*
EROSION EN EL AREA ANALIZADA, Ton/Ha – Año	*21.7*
CLASIFICACION	*SEVERA*

La pérdida de suelo se clasifica de acuerdo con lo indicado en la siguiente tabla (Soil Survey Staff 1981, citado por Montenegro, 1985):

Tabla 18. Clasificación de la pérdida de suelo

PERDIDA DE SUELO (ton/ha/año)	*CLASIFICACION*
0	*Ninguna*
Menor de 2.5	*Ligera*
De 2.5 a 10	*Moderada*
De 10 a 25	*Severa*
Mayor de 25	*Muy severa*

Los factores que inciden de manera determinante en el resultado obtenido son la alta pendiente y la falta de cobertura superficial. Las características físicas de los suelos, en especial la moderadamente lenta velocidad de infiltración, hacen que sean susceptibles a la acción erosiva de la lluvia.

Para el control de la erosión superficial en el talud analizado se recomienda aumentar la cobertura de la superficie en un 100% del área, lo cual debido a la alta pendiente debe realizarse sembrando especies herbáceas por medio de un biomanto o utilizando un medio adherente de las semillas y estolones a la superficie del talud.

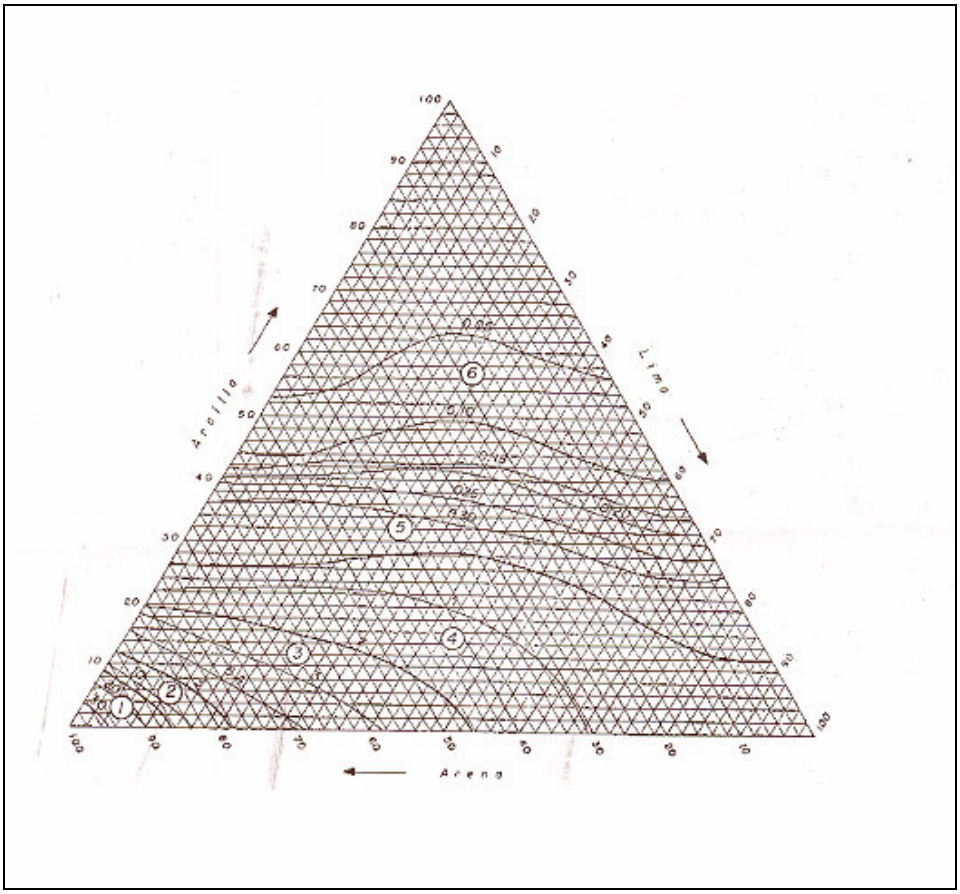


Figura. 1 Estimativo de la conductividad hidráulica a partir del tipo de suelo.

5.4. Diseños de obras propuestas:

5.4.1. Diseño de muro de Gaviones:

El diseño consiste en la reconformación del talud por medio de un muro de gaviones en la pata del talud actual, en la cota 2595 msnm; el cuerpo de gaviones tendrá un ancho en la base de 3 metros y altura de 6m; en la corona de este muro de gaviones se dejará una berma de 1.50 metros a partir de la cual se conformará un segundo muro de gaviones, de 3.0 metros de ancho y 4.0 metros de altura, logrando así alcanzar la cota 2605 msnm, a partir de la cual se reconformará el paso peatonal. (Ver plano de detalles POR-PL-003).

Al muro de gavión inferior se le prolongara la malla de gavión con el fin de reforzar el relleno seleccionado y compactado, que se colocará entre la cara interna del gavión y el talud natural. Ver plano de detalles POR-PL-003).

Entre la cara interior del muro superior y el terreno actual se colocará relleno seleccionado y compactado, sin malla de refuerzo.

5.4.1.1. Análisis de estabilidad por volcamiento y deslizamiento

Se determinaron los factores de seguridad por deslizamiento y volcamiento en condición de sismo obteniendo los siguientes resultados:

Muro de Gavión Inferior

FS Deslizamiento = 1.37
FS Volcamiento = 1.65

Muro de Gavión Superior

FS Deslizamiento = 1.14
FS Volcamiento = 2.33

5.4.1.2. Análisis por capacidad portante:

El muro de gaviones inferior quedará emplazado sobre el relleno arenoso que se encuentra en el sitio, el cual aporta condiciones de estabilidad adecuados; el muro superior quedará emplazado en el relleno compactado y reforzado que se colocara entre el muro de gavión inferior y la cara del talud natural.

La capacidad portante del suelo de fundación se efectuó por el método de Hansen y Vesic, teniendo en cuenta efectos de excentricidad, inclinación de cargas e inclinación del terreno; con base en estas condiciones se obtuvo una capacidad portante última al nivel de fundación de los muros igual a

Muro Inferior CP = 1073.4 KN/m²
Muro superior CP = 385 KN/m²

Teniendo en cuenta que las presiones máximas 110 y 80 KN/m² respectivamente, se obtienen los siguientes factores de seguridad:

Muro Inferior FS = 9.8
Muro Superior FS = 4.8.

En el Anexo VI, se presentan las memorias de cálculo del muro de gavión con sus análisis de estabilidad.

6. HIDROLOGIA E HIDRAULICA

6.1. Generalidades

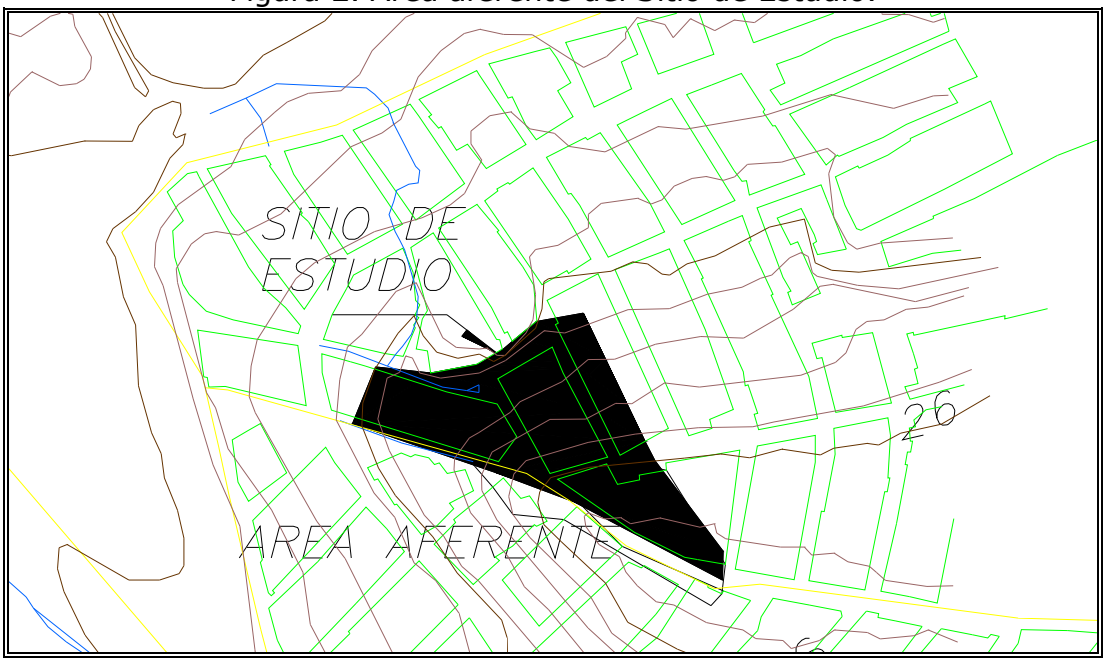
El estudio hidrológico e hidráulico tiene como objetivo describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual y determinar los aguaceros de corta duración para calcular los caudales y niveles máximos esperados, con el fin de diseñar las obras de drenaje necesarias para el control de aguas que erosionan el talud.

La zona de estudio está ubicada al sur-oriente de la ciudad de Bogotá. Durante los últimos años en el sector se ha presentado una creciente intervención urbana, debido al desarrollo de barrios en donde hasta ahora comienzan a efectuarse el control de aguas lluvias y negras; particularmente en la zona de estudio no se ha construido un sistema de drenaje adecuado, esto hace que la escorrentia superficial en un terreno falto de vegetación genere procesos de erosión y consecuentemente fenómenos de remoción en masa.

Para el análisis hidrológico se estudiará el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores desencadenantes de los fenómenos de remoción en masa.

Sobre la cartografía escala 1:10.000 se delimitó la cuenca vertiente al sitio de estudio (ver Figura 2).

Figura 2. Área aferente del Sitio de Estudio.



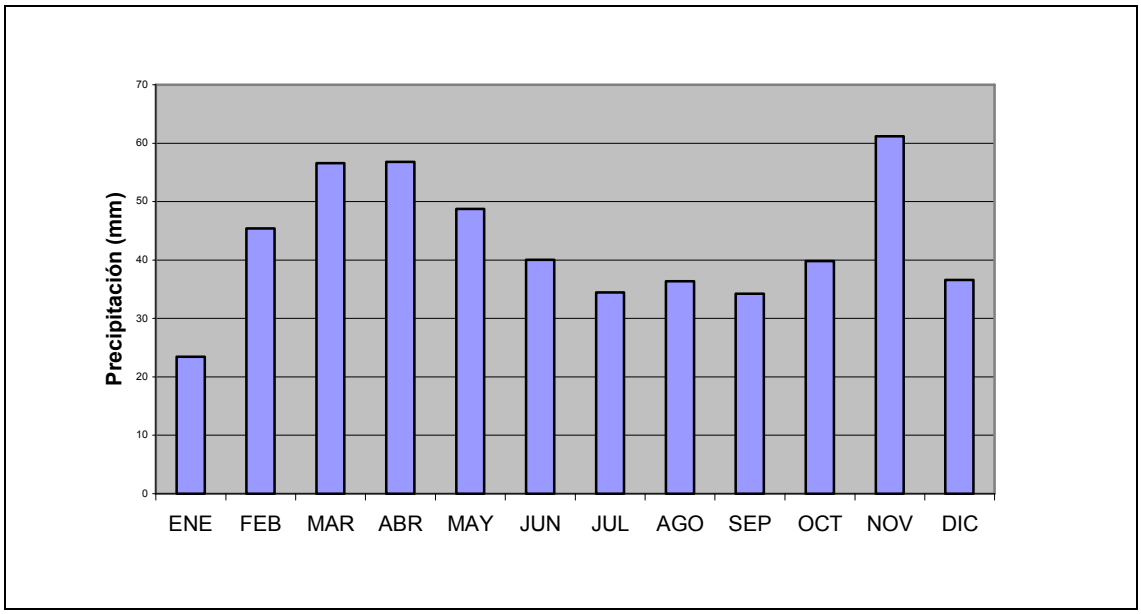
6.2. Precipitación:

Los fenómenos de erosión y remoción están generalmente asociados a los períodos lluviosos. Por ello es necesario conocer el régimen pluviométrico de la precipitación, para identificar los meses más lluviosos y los sectores donde se concentran los valores más altos de la precipitación en la zona de estudio.
Los siguientes son los resultados de los análisis.

6.2.1. Precipitación totales mensuales:

Para establecer el régimen pluviométrico en el barrio El Portal, se utilizaron los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la estación La Picota (2120156) operada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, Latitud 0434, Longitud 7408 y Elevación 2580 m.s.n.m. que esta muy cercana a la zona de estudio y esta ubicada en la cuenca del río Bogotá.

La distribución temporal de la precipitación se presenta en forma bimodal o ecuatorial con dos períodos lluviosos entre los meses de febrero a mayo y octubre a diciembre y un período seco entre los meses de junio a septiembre, como se observa en la Gráfica 1.

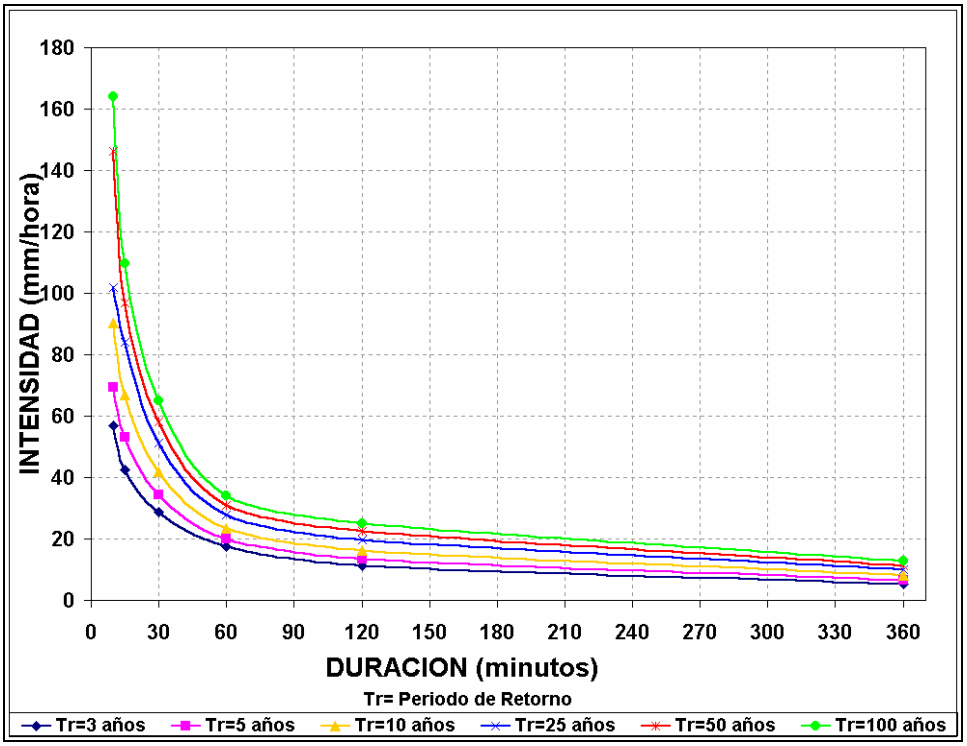


Gráfica 1. Lluvias medias mensuales (1990 - 2005) en la estación Serrezuela

La precipitación media multianual es de 645mm (ver Figura 3) y el mes con mayor precipitación es noviembre con un promedio mensual multianual de 76.8mm.

6.2.2. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P. En este estudio se dividió a la ciudad de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y, para cada zona se definió una curva IDF característica. El sector de análisis está ubicado en la Zona 7, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es El Bosque (2120085); operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB; la curva IDF característica para esta zona se presentan en la Gráfica 2, y los datos puntuales en la Tabla 19.



Gráfica **2**. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio.

Tabla 19 : Valores de intensidad (mm/hora) para lluvias de diferente duración y ce diversos periodos de retorno.

Duración minutos	Periodo de retorno (años)					
	3	5	10	25	50	100
10	57	70	90	102	145	164
30	28	34	41	51	58	65
60	17	20	23	29	32	35
120	11	13	16	20	23	25
360	6	7	9	11	12	14

Con las curvas presentadas en la Gráfica 2, se obtienen las intensidades máximas para diferentes períodos de retorno, con una duración dada (tiempo de concentración); estos valores son fundamentales para la generación de caudales máximos en la zona.

6.2.3. Lluvia crítica:

Para determinar la relación precipitación crítica - duración, se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998). En este estudio se encontró que la ciudad de Bogotá se puede dividir a partir de la lluvia crítica y de la duración en dos zonas, con las siguientes ecuaciones:

Tabla 20. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998).

Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (dias)
Suroccidental	0.3609 x Lluvia Anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.3609 x Lluvia anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$

El sitio de El Portal se encuentra ubicado dentro de la zona de los Cerros Orientales; a partir de los valores de lluvia anual de la estación La Picota se obtuvo una precipitación crítica de 198 mm (que coincide con lo reportado en el estudio de Ingeocim-Upes, 1998, tal como se puede ver en la Figura 4 y un período de retorno del orden de 34 años (ver Figura 5).

6.3. Caudales máximos por escorrentía

6.3.1. Metodología

Para la estimación o el cálculo de los caudales máximos esperados en los diferentes sitios de la zona en estudio, se utilizó el Método Racional, aceptado para cuencas con superficies inferiores a 1.0 Km2.

Este planteamiento o modelo de estimación de caudales máximos generados por escorrentía, se identifica con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde Q es el caudal pico (m3/s); C el coeficiente de escorrentía, que depende de las características fisiográficas del área de drenaje y la cobertura del suelo, I la intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/hr); y A el área aferente (ha).

6.3.2. Determinación de áreas de drenaje

En primer lugar se definió el área de drenaje, donde se requiere de la evaluación de los caudales máximos generados por escorrentía.

6.3.3. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Este valor es difícil de determinar directamente, pero se puede inferir satisfactoriamente considerando: el relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de almacenaje en la zona de estudio. De acuerdo con las recomendaciones del MOPT, para este caso se obtiene un valor de 0,65, teniendo en cuenta las características morfométricas y de cobertura del suelo del sitio de estudio.

6.3.4. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, o tiempo requerido para que el agua caída en el punto más alejado de la cuenca hidrográfica fluya a una sección específica de análisis en el drenaje, es función de las características topográficas de la cuenca. En este caso, por tratarse de microcuencas de pendiente media a alta, el tiempo de concentración se pudo evaluar gracias a la formula de Kirpich:

$$Tc = 0.0663 \, (L / S^{0.5})^{0.77}$$

En donde:

Tc: tiempo de concentración en horas
L: Longitud en kilómetros
S: la pendiente en m/m

$$Tc = 0.0663\ (0.14 / 0.5^{0.5})^{0.77}$$
$$Tc = 0.019 \text{ horas} = 1.14 \text{min.}$$

Los tiempos de concentración menores de 10 minutos se aproximan a 10 minutos.

6.3.5. Intensidad

Para la aplicación del método racional la intensidad de diseño se deduce de las curvas de intensidad-duración-frecuencia. La frecuencia se determina con base en el riesgo de que el evento de diseño sea igualado o excedido por lo menos una vez.
La duración del aguacero de diseño es igual al tiempo de concentración.

Con base en los parámetros anteriormente enunciados, se estiman los caudales máximos con áreas de drenaje iguales a 0,2Ha, 0.4 Ha, 0.6 Ha, 0.8 Ha y 1,0 Ha aplicando el método racional (ver Tabla 21).

Tabla 21. Estimación de Caudales Vs. Periodo de retorno Vs. Áreas de drenaje.

			PERODO DE RETORNO					
			3	5	10	25	50	100
			Intensidad (mm/hr)					
Área (ha)	C	Tc (min)	65,4	70	90	102	145	164
			CAUDALES (m3 / seg)					
0,2	0,65	10	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06
0,4	0,65	10	0,05	0,05	0,07	0,07	0,10	0,12
0,6	0,65	10	0,07	0,08	0,10	0,11	0,16	0,18
0,8	0,65	10	0,09	0,10	0,13	0,15	0,21	0,24
1	0,65	10	0,12	0,13	0,16	0,18	0,26	0,30

6.4. Diseño de Obras Hidráulicas.

Las cunetas son canales colectores que transportan las aguas de escorrentia procedentes de las partes altas de las laderas, esto con el fin de evitar la erosión y la infiltración y/o saturación de los taludes.

Como el sitio de estudio tiene una pendiente bastante inclinada se diseño una cuneta escalonada, con el fin de transportar el caudal desde el nivel superior al mas bajo manteniendo una energía cinética dentro de los limites admisibles, que evitan la erosión y la destrucción de la propia estructura.

Los principales criterios de diseño de las cunetas son los siguientes:

Las frecuencias de las crecientes de diseño para las cunetas se calcularon para un periodo de retorno de 10 años.

Las memorias de cálculo se encuentran en el Anexo IX y el diseño en el plano de detalles POR-PL-05.

7. CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES

En el Anexo VII se presentan el cálculo de las cantidades de obra, los precios unitarios y el presupuesto estimado de las obras propuestas.

Tabla 12. Presupuesto estimado de la alternativa planteada

Descripción	Valor
Subtotal	156.517.751
A.I.U (20%)	31.303.550
TOTAL	**187.821.302**

Adicional al presupuesto de la obra se requieren las siguientes intervenciones para cada una de las alternativas.

En el Anexo VIII se presentan las especificaciones técnicas de construcción.

8. PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo de la alternativa seleccionada es el siguiente:

Como una primera etapa se debe efectuar la reconformación y perfilado de taludes de acuerdo con lo indicado en los planos de diseño; se deben remover del talud, todos los materiales sueltos que puedan ser susceptibles a desprenderse.

Una vez se reconforme el talud se debe proceder de inmediato a la instalación de la capa de mortero de microrisa y biomanto, de acuerdo con los planos de diseño.

Sobre la superficie de talud con biomanto se debe colocar una malla tipo gavión debidamente anclada con barras hincadas de ½ pulgada dentro del cuerpo del talud. En la parte superior se debe contar con un sardinel alto que sirve de anclaje al biomanto.

Paralelamente con la conformación del biomanto se puede acometer la construcción del muro de gaviones del costado sur-oriental; antes de su construcción se debe retirar la capa vegetal. El muro se acometerá de abajo hacia arriba contemplando la colocación de relleno granular seleccionado y geotextil no tejido en el espaldón del muro. El relleno debe quedar compactado al 95% de la densidad seca máxima del ensayo Próctor Estándar en capas sueltas de 20 cm; el relleno debe ser de baja plasticidad IP<6% con un contenido de finos menor o a la sumo del 20%. La curva granulométrica no debe tener sobresaltos.

En algunos niveles transitorio relleno-muro, se debe contemplar la colocación de una malla gavión la cual debe quedar debidamente anclada con el muro. Esta malla tiene como función mejorar la estabilidad del muro por deslizamiento.

Una vez se completen las obras de adecuación de taludes, se debe proceder de inmediato a la conformación de las obras de drenaje y cobertura de pisos proyectadas en la parte alta, detrás de la corona del talud verticalizado.

En el Anexo VII se presenta el cronograma de ejecución y el cuadro de cantidades de obra.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones:

El sector crítico No. 4 corresponde a un talud verticalizado del orden de 12 m de altura altamente susceptible a la erosión; el material aflorante en el talud frontal de la depresión morfológica de El Portal corresponde a un depósito seudoestratificado de origen fluviolacustre.

En la cara expuesta del talud predomina material areno arcilloso con clastos de baja consistencia, alta permeabilidad e intensamente desintegrado, causado por la erosión laminar; el proceso de erosión genera retroceso del frente del talud, lo cual puede ocasionar afectaciones potenciales de las casas que se encuentran en la parte alta del talud. Del talud se desprenden bloques de diversos tamaños por acción de aguas superficiales y/o sub superficiales que debilitan el material y por gravedad caen a la parte inferior del talud.

Los resultados del reconocimiento de campo junto a los ensayos de laboratorio y los análisis efectuados con estos datos, demuestran que el problema de retroceso del talud se debe a procesos erosivos ocasionados por acción de la escorrentia superficial.

La erosión se debe a la deficiencia de un sistema de drenaje superficial y subsuperficial en la zona de estudio, ya que las aguas al no ser captadas y transportadas

correctamente son vertidas a la cara expuesta del talud generando un proceso de erosión.

La evolución de este proceso morfológico puede generar daños inminentes a cinco (5) casas localizadas en la proximidad del talud, y en el largo plazo por lo menos a diez (10) casas más. En la parte baja, existe la probabilidad de daños a dos casas aledañas al talud, por el desprendimiento de bloques.

9.2. Recomendación:

De acuerdo con el estudio realizado, la visita al sitio, los ensayos de laboratorio y los análisis efectuados se presentan a continuación las recomendaciones necesarias para la mitigación del problema que afecta el sector del barrio El Portal II Sector.

- Realizar una limpieza general del talud, con el fin de remover aquellos bloques erosionados que son inestables y que pueden precipitarse a la base del talud en cualquier momento; en las zonas oriental y central del talud, donde se propone perfilar el talud, este debe llevar una pendiente 1.0H 3.0V, y en la parte occidental donde se construirá el muro de gavión se debe simplemente retirar la capa vegetal y los bloques inestables.

- Favorecer toda la superficie del talud de los procesos erosivos por medio de la instalación de Microrisas (semillas en una en una mezcla pegajosa), cubiertas con un biomanto y una malla de gavión, adheridas al talud perfilado por medio de varillas de ½" de diámetro y hincadas una longitud de 1.00m (cuanto mínimo 0.50m por la presencia de bolos), los ganchos estarán espaciados cada 1.50m (ver plano de detalles POR-PL-003); con el propósito de no impedir la permeabilidad natural del macizo rocoso se requiere de la instalación de filtros o lloraderos en tubería PVC del orden de 1.0 metro de profundidad en la cara externa del talud.

- Para impedir el escurrimiento de aguas superficiales se recomienda instalar un sistema de captación y transporte de las aguas en la parte alta del talud, adicionalmente se requiere de la implementación de un sistema de piso tipo adoquín para impedir la filtración de aguas que alimentan los flujos subsuperficiales y/o profundos que existen.

El valor de las obras de mitigación es del orden de 187.821.302 y comprenden lo siguiente:

~ Conformación de la superficie del talud en la zona oriental y occidental, con taludes inclinados 1.0H:3.0V.

- Compra del predio No 1 que se encuentra en la pata del talud.

- Implantación de semillas de (Microrisas), Biomanto y Malla de gallinero en el talud conformado y en la parte oriental donde no se realizó la conformación del talud.

- Construcción de un muro de gaviones con contrafuertes en la pata del talud de 27.5m de longitud de 6 niveles, y uno de 19.5m de longitud y 4 niveles en la parte superior del talud.

- Conformación del talud con relleno seleccionado, entre los muros de gavión y el talud natural.

- Zonas peatonales por medio de adoquín la parte alta del talud y vías que llegan a el.

- Manejo de aguas lluvias y negras con la construcción de tres sumideros, pozos y tubería.

Las conclusiones y recomendaciones realizadas en el presente informe se basan en los resultados de los trabajos de investigación del subsuelo realizados por el Consorcio durante la elaboración de los trabajos; si durante la construcción de las obras se llegaren a presentar condiciones del subsuelo diferentes a las típicas planteadas en el presente trabajo, se deberá dar aviso al Consorcio para llevar a cabo las aclaraciones o ampliaciones del caso.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA DE BOGOTÁ FOPAE

ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EN SITIOS DE RIESGO INMINENTE POR REMOCIÓN EN MASA EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTAFÉ, SAN CRISTÓBAL Y RAFAEL URIBE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

Contrato de Consultoría No. 453 de 2005

CONSORCIO PI - LAMBDA
Informe Sitio No. 5
BARRIO EL PORTAL II SECTOR
Trabajo No. 191 - 06

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN: 5
1.1. Generalidades: 5
1.2. Descripción del problema: 5
1.2.1. Diagnóstico Preliminar: 6
1.2.2. Situación actual: 6
1.3. Diagnóstico de amenaza y riesgo por fenómenos de remosión en masa (situación actual): 8
1.3.1. Evaluación cualitativa de la amenaza: 9
1.3.2. Evaluación de la vulnerabilidad: 9
1.3.3. Determinación del riesgo: 10

2. TOPOGRAFÍA: 11
2.1. Generalidades: 11
2.2. Descripción de actividades: 11

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO: 13
3.1. Exploración del subsuelo: 13
3.2. Ensayos de laboratorio: 13

4. GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA: 13
4.1. Geología local: 14
4.2. Morfología: 16

5. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS 18
5.1. Características geotécnicas del subsuelo 18
5.2. Análisis de Estabilidad: 20
5.2.1. Generalidades: 20
5.2.2. Análisis de estabilidad general de la situación actual: 21
5.2.2.1. Secciones de análisis: 21
5.2.2.2. Factores de seguridad: 22
5.2.3. Condiciones de estabilidad general con obras de mitigación de erosión: 22
5.3. Pérdida de suelos por erosión pluvial: 24
5.3.1. Conceptos generales: 24
5.3.2. Método de estudio: 25
5.3.3. Revisión de información básica: 26
5.3.4. Base teórica: 26
5.3.5. Análisis de resultados: 29
5.3.6. Pérdida de suelos 31
5.4. Diseños de obras propuestas: 33
5.4.1. Diseño de muro de Gaviones: 33
5.4.1.1. Análisis de estabilidad por volcamiento y deslizamiento 33
5.4.1.2. Análisis por capacidad portante: 33

6. HIDROLOGIA E HIDRAULICA 34
6.1. Generalidades 34
6.2. Precipitación: 35
6.2.1. Precipitación totales mensuales: 35
6.2.2. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) 38
6.2.3. Lluvia crítica: 39
6.3. Caudales máximos por escorrentía 42
6.3.1. Metodología 42
6.3.2. Determinación de áreas de drenaje 42
6.3.3. Coeficiente de escorrentía 42
6.3.4. Tiempo de concentración 42
6.3.5. Intensidad 42
6.4. Diseño de Obras Hidráulicas 42

7. CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y ESPECIFICACIONES 42

8. PROCESO CONSTRUCTIVO 42

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42
9.1. Conclusiones: 42
9.2. Recomendación: 42

ANEXOS

Anexo I.	Topografía.
Anexo II.	Exploración del subsuelo.
Anexo III.	Ensayos de laboratorio.
Anexo IV.	Análisis de estabilidad actual.
Anexo V.	Analisis de Estabilidad con obras
Anexo VI.	Muro de gaviones
Anexo VII.	Cantidades de obra y presupuestos.
Anexo VIII.	Especificaciones de construcción.
Anexo IX	Cunetas
Anexo X	Inventario de Viviendas
Anexo XI.	Parámetros Geotecnicos.

PLANOS

POR-PL-01	Levantamiento topográfico y exploración del subsuelo.
POR-PL-02	Geología y secciones estratigraficas.
POR-PL-03	Plano de obras
POR-PL-04	Detalles de construcción
POR-PL-05	Obras Hidraulicas.

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Talud verticalizado de 8m de altura, desprovisto de vegetación, se ven recientes desprendimientos en la parte baja del talud.....7
Fotografía 2. La berma peatonal existente entre las casas y la corona del talud, se viene reduciendo a causa de los desprendimientos. 7
Fotografía 3. Construcciones existentes en la parte alta del talud, las aguas provenientes de la parte alta de la calle son vertidas directamente al talud erosionándolo. Adicionalmente las viviendas a los costados de la calle vierten allí sus aguas residuales. 8
Fotografía 4. Además de los pequeños bloques que se han desprendido en diferentes puntos del talud, esta gran masa, ya esta bastante alterada y a punto del colapso.....9
Fotografía 5. Suelos sedimentarios que conforman un alto talud escarpado. 14
Fotografía 6. Los espesores de los estratos varían a lo largo del escarpe.....15
Fotografía 7. Características granulométricas, fracturamiento y susceptibilidad a los procesos erosivos de socavación del depósito lacustre. 16
Fotografía 8. En la parte alta, pendiente verticalizada; en la parte baja la pendiente es fuertemente inclinada y conformada por acción de depósitos recientes. 17

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorización de la amenaza cualitativa 9
Tabla 2. Matriz de aceptabilidad del riesgo 10
Tabla 3. Mojones materializados en campo 12
Tabla 4. Listado de coordenadas de los puntos de amarre 12
Tabla 5. Parámetros de resistencia al corte adoptados para los análisis 21
Tabla 6. Sección 3-3 Situación Actual. 22
Tabla 7. Sección 4-4 Situación Actual. 22
Tabla 8. Sección 6-6 Situación Actual. 22
Tabla 9. Sección 3-3 Situación Talud Perfilado. 23
Tabla 10. Sección 4-4 Situación Talud Perfilado. 24
Tabla 11. Sección 6-6 Situación Obra de Conformación. 24
Tabla 12: Modos de acción de la lluvia sobre el terreno. 25
Tabla 13: Calificación de la erodabilidad de los suelos. 27
Tabla 14: Clasificación de la Infiltración básica de los suelos. 28
Tabla 15. Distribución granulométrica de los materiales. 30
Tabla 16. Valor del factor K, erodabilidad. 30
Tabla 17. Resultados totales de los factores de la EUPS. 31
Tabla 18. Clasificación de la pérdida de suelo 32
Tabla 19 : Valores de intensidad (mm/hora) para lluvias de diferente duración y ce diversos periodos de retorno. 38
Tabla 20. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998). 39
Tabla 21. Estimación de Caudales Vs. Periodo de retorno Vs. Áreas de drenaje. 42
Tabla 12. Presupuesto estimado de la alternativa planteada 42