

# ESTUDIOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA EL DESARROLLO DEL API POBLADO COUNTRY CLUB EJECUTIVOS MEDELLÍN



EGEA ingeniería S.A.S  
Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Cel.: 310 895 30 30 - 300 678 20 26  
[www.egeaingenieria.com](http://www.egeaingenieria.com)

Medellín, Mayo de 2015

## CONSULTORÍA

### EQUIPO DE TRABAJO

#### **ELIZABETH MEJÍA ÁLVAREZ**

Ingeniera Geóloga, M.P: 510 del CPG  
Esp.: Gestión Ambiental

#### **ERIC SÁNCHEZ**

Ingeniero Civil, T.P: 05202123292 (Ant.)  
M.I. Geotecnia (c)  
Esp.: Mecánica de Suelos y Cimentaciones  
Esp.: Ingeniería de recursos Hidráulicos

#### **LEIDY GAVIRIA MONTES.**

Ingeniera Geóloga: Último Semestre  
Auxiliar de Ingeniería



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: [elizabethmejiaa@gmail.com](mailto:elizabethmejiaa@gmail.com) [ingo.ericssanchez@gmail.com](mailto:ingo.ericssanchez@gmail.com)



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1 GENERALIDADES .....	2
1.1 METODOLOGÍA .....	2
1.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS (UMI: UNIDAD MORFODINÁMICA INDEPENDIENTE).....	4
2 ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	9
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL .....	9
2.1.1 Anfibolitas de Medellín (PRaM).....	9
2.1.2 Stock gabrónico de San Diego (KgSD) .....	11
2.1.3 Depósitos de Vertiente (FI, FII, FIII, FIV y Fprel).....	12
2.1.4 Depósitos Aluviales (Qal).....	12
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	13
2.2.1 Gneis .....	13
2.2.2 Gabro .....	14
2.2.3 Depósitos antrópicos (QII) .....	14
2.2.4 Depósito de vertiente tipo flujo de lodo y/o escombros maduro (Qdv) .....	15
2.2.5 Depósitos Aluviales (Qal) .....	16
2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	16
2.3.1 GEOMORFOLOGÍA .....	16
2.3.2 MORFOMETRÍA.....	18
2.3.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS .....	20
2.3.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	26
2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	30
3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS .....	32
3.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE CAMPO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	32
3.1.1 Parámetros Geotécnicos.....	37
3.2 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO .....	40
3.2.1 Consideraciones climáticas y de nivel freático .....	41
3.3 CONSIDERACIONES SÍSMICAS.....	43
4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y LADERAS .....	46
5 ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD DEL USO DEL SUELO .....	52
6 REFERENCIAS .....	64
ANEXO I REGISTROS DE PERFORACIONES Y APIQUES Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO .....	66
ANEXO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS ENSAYO DE DISPERSIÓN DE ONDAS SUPERFICIALES REMI (REFRACTION MICROTREMOR).....	75



---

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEO-MECÁNICOS. ....	76
ANEXO III PLANOS .....	79
ANEXO IV MEMORIAS EN FORMATO DIGITAL.....	80



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: [elizabethmejiaa@gmail.com](mailto:elizabethmejiaa@gmail.com) [ingo.ericssanchez@gmail.com](mailto:ingo.ericssanchez@gmail.com)





## LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 LIMITES CLUB .....	5
ILUSTRACIÓN 2 LOCALIZACIÓN LOTE DE ESTUDIO Y DE LA UMI .....	6
ILUSTRACIÓN 3 LIMITE COSTADO NORTE DEL LOTE. VÍA DOBLE CALZADA LAS PALMAS .....	7
ILUSTRACIÓN 4 LIMITE COSTADO OCCIDENTAL.....	8
ILUSTRACIÓN 5 LIMITE COSTADO SUR, LINDERO DEL CLUB Y ZONA VERDE LOTE CEDIDO AL MUNICIPIO.....	8
ILUSTRACIÓN 6 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	9
ILUSTRACIÓN 7 MARCO GEOLÓGICO LOCAL.....	14
ILUSTRACIÓN 8 ASPECTO DEL DEPÓSITO DE VERTIENTE SENDERO COSTADO NORORIENTAL ACCESO A CANCHAS.....	15
ILUSTRACIÓN 9 ASPECTO DE LOS MATERIALES ALUVIALES QUEBRADA LA LOMA .....	16
ILUSTRACIÓN 10 MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL .....	17
ILUSTRACIÓN 11 MARCO GEOMORFOLÓGICO LOCAL .....	18
ILUSTRACIÓN 12 MAPAS DE ELEVACIÓN DIGITAL Y MORFOMÉTRICO UMI.....	19
ILUSTRACIÓN 13 MAPA MORFOMÉTRICO LOTE DEL CLUB .....	20
ILUSTRACIÓN 14 PROCESOS DE DESLIZAMIENTO COSTADO NORORIENTAL DEL CLUB .....	21
ILUSTRACIÓN 15 PROCESO DE INFILTRACIÓN EN JUNTA DE CANAL .....	22
ILUSTRACIÓN 16 ESTRECHAMIENTO DE CAUCE EN CAMBIO DESPUÉS DE SECCIÓN EN CANAL .....	23
ILUSTRACIÓN 17 LOCALIZACIÓN INESTABILIDAD TORRE CONTINENTAL AÑO 2011 .....	25
ILUSTRACIÓN 18 MAPA DE PROCESOS EN LOS ALREDEDORES Y EN LA ZONA UMI .....	26
ILUSTRACIÓN 19 FOTO AÉREAS DEL VUELO C889 DEL AÑO 1959.....	27
ILUSTRACIÓN 20 IMAGEN CARTOGRAFÍA DEL AÑO 1961 .....	28
ILUSTRACIÓN 21 IMAGEN CARTOGRAFÍA DEL AÑO 1970 .....	28
ILUSTRACIÓN 22 FOTO AÉREA, VUELO AÑO 1998 .....	29
ILUSTRACIÓN 23 IMAGEN SATELITAL AÑO 2005. TOMADO GOOGLE EARTH .....	29
ILUSTRACIÓN 24 IMAGEN SATELITAL AÑO 2012. TOMADO GOOGLE EARTH .....	30
ILUSTRACIÓN 25 LOCALIZACIÓN EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA .....	33
ILUSTRACIÓN 26 UBICACIÓN DE LÍNEAS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA .....	34
ILUSTRACIÓN 27 UBICACIÓN LÍNEA 1 DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA AL INTERIOR DEL LOTE LPS-1.....	35



ILUSTRACIÓN 28 CURVA DE DISPERSIÓN.....	38
ILUSTRACIÓN 29 PERFIL DE VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE 1D LÍNEA GEOFÍSICA LS-1 .....	39
ILUSTRACIÓN 30 REGÍMENES DE PRECIPITACIÓN INTERANUAL EN COLOMBIA.....	42
ILUSTRACIÓN 31 FENÓMENOS CLIMÁTICOS INTERTROPICALES NIÑO Y NIÑA .....	42
ILUSTRACIÓN 32 AMENAZA SÍSMICA A NIVEL REGIONAL PARA PGA Y PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 475 AÑOS ...	44
ILUSTRACIÓN 33 ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN DE SECCIONES PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS.....	48
ILUSTRACIÓN 34 MODELO GEOTÉCNICO ESTABLECIDO PERFIL 1 CONDICIONES ACTUALES .....	48
ILUSTRACIÓN 35 MODELO GEOTÉCNICO ESTABLECIDO PERFIL 16 CONDICIONES ACTUALES.....	49
ILUSTRACIÓN 36 PERFIL 1 EN CONDICIONES ACTUALES Y DINÁMICAS .....	49
ILUSTRACIÓN 37 PERFIL 16 EN CONDICIONES ACTUALES Y DINÁMICAS .....	50
ILUSTRACIÓN 38 PERFIL 1 MODIFICADO (ZONA DE LLENO PARA PARQUEADEROS) EN CONDICIONES DINÁMICAS.....	50
ILUSTRACIÓN 39 AMENAZA POR DESLIZAMIENTO .....	52
ILUSTRACIÓN 40 CONSTRUCCIÓN MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PRELIMINAR .....	53
ILUSTRACIÓN 41 MAPA DE ZONAS HOMOGÉNEAS.....	55
ILUSTRACIÓN 42 MAPA DE ZONIFICACIÓN CUALITATIVA PRELIMINAR .....	58
ILUSTRACIÓN 43 MAPA DE RETIROS .....	60
ILUSTRACIÓN 44 MAPA DE ZONIFICACIÓN CUANTITATIVA .....	62
ILUSTRACIÓN 45 MAPA DE ZONIFICACIÓN DEFINITIVA .....	63
ILUSTRACIÓN 46 MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS VS DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN .....	75
ILUSTRACIÓN 47 VARIACIÓN CONCEPTUAL DEL MÓDULO DE RIGIDEZ CON RESPECTO AL NIVEL DE DEFORMACIONES BAJO CARGAS MONOTÓNICAS ESTÁNDAR RELACIONADOS CON ENSAYOS IN SITU.....	77



## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 RANGO DE PENDIENTES.....	19
TABLA 2. PROFUNDIDAD DE SONDEOS EXPLORATORIOS .....	36
TABLA 3. RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO. ....	36
TABLA 4 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS – LÍNEA 1.....	39
TABLA 5 CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DE LOS SUELOS, NEHRP 2003 .....	40
TABLA 6 CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO SEGÚN TABLA A.24-1 NSR-10 .....	40
TABLA 7 PARÁMETROS GEO MECÁNICOS UTILIZADOS .....	41
TABLA 8 FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES ESTÁTICAS .....	46
TABLA 9 FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS.....	46
TABLA 10 FACTORES DE SEGURIDAD BÁSICOS MÍNIMOS DIRECTOS .....	47
TABLA 11 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS QUE AFLORAN EN EL LOTE.....	54
TABLA 12 TABLA DE ATRIBUTOS PARA ZONAS HOMOGÉNEAS.....	54
TABLA 13. CALIFICACIÓN DE LA MORFODINÁMICA.....	57
TABLA 14 HOMOLOGACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA .....	59
TABLA 15 MÓDULOS ELÁSTICOS QUE DEFINEN LAS RELACIONES LINEALES ENTRE CADA TIPO DE ESFUERZO Y SU DEFORMACIÓN RESULTANTE. ....	76
TABLA 16 CORRELACIONES ENTRE N Y VS.....	78



## INTRODUCCIÓN

Por solicitud de la arquitecta **Catalina Escobar** de la empresa **Consultoría Territorial**, quien se encuentra adelantando el contrato para el desarrollo de la API del **Country Club Ejecutivos** Medellín y del Ingeniero **José Darío Vasco García** Coordinador de mantenimiento del Club, dada la necesidad que tiene el Country Club Ejecutivos de mejorar la funcionalidad y operatividad de su planta física, que requiere de la ampliación y/o construcción de instalaciones o áreas adicionales a las existentes; se contrato a la firma de ingenieros **EGEA INGENIERÍA S.A.S**, para ejecutar como complemento al API, el contrato de consultoría “**Estudios Geológicos-Geotécnicos Para El Desarrollo del API Country Club Ejecutivos Medellín**” según contrato de prestación de servicios 2015-007.

En el presente documento se presentan las descripciones detalladas de las investigaciones de campo y análisis de oficina, necesarias para la determinación de las características litológicas, geomorfológicas, morfométricas, morfodinámicas y geotécnicas del polígono en estudio y como resultado final de la superposición de esta información, se presenta la zonificación para la aptitud del uso del suelo, en la zona del polígono.

El estudio parte de la revisión de información de los estudios geotécnicos ejecutados para la construcción del Country Club Ejecutivos, de revisiones posteriores realizadas por la empresa Solingral, del complemento en este estudio, mediante la ejecución de un ensayo geofísico en la zona a ampliar y de la revisión y observación visual del estado de las instalaciones desde el punto de vista geológico y de estabilidad de su infraestructura y terreno.

Como producto del estudio, este define la aptitud del uso del suelo con metodologías apropiadas. El estudio incluye la elaboración de los planos temáticos de los componentes geológico y geotécnico; para lo cual se retoma, actualiza y mejora la información existente y se presenta a una escala de 1:2000.

En el informe se presentan y discuten los resultados obtenidos y se dan las conclusiones y recomendaciones pertinentes para la zonificación determinada.





## 1 GENERALIDADES

### 1.1 METODOLOGÍA

En el desarrollo del proyecto se siguieron las siguientes actividades:

- **Visita de reconocimiento**
  - Se realizó la vista de reconocimiento para tener una idea preliminar de las problemáticas que afectan el predio del Country Club Ejecutivos y sus alrededores.
- **Revisión de información secundaria**

Se realizó la recopilación, revisión y análisis de la información secundaria de tipo bibliográfica, cartográfica y aerofotográfica; en particular la relacionada con estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos; realizados en el Country Club Ejecutivos y sus alrededores. Entre los cuales se resaltan los siguientes:

- **Planes de ordenamiento territorial municipio de Medellín: Acuerdos 46 de 2006 y 48 de 2014.** Es el instrumento básico del municipio para orientar y administrar el desarrollo físico de su territorio y la utilización del suelo. Este plan es de gran importancia por las decisiones en términos de la clasificación del suelo y del uso del mismo; que adicionalmente contiene información diagnóstica en el componente suelo aplicable al lote, y que es el referente normativo para las acciones a emprender en el lote evaluado.
- **Microzonificación sísmica de Medellín** (Grupo de Sismología de Medellín, 2002) **y de los municipios del Valle de Aburrá.** (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007). Estos informes presentan la caracterización geológica escala 1:10 000 de las formaciones geológicas que afloran en Medellín y el Valle de Aburrá; en él, se realiza una descripción de las principales estructuras tectónicas que lo afectan. Igualmente sirve como base para la caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica regional.
- **Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo generado por Movimientos en Masa, Inundaciones y Avenidas Torrenciales.** (Facultades de Arquitectura y Minas-Universidad Nacional de Colombia, 2007), realizado para el Municipio de Medellín y demás municipios del Valle de Aburrá, por la Universidad Nacional de Colombia, define zonas de riesgo por movimientos en masa e inundación.
- **Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10** (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2010). El 7 de junio de 1984 se expidió por medio del Decreto 1400 de 1984 la primera normativa colombiana de construcciones sismo resistentes. Dado que se trataba de un decreto de facultades extraordinarias autorizado por la Ley 11 de 1983, su actualización tecnológica no era posible sin una nueva ley que la autorizara. En diciembre de 2010 se presenta la actualización de esta norma (NSR-10) que es la encargada de reglamentar las condiciones con las que se deben diseñar y construir las edificaciones en el territorio colombiano, con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable. Entre otras da los lineamientos básicos y mínimos que deben seguirse



para la exploración geotécnica y diseños estructurales de edificaciones, determina los sismos de diseños y las zonas de amenaza sísmica en el país.

Se realizó la recopilación, revisión y análisis de la información secundaria bibliográfica, cartográfica y aerofotográfica, en particular la relacionada con estudios geológicos y geomorfológicos realizados en la zona del club y sus alrededores.

La cartografía utilizada fueron las planchas SIGMA 228 y 235, y las fotografías consultadas fueron ortofotos del año 2004, fotos aéreas del año 1998; además de la información satelital de la página Google Earth.

- **Trabajo de campo**

El trabajo de campo permitió verificar la información secundaria recopilada y obtener información primaria en lo referente a las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de la zona de estudio, además de realizar la descripción de afloramientos y la identificación de los procesos morfodinámicos tales como: erosión superficial, deslizamientos, socavación, entre otros.

A partir de esta información se elaboraron mapas temáticos en los cuales se consignó la información obtenida en las etapas anteriores; los mapas que se elaboraron fueron:

- Mapa geológico.
- Mapa morfométrico o de pendientes.
- Mapa geomorfológico.
- Mapa de procesos morfodinámicos.

Siguiendo los “LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS, HIDRÁULICOS Y GEOTÉCNICOS” (Acuerdo Metropolitano 009 de 2012 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para la realización de trabajo y la zonificación del predio para la aptitud geológica del suelo, se definió una Unidad de estudio definida como Unidad Morfodinámica Independiente (UMI), donde se localiza el predio del club.

El Mapa de zonificación geotécnica, se realizó a partir de los mapas temáticos y teniendo en cuenta las observaciones realizadas durante los recorridos de campo y con la ayuda de métodos de álgebra de mapas, se delimitaron las zonas de acuerdo a rangos de pendientes predeterminados en el acuerdo metropolitano 009 de 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012). en donde se establecen las siguiente categorías.

**Zonas Aptas (A):** Corresponden a aquellas zonas suaves que presentan alto grado de estabilidad natural, no se aprecian procesos morfodinámicos activos o inactivos. La estabilidad global está condicionada al tipo de intervención y a su manejo.



**Zonas Aptas con Restricciones Moderadas (ARM):** Corresponden a aquellas zonas con buen grado de estabilidad natural; sin embargo, están condicionadas por la incidencia de procesos morfodinámicos activos en las inmediaciones. La estabilidad global dependerá del manejo de los procesos morfodinámicos. Se considera que las obras de estabilización son técnica y económicamente viables.

**Zonas Aptas con Restricciones Altas (ARA):** Zonas dentro del predio de interés con mayor pendiente, donde se evidencia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos. La estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a dichos procesos. El estudio debe evaluar la viabilidad técnica y económica de las obras de estabilización.

**Zonas No Aptas (NA-I ó NA-N):** Son aquellas con evidente inestabilidad por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos. El estudio considera que las obras de estabilización son técnicamente complejas y de alto costo. Dentro de esta categoría se incluyen también aquellas zonas con restricciones a normativas (retiros, escarpes, reservas naturales, etc.).

- **Informe Final:**

Finalmente se procedió a realizar el informe final el cual comprende la recopilación de la información secundaria y primaria. Acompañado para su mejor comprensión con mapas temáticos, registro fotográfico, tablas y figuras.

## 1.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS (UMI: UNIDAD MORFODINÁMICA INDEPENDIENTE)

El Club Country Ejecutivos está localizado en la Diagonal 28 No. 16 – 129, en el Km 5 vía Las Palmas, costado oriental del municipio de Medellín y hace parte del Área de Preservación de Infraestructura, polígono Z\_5API\_23 conformado por .

Está club está limitado en su costado norte y oriental por la doble calzada Las Palmas, al costado sur con zona verde de la urbanización Villa Lucia, que presenta un área de 9.915,98 m<sup>2</sup>, Ed. Balneare, Villas del Country, Predio particular, Altos de Niza y Santa Bárbara y al costado occidental predio particular (Ilustración 1).

Conforma además el polígono una zona verde catalogada como bien de uso público, que corresponde a la zona de cesión de la urbanización Villa Lucia.





Ilustración 1 Límites Club <sup>1</sup>

En cuanto a la unidad morfodinámica independientes UMI, o unidad de análisis la cual se define como la unidad del territorio que enmarca el lote objeto de desarrollo y que presenta un comportamiento independiente de las unidades adyacentes y en donde se considera que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el exterior no afecta su interior e igualmente, cualquier proceso morfodinámico que se presente en el interior no afecta las unidades adyacentes. Esta unidad (Ilustración 2), se obtuvo principalmente con base en la revisión de la información regional existente para un área de mayor extensión y confrontada con observaciones de campo. Se realizó la revisión de información de carácter bibliográfico, cartográfico y satelital y los temas revisados fueron la hidrología, la geología, la geomorfología, la morfometría, los procesos morfométricos y la geotecnia y los criterios para delimitar la unidad fueron cambios de pendiente, divisorias de cuchillas topográficas, valles fluviales y formación de terrenos planos.

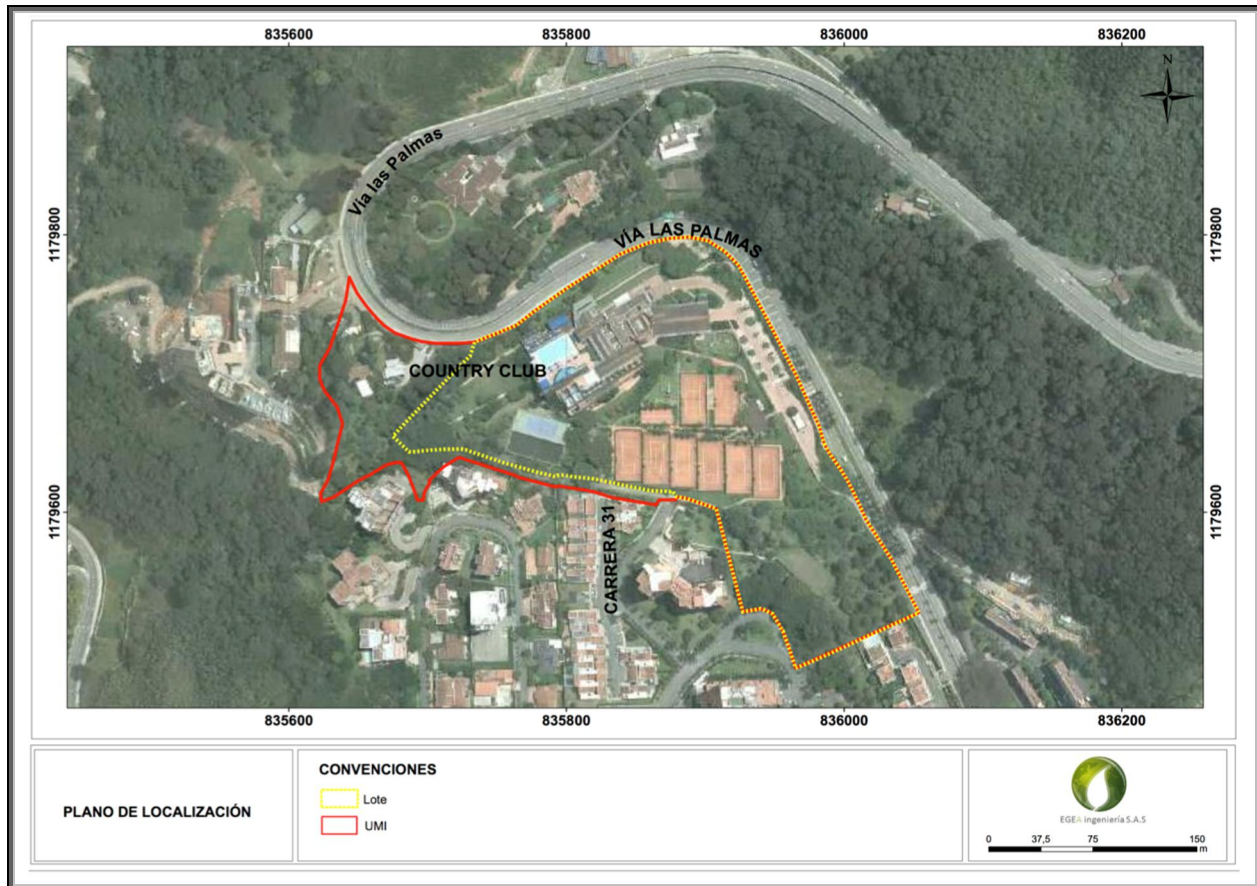
Se determina que el límite norte y oriental de la UMI está definido por la doble calzada, ya que esta vía es suficientemente amplia para contener cualquier movimiento en masa que se presente en ella, además parte de la misma se encuentra cimentada en pilas, lo que le confiere al terreno gran estabilidad.

El límite occidental está dado por una divisoria en donde no se observan, ni han existido procesos de inestabilidad.

<sup>1</sup> Fuente MAPGIS y GOOGLE-MAP







**Ilustración 2 Localización lote de Estudio y de la UMI**

Hacia el límite inferior, costado sur el limite el lindero del club, el cual en esta zona tiene construida una vía, que en la mayoría del trayecto está limitada hacia el costado superior por muros en piedra que confinan las canchas y que no presentan signos de inestabilidad y hacia la parte inferior esta vía en gran parte del recorrido, es confinada en predios particulares por los muros medianeros de las edificaciones que limitan el club; y hacia el costado mas suroccidental se tiene el lindero de la zona verde del predio que cedió la urbanización Villa Lucia, que limita en parte con la carrera 29, sin signos de inestabilidad.

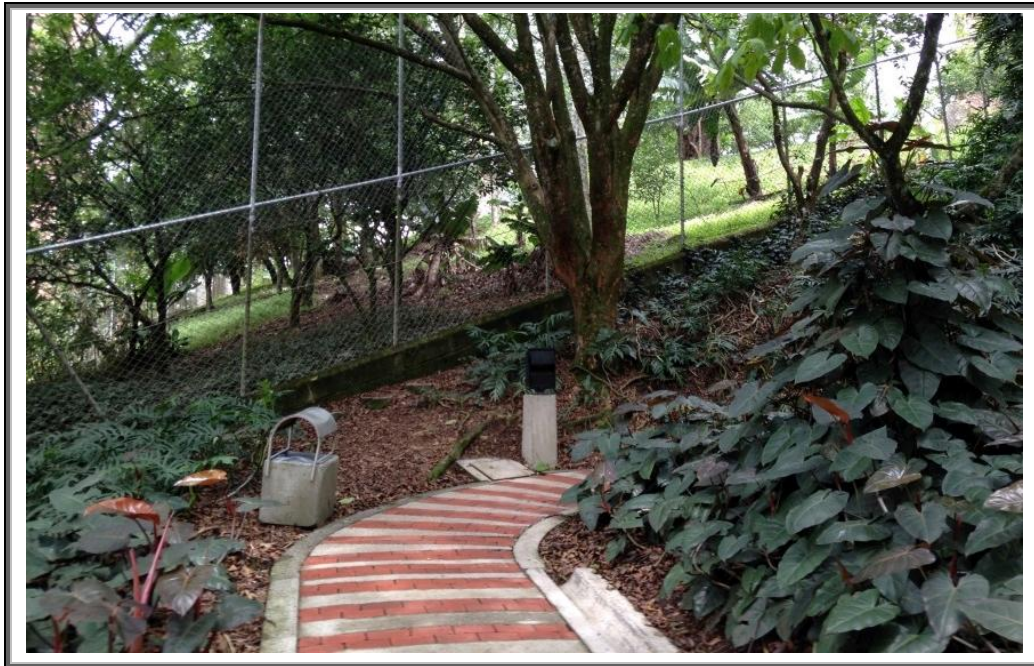




**Ilustración 3** Limite costado norte del lote. vía doble calzada Las Palmas







**Ilustración 4 Limite costado occidental**



**Ilustración 5 Limite costado sur, lindero del club y zona verde lote cedido al municipio.**





## 2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

### 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La vertiente oriental, donde se localiza el polígono en estudio, según el estudio de Microzonificación Sísmica del Valle de Aburrá, se encuentra localizado en un contexto litológico hacia el costado occidental constituido por un basamento de rocas metamórficas (Anfibolitas de Medellín PRaM), y hacia el costado oriental por un basamento ígneo (Stock gabroico de San Diego JgSD), que son suprayacidas por depósitos cuaternarios de tipo vertiente (Flujos de lodos y escombros con diferentes grados de meteorización) y depósitos aluviales (Ilustración 6).

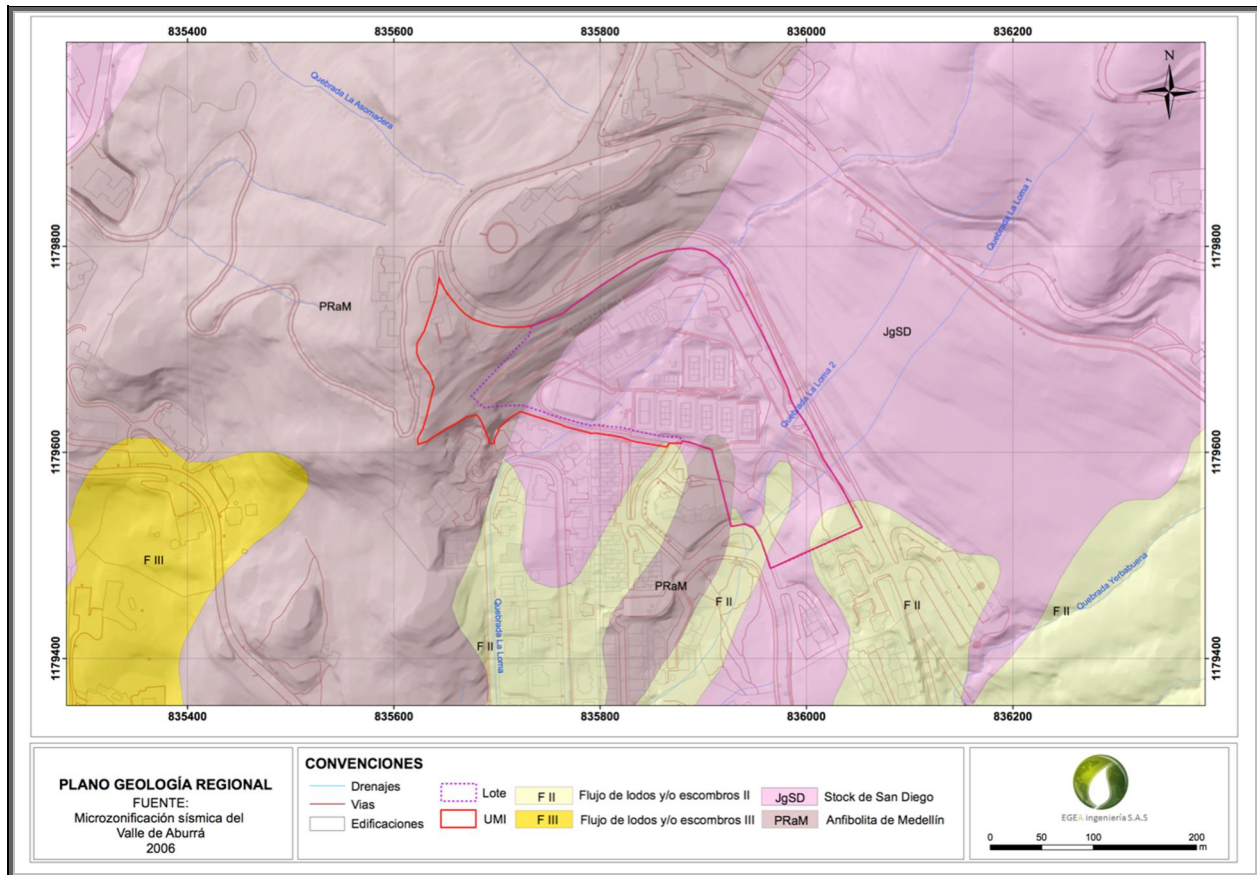


Ilustración 6 Marco geológico regional <sup>2</sup>

#### 2.1.1 Anfibolitas de Medellín (PRaM)

Está unidad perteneciente al Complejo Retiro se encuentra constituida por varios cuerpos de anfibolitas, que en conjunto han sido denominadas Anfibolitas de Medellín

<sup>2</sup> Tomado de (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007)





((INGEOMINAS, 2005), plancha 147). Inicialmente fue definida por (Botero, 1963) como una unidad perteneciente al Grupo Ayurá Montebello y por (Restrepo & Toussaint, 1984) como perteneciente al Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central, de edad paleozoica.

Estas rocas afloran sobre el costado nororiental de la vertiente derecha del río Medellín, y se presentan meteorizadas desarrollando suelos residuales horizontales (IA-IB), de espesor considerable, en general entre los 15 y 25 m, los cuales casi en su totalidad corresponden a material saprolítico de carácter limoso (MH), que en algunos casos varía a arcillo limoso (CL), conservando las texturas y la estructura de la roca parental. Bajo este material se presenta una interfase suelo-roca (IC-IIA), constituida por bloques rocosos en una matriz saprolítica, con un espesor de más de 5 m y que en algunos lugares alcanza a aflorar, fácilmente confundible con el suelo residual de un depósito de vertiente.

Está compuesta casi en su totalidad por hornblenda y plagioclasas con un poco de cuarzo y esfena (Restrepo y Toussaint, 1984), de coloración negra a verde oscura, con manchas blancas, y con una textura foliada entre néisica y esquistosa, algunas veces bandeada por segregación diferencial de feldspatos y hornblendas. Posee grano medio a fino, color gris verdoso moteada de blanco. Está compuesta principalmente por hornblenda y plagioclasa, puede presentar titanita, óxidos de hierro y minerales accesorios como circón, apatito y biotita.

Para el valle de Aburrá, Restrepo y Toussaint, (1984) proponen una única unidad litoestratigráfica para todas las anfibolitas denominadas “Anfibolitas de Medellín”. En el trabajo de MZSVA, se recomienda separar dicha unidad en dos nuevas unidades limitadas por el río, las de la margen izquierda y las de la margen derecha, esta separación está basada en las diferencias texturales, en la posible existencia de una estructura tectónica en el fondo del valle de dirección NNE, en las relaciones con la unidades adyacentes y en la dataciones radiométricas de edad cretácica hechas todas sobre el flanco oriental del valle.

Según (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007), se observan afloramientos específicos de este tipo roca en la parte alta del sector suroriental, comuna de El Poblado, conformando vertientes saprolíticas que en gran proporción están recubiertas por depósitos del tipo flujo, Se pueden observar ejemplos en la transversal superior a la altura del colegio Marymouth, el conjunto residencial La Concha y en cercanías de la finca Yerbabuena; además, en el seminario Carmelitano, Universidad CES y gran parte de la nueva vía El Tesoro, entre la Transversal Superior y Los Balsos. La continuidad de estas rocas bajo los depósitos presentes en la vertiente media baja se comprobó por medio de una perforación realizada en la Universidad EAFIT donde se halló anfibolita a una



profundidad de 12 m. Otros afloramientos de anfibolitas se presentan en algunos tramos de la carretera Las Palmas, a la altura del restaurante Palmitas, cerca al conjunto residencial Alfaro, en inmediaciones del restaurante Asia, en la curva de Kevin's) y en cercanías al acceso de la parcelación Mirador del Poblado en donde su presentación es néisica, correspondiente a una intercalación ya sea estratigráfica o tectónica como las reportadas por (Botero, 1963).

Finalmente se observa anfibolita relativamente fresca hacia la parte alta de la quebrada La Aguacatala cerca de la urbanización Chacaltaya. También se presenta este tipo litológico en cercanías al Seminario Mayor y en el barrio Las Palmas, en los barrios San Diego parte alta y El Hormiguero, así como en forma de franja de dirección N-S, en el sector nororiental de la ciudad, incluyendo el campo de tiro del Batallón Girardot y los barrios Versalles, Manrique, Las Esmeraldas, Camilo Torres, La Francia, Popular I y II y María Auxiliadora, entre otros.

### **2.1.2 Stock gabrónico de San Diego (KgSD)**

Es un cuerpo fue cartografiado al oriente del polígono de estudio. Está constituido por rocas ígneas plutónicas básicas que varían tanto composicionalmente, desde dioritas hasta gabros olivínicos (Restrepo, Toussaint, 1984), como texturalmente pasando de fanerítica fina hasta pegmatítica en la cual los cristales de hornblenda pueden llegar a medir hasta 12 cm. Mineralógicamente se observa andesita cálcica y hornblenda principalmente, además de algún contenido de olivino, orto y clinopiroxenos (Restrepo y Toussaint, 1984).

Como rasgo dominante esta unidad geológica exhibe un avanzado proceso de meteorización, favorecido por las condiciones climáticas y topográficas en las que se encuentra enmarcada. Presenta un desarrollo importante de suelos residuales, los cuales pueden alcanzar hasta 45 m de espesor, como en el área del Seminario Mayor (P-5, del estudio de (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007)). Dichos suelos son predominantemente limo arcillosos (ML) y de tonalidades claras (amarillo y blanco con manchas pardas), variando comúnmente a arenas limosas, éstas últimas se presentan de forma extensa en algunos tramos de la carretera Las Palmas en cercanías al restaurante El Indio, provenientes quizás de una facie más ácida del cuerpo plutónico correspondiente a una granodiorita.

Según el estudio de microzonificación sísmica (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007) sólo se reconocen localmente afloramientos frescos de estas rocas en las zonas del barrio San Diego, frente a las instalaciones de Pintuco S.A. y en el barrio Cataluña, donde exhibe de manera clara y extensa su textura pegmatítica.



El patrón de afloramientos de este plutón es bastante irregular debido a la relación intrusiva que exhibe con las unidades adyacentes. Es así como en varios tramos de la carretera a Las Palmas se observan “paquetes” de rocas metamórficas del tipo neis anfibólico que fueron intruidas por este cuerpo y que forman techos colgados con contactos irregulares e interdigitados, los cuales representan zonas de topografía algo más empinada, como en: el sector de Kevins, en el Mirador de El Poblado, el norte del Seminario Mayor en inmediaciones del cementerio San Lorenzo y el barrio El Hormiguero, además del extremo superior del cerro El Salvador.

Los suelos residuales provenientes de este gneis alcanzan espesores de 20 m y están compuestos en sus primeros metros por una capa limosa de color pardo con vetas grises claras y frecuentes brillos metálicos. Este horizonte está subyacente por limos arenosos (ML) y arenas limosas (SM) de color pardo rojizo, con un alto contenido de micas que les confiere un tacto sedoso y donde es factible observar la textura bandeada de la roca original.

Con las dunitas de Medellín también está en contacto intrusivo, con presencia de algunos diques de carácter básico dentro ésta última.

### **2.1.3 Depósitos de Vertiente (FI, FII, FIII, FIV y FpreI)**

Se encuentran dispersos en la ladera oriental del Valle de Aburra, y sobre ellos se han construido varios barrios. Están conformados por bloques y cantos de diferente tamaño y litología en una matriz areno - limosa de colores pardos, grises y amarillos, con un grado de meteorización alto, predomina la fracción gruesa sobre la fracción fina. En el Oriente del valle la composición predominante de la matriz arcillosa y de los clastos es de anfibolitas y dunitas. Según (Grupo de Sismología de Medellín, 2002) las expresiones morfológicas más relevantes se hallan en la transición ladera - fondo de valle donde forman abanicos con un relieve suavizado característico.

Se clasifican en depósitos de flujos de tierra, de escombros, de lodos, etc., esta clasificación se da dependiendo de su composición, del tipo y grado de meteorización de los fragmentos (FI, FII, FIII, FIV y FpreI).

### **2.1.4 Depósitos Aluviales (Qal)**

Corresponden a los depósitos del fondo del valle generados por el río Medellín y algunos de sus afluentes, tienen forma alargada irregular y de abanicos con variedad en litología, tamaño y espesor que aumenta su extensión hacia el Norte del Valle de Aburrá.

Estos depósitos están constituidos por diversos materiales, que incluyen arcillas, limos, arenas, gravas gruesas y fragmentos rocosos heterogéneos composicionalmente estratificados con continuidad horizontal variable, formando abanicos, terrazas y llanuras



aluviales. Los paquetes de gravas contienen fragmentos redondeados y sub-esféricos de cuarzo, diorita, neis, anfibolita, esquisto, basaltos, dunitas, pórfidos andesíticos y cuarzodioritas, entre otros.

## 2.2 GEOLOGÍA LOCAL

En la zona del club afloran hacia el costado oriental rocas metamórficas de alto grado que corresponde a gneises anfibólicos intercalados ocasionalmente con lentes de anfibolitas de grano medio, intruidos por un cuerpo plutónico que se denomina Stock de San Diego, que correspondiente a un gabro de grano medio a grueso, cubriendo parcialmente estos suelos residuales, se presenta hacia el costado oriental un depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros y también en la zona de trabajo se identificaron llenos antrópicos provenientes de las excavaciones de la vía a Las Palmas y construcciones vecinas.

Para la elaboración del plano de geología local (Ilustración 7) y descripción de las unidades litológicas se retoma la información del estudio de suelos del Club, realizado por Solingral, 1994 y se parte de la información primaria tomada en el trabajo de campo.

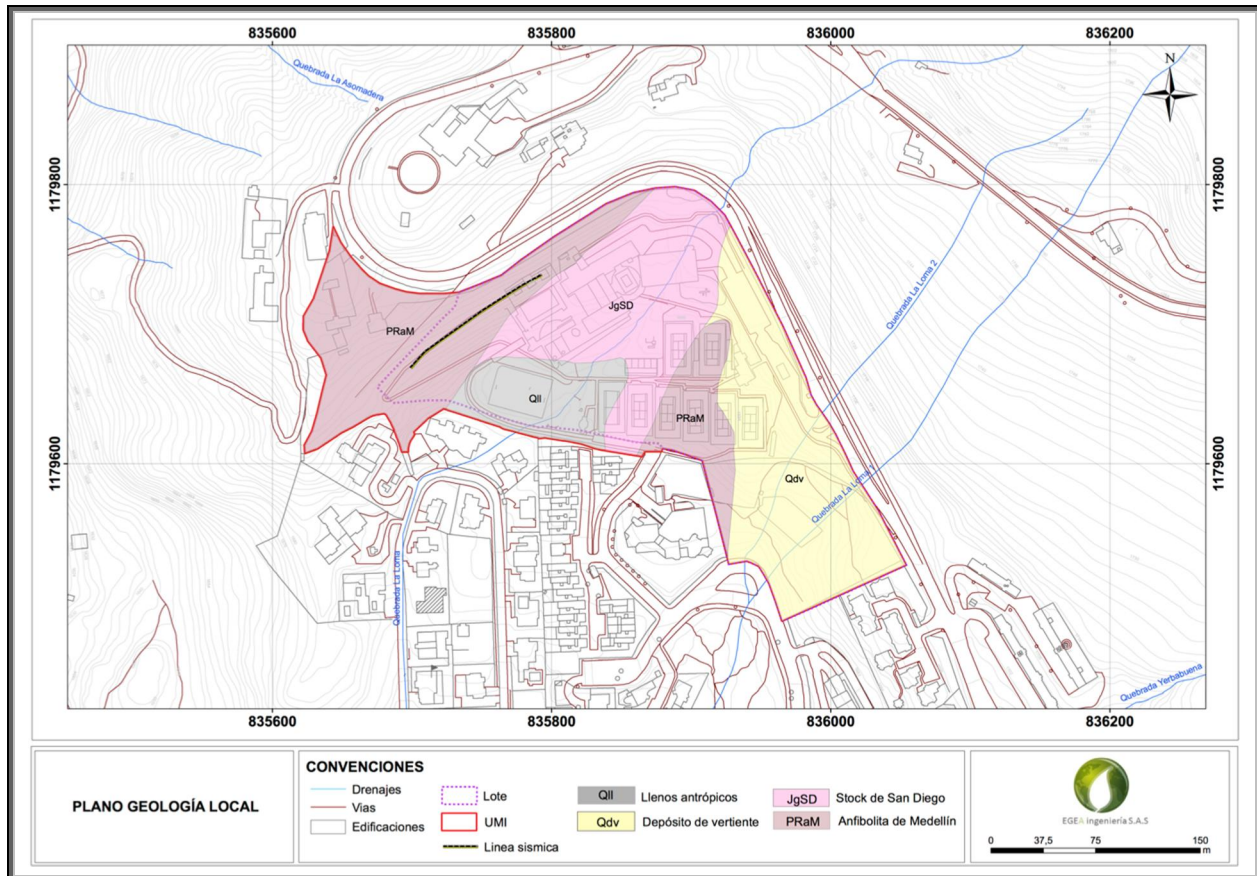
### 2.2.1 Gneis

Se presentan en el costado occidental sureste del lote. Se caracterizan por presentar un perfil de meteorización relativamente profundo, con la transición suelo-roca a profundidades de 10.40 m y 18.65 m, según perforaciones P-1 y P-2 del informe de Solingral, 1994.

El perfil de meteorización en esta zona se caracteriza por la presencia de una capa de limo arcilloso micáceo de color rojizo, y de espesor variable entre 0 y 10 m, que cambia gradualmente a una capa areno-arcillosa de color café con textura de la roca original y espesor variable hasta la interfase suelo-roca.







**Ilustración 7 Marco geológico local**

### 2.2.2 Gabro

Se presentan intruyendo a la roca metamórfica, y en general están constituidos por limos arcillosos de color rojizo a gris verdoso, afloran a partir de los 10 m en la perforación 3, generalmente como saprolito.

### 2.2.3 Depósitos antrópicos (QII)

El estudio de (Solingral S.A.S, 1994) reporta, hacia el área central de lote llenos artificiales de poco espesor, que reposan sobre suelos residuales de las rocas ígneas. Están conformados, en general, por limos arcillosos de color rojizo a café amarillento con algunos fragmentos de roca y escombros de orden decimétrico provenientes de los cortes realizados en los suelos residuales de las mismas rocas en la vía de Las Palmas y en construcciones vecinas. De acuerdo con las exploraciones de campo, se calcula un espesor máximo de 4.00 metros. En algunos sectores estos llenos cubren la capa vegetal original del suelo residual in situ como lo reporta el estudio de Solingral para el apique No.2, AP-2.



Esta zona muestra buenas condiciones geotécnicas a pesar de la presencia del lleno, ya que este último está conformado por un material casi homogéneo constituido por los mismos limos arcillosos del suelo residual de las rocas ígneas.

El nivel freático se reportó en el estudio de (Solingral S.A.S, 1994) entre 3.2 m y 3.0 m en la perforación No. 1, P-1, y a 3.5 m en la perforación No. 2, P-2, pero en la perforación No. 3, P-3 y en los apiques de profundidades hasta 4.0 m no se reportó.

Adicionalmente como producto del desarrollo de la infraestructura del club se han desarrollado varias zonas de llenos en las zonas donde están conformadas las canchas de tenis existen unas pequeñas zonas de lleno pero que no son lo suficientemente significativas para ser caracterizadas a fondo.

#### **2.2.4 Depósito de vertiente tipo flujo de lodo y/o escombros maduro (Qdv)**

Aflorando hacia los costados sur y occidental del polígono, se presenta un depósito de vertiente de tipo flujo de lodo y escombros, homogéneo, que fue reportado en los estudios de suelos y se observa en los taludes de los senderos peatonales del club, y en la zona verde de la urbanización Villa Lucia, el flujo está conformado por bloques de tamaño decimétrico, en estado desde parcial a totalmente meteorizados, con zonas negras por acumulación de manganeso, y con poca condición de entrelazamiento, los cuales están envueltos en una matriz de color pardo amarillento, de características limo arcillosas, con una proporción de bloques a matriz del orden de 60-40% en bloques, (Ilustración 8).



**Ilustración 8** Aspecto del depósito de vertiente sendero costado nororiental acceso a canchas





### 2.2.5 Depósitos Aluviales (Qal)

Asociados a la quebrada La Loma se presentan depósitos aluviales que reposan sobre los depósitos de vertiente y suelos residuales que se pueden ser observadas en las márgenes de la quebrada (Ilustración 9).

Estos depósitos aluviales están conformado por materiales granulares, mezclados con arenas y arcillas con bloques de tamaño decimétrico, con bordes angulosos, en estado fresco, mezclados caóticamente con una matriz de carácter limo arenoso y suelta.



Ilustración 9 Aspecto de los materiales aluviales quebrada la Loma

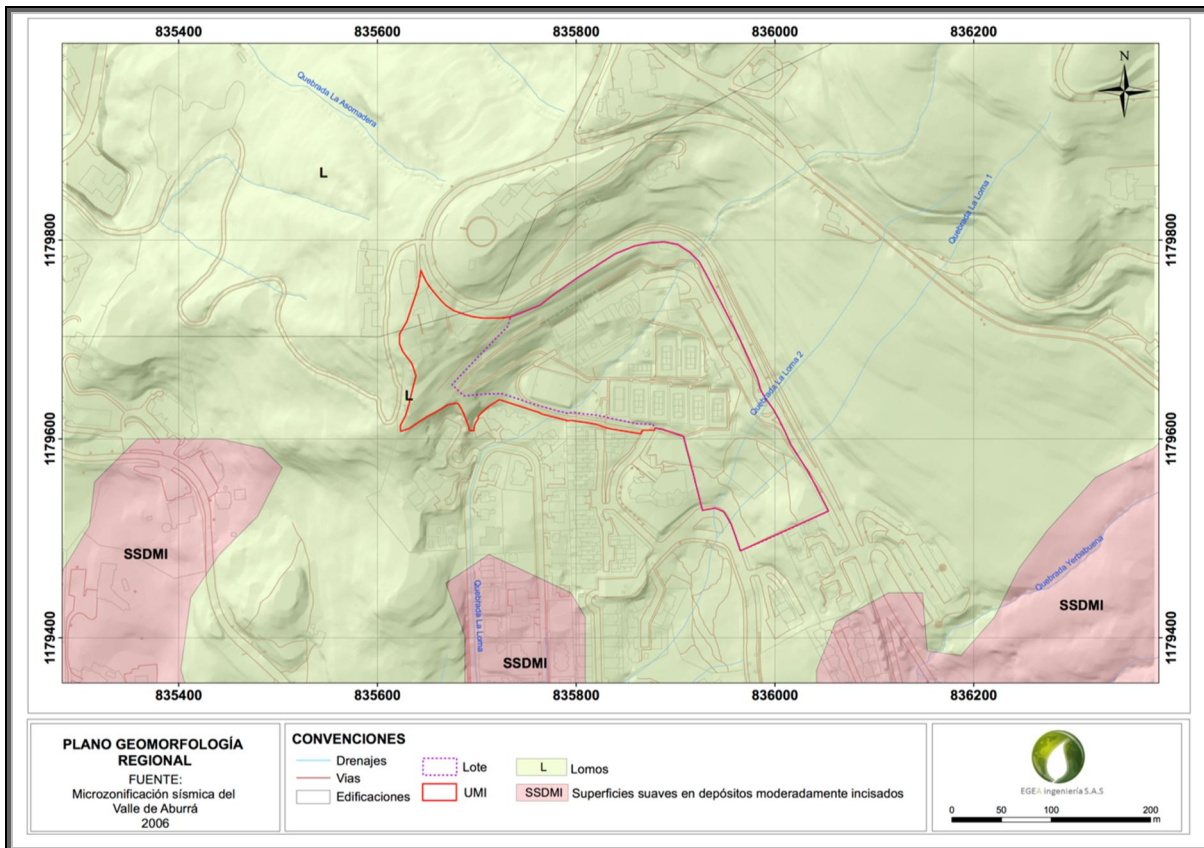
## 2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

### 2.3.1 GEOMORFOLOGÍA

El Country Club, Regionalmente según (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007), se localiza en la vertiente derecha del Valle Medio del Valle de Aburra, en la macrounidad valle medio Bloque Poblado- Envigado en la unidad de Lomos que son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas, de formas alargadas en dirección paralela al drenaje dominante. El lomo o parte superior tiene diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, del tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado, el cual está limitado por rodeado hacia la parte inferior de la ladera, y rodeado por fuera del polígono y hacia la parte baja del mismo de la unidad de Superficies suaves en depósitos moderadamente



incisados, las cuales son superficies de poca inclinación que se presentan en las partes más bajas del Valle y cuya superficie es el resultado de la acumulación de materiales generados en las vertientes y que no alcanzaron a ser removilizados por las corrientes, en estas superficies se localizan los barrios de la zona de El Poblado. La Ilustración 10, presenta la distribución espacial de estas unidades.



**Ilustración 10 Marco geomorfológico regional<sup>3</sup>**

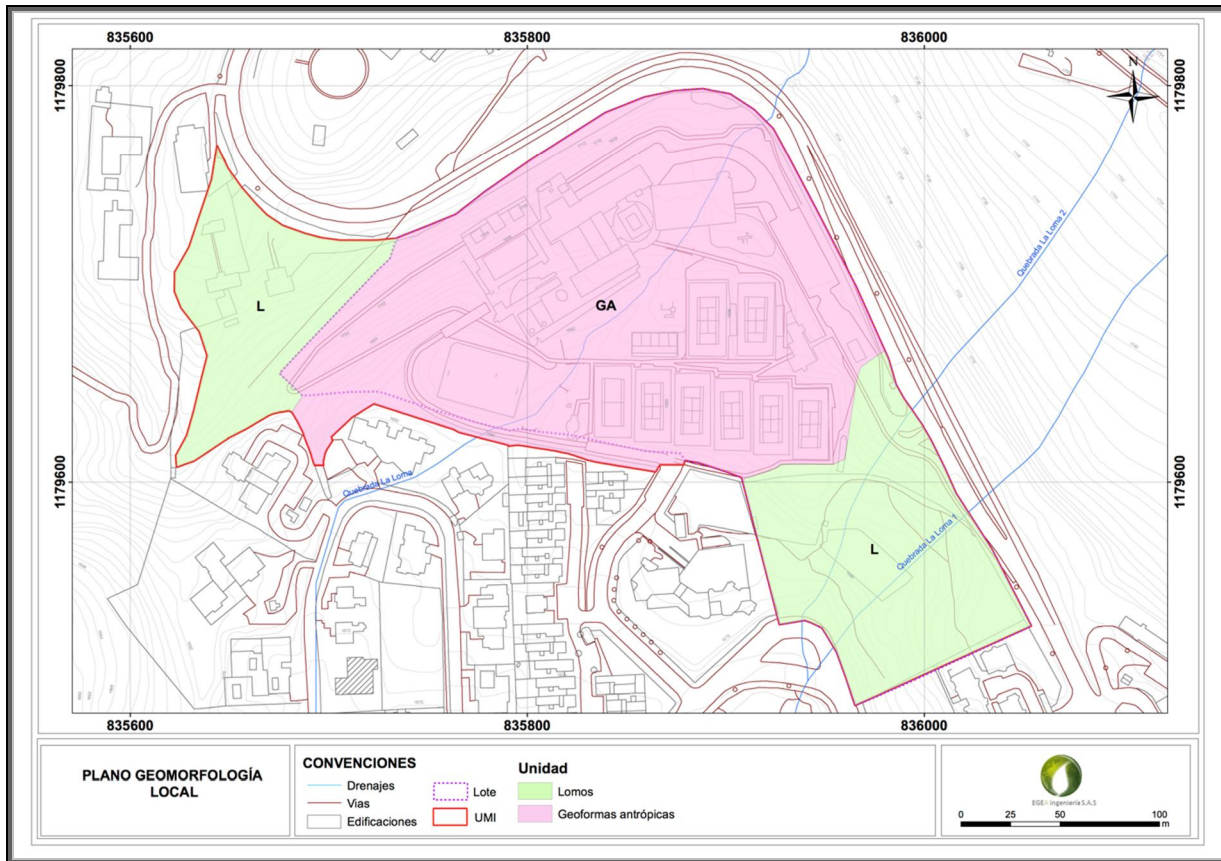
Localmente en la zona del predio del Club, se tiene una geomorfología dada por territorios artificializados que limitan en la zona del polígono zonas de lomos, con coberturas en pastos.

La siguiente ilustración presenta la distribución espacial de estas unidades.

<sup>3</sup> Tomado de (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007)







**Ilustración 11 Marco geomorfológico local**

### 2.3.2 MORFOMETRÍA

La Ilustración 12, corresponde al plano de pendientes de la UMI y a la representación gráfica de las pendientes obtenida de la base cartográfica de las planchas SIGMA y la Ilustración 13, corresponde al plano de pendientes del predio y que corresponde a la representación gráfica de las pendientes obtenida de la base cartográfica del levantamiento topográfico del lote, realizado por (Solingral S.A.S, 1994) cuando ejecutó el estudio.

Para la realización del mapa de pendientes, se utilizaron los siguientes de pendientes que se presentan en la Tabla 1.

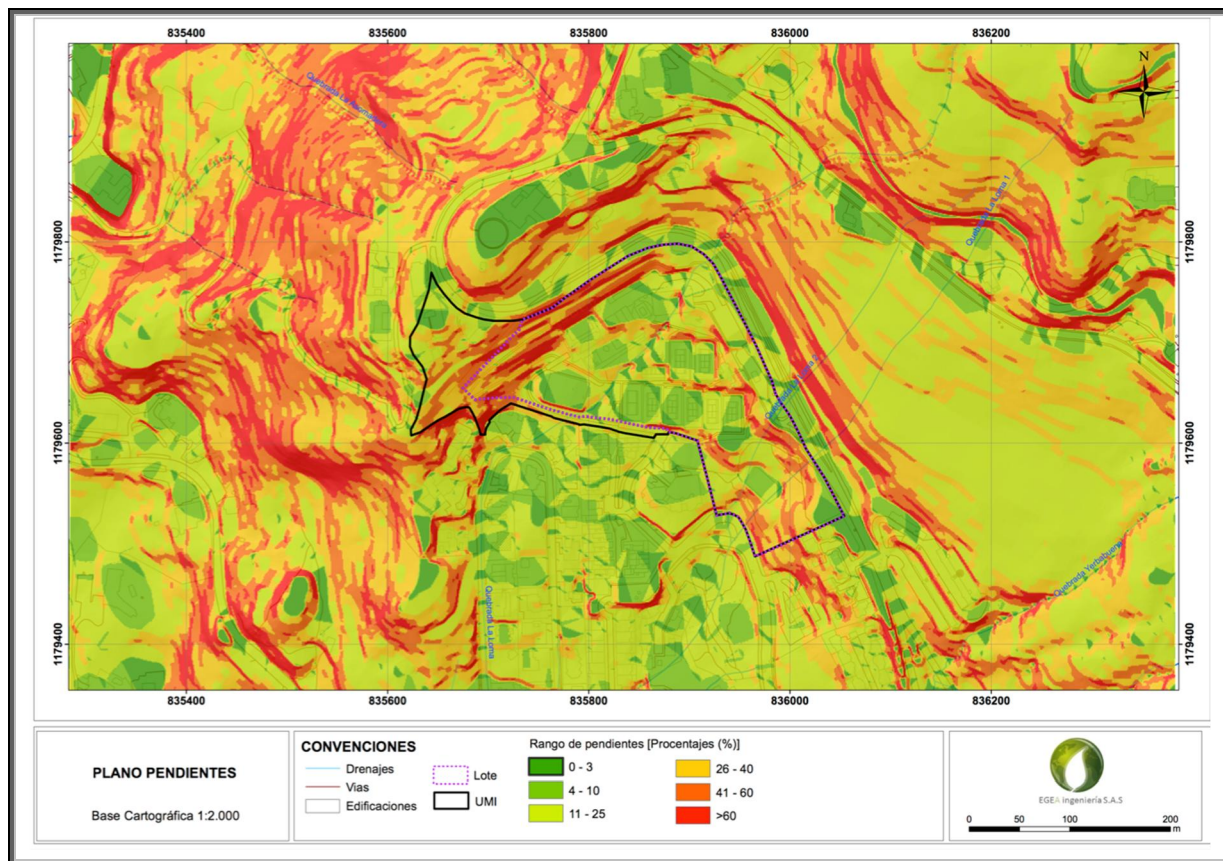


**Tabla 1 RANGO DE PENDIENTES**

RANGO PENDIENTES	TIPO
0 – 3%	Corresponde al rango de pendientes casi planas
3 - 10%	Corresponde al rango de pendientes muy suaves
10 - 25%	Corresponde al rango de pendientes suaves
25 – 40%	Corresponden al rango de pendientes moderadas
40 – 60%	Corresponden al rango de pendientes fuertes
> 60%	Corresponden a zonas de pendientes muy fuertes

En forma regional, el plano de morfometría presenta zonas de mayor pendiente al costado occidental y de menores pendientes a los costados oriental y sur de manera específica el predio donde funciona el club presenta una topografía escalonada donde se presentan unas superficies aterrazadas de pendientes suaves (casi planas) entre 0 – 3% y 4-10% que corresponden a las zonas de las canchas y las cuales son limitadas por taludes de fuerte pendiente.

Hacia el costado occidental existe un predominio de fuertes pendientes y destaca en el límite norte el talud hacia la vía Las Palmas 40-60%. También se definen algunos taludes de fuerte pendiente que corresponden a la margen de la quebrada La Loma.



**Ilustración 12 Mapas de elevación digital y morfométrico UMI**



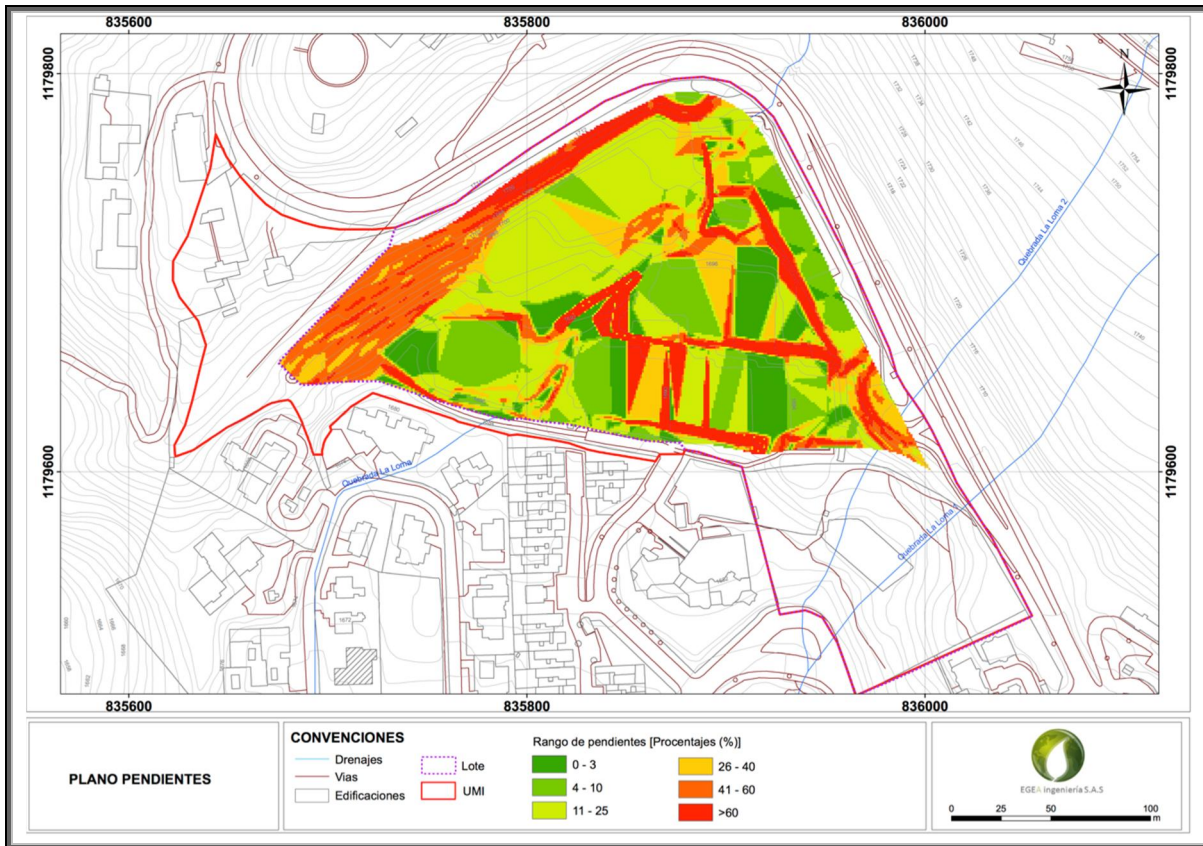


Ilustración 13 Mapa morfométrico lote del club

### 2.3.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

En general en el polígono no se observan procesos morfodinámicos de considerable magnitud que comprometan la estabilidad del mismo, salvo un pequeño proceso de deslizamiento tipo desgarre superficial que se presenta al costado nororiental y que se presentó cuando se realizaron las obras de ampliación para la vía a las Palmas, Ilustración 12.







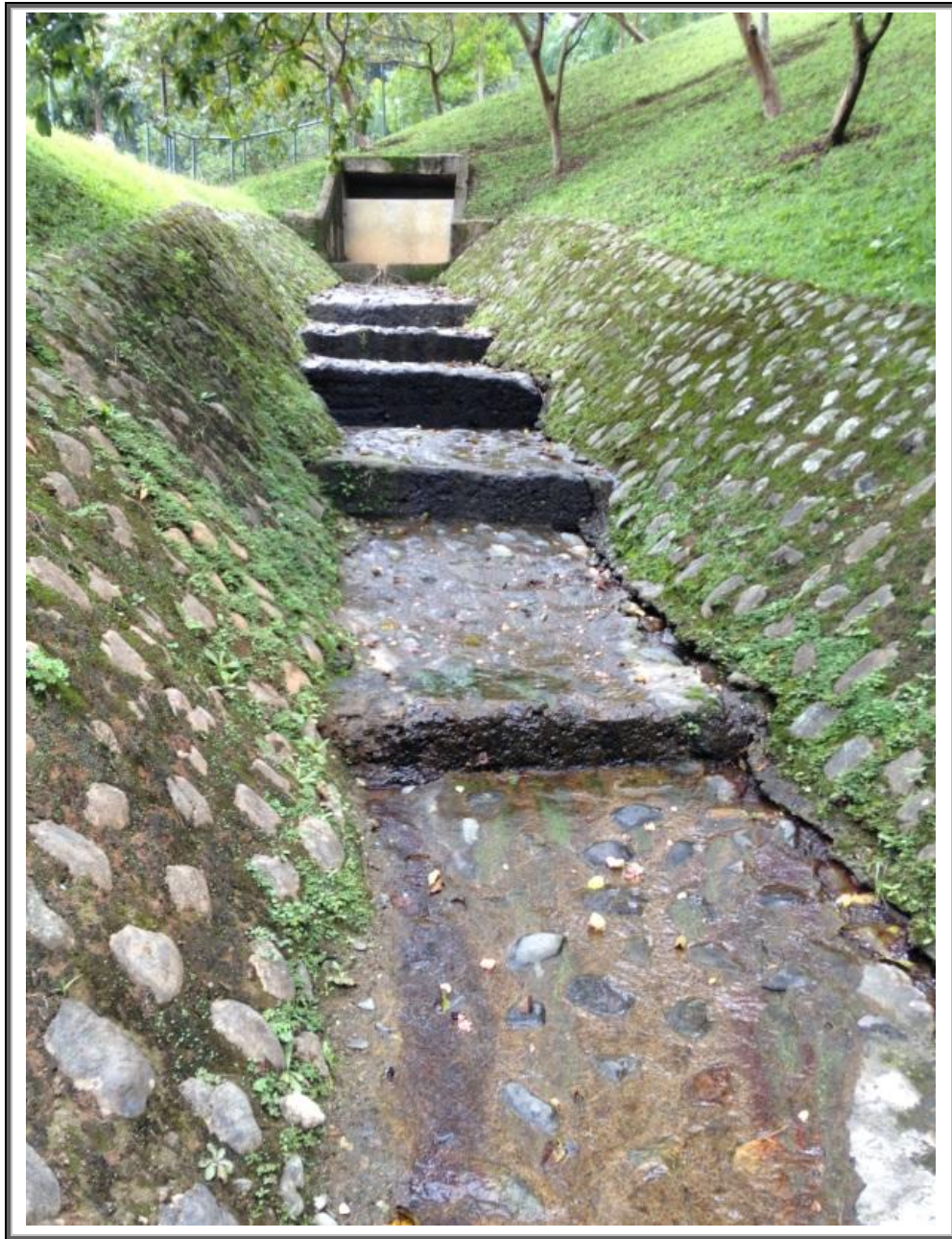
**Ilustración 14 Procesos de deslizamiento costado nororiental del Club**

Asociado al lecho de la quebrada la Loma 2, se presenta un proceso de infiltración entre la losa de piso y las paredes del canal, probablemente por falta de oídos o filtros laterales (Ilustración 15).

En la quebrada La Loma se observa después del cambio de canal a cauce natural un estrechamiento de cauce, producido al parecer por el aporte de material de las márgenes (Ilustración 16).







**Ilustración 15 Proceso de infiltración en junta de canal**





**Ilustración 16 Estrechamiento de cauce en cambio después de sección en canal**

Por fuera del predio en el Conjunto Residencial Continental, localizado en la DG 28 # 16 - 130, se presentó un “desgarramiento de masa de tierra por saturación de agua” según se reporta en la ficha Técnica del SIMPAD No.0000042152, el día 8 de diciembre del año 2011. En lote contiguo de propiedad de propiedad de CONCRETO al parecer llegan aguas sin conducción y se infiltran por no tener como evacuar. Existe un empujamiento puntual de la tierra desplazada contra el bloque 8 y se observa que se fisuro el muro medianero con las escalas de acceso al edificio, en algunos cuartos útiles se observa algunas fisuras. Inicialmente la estructura como tal del edificio no tiene fisuras.

El bloque 8 está compuesto por 8 apartamentos. El bloque 9 hace parte de la misma estructura del bloque 8 pero hacia este costado no se observa ningún compromiso con el desplazamiento de la tierra. Se presentaron lluvias toda la noche del 7 de diciembre hasta amanecer del 8 y se recomiendo la evacuación temporal del bloque 8 hasta la revisión por intermedio de un ingeniero estructural de dos columnas que presentaban leves fisuras, estos elementos hacen parte de la contención.



(Solingral S.A.S, 2012a), realizó el estudio geotécnico requerido para el diagnóstico del fenómeno de inestabilidad presente en el lote ubicado en cercanías a la vía las Palmas (sector Country Club), de propiedad de la CONCRETO S.A. y que limita con el Conjunto Residencial Continental, informe I-1435-052012-DVI-ESTUDIO GEOTÉCNICO (Ilustración 17) y el mismo concluyó que el problema de inestabilidad corresponde a un proceso morfodinámico de gran magnitud, activado principalmente por la acción del agua y su interacción con los depósitos de vertiente y suelos residuales, los cuales propician la formación de niveles freáticos colgados que empobrecen las propiedades geomecánicas y generan una disminución en la resistencia al corte y como medida de solución, recomendó una descarga parcial del material involucrado, complementado con la construcción de una pantalla de contención en pilas vinculadas y ancladas, que permitieran independizar los procesos del lote de CONCRETO S.A. del lote del conjunto residencial Continental. Todo acompañado de la implementación de medidas de protección contra la erosión y de una adecuada red de drenaje y sub drenaje que propenda por disminuir notablemente el efecto negativo del agua.

El mismo Solingral con el I-1435-062012-INFORME PATOLOGÍA ESTRUCTURAL (Solingral S.A.S, 2012b), atendiendo la solicitud de la administración (señora Elcy Zuleta) del Conjunto Residencial Continental, realizó los estudios de patología estructural conceptual del edificio (torre 8) afectado por un movimiento en masa en diciembre del 2011, donde se incluyen las observaciones realizadas durante la inspección visual del día 27 de abril de 2012. Al respecto el estudio concluye Los daños observados en el Bloque 8, generados por el deslizamiento. Recomienda que si bien actualmente el edificio no presenta signos de deterioro en sus elementos fundamentales, se debe dar solución al problema geotécnico antes que pueda generar mayores daños.

La localización espacial de los procesos se presenta en la Ilustración 18.





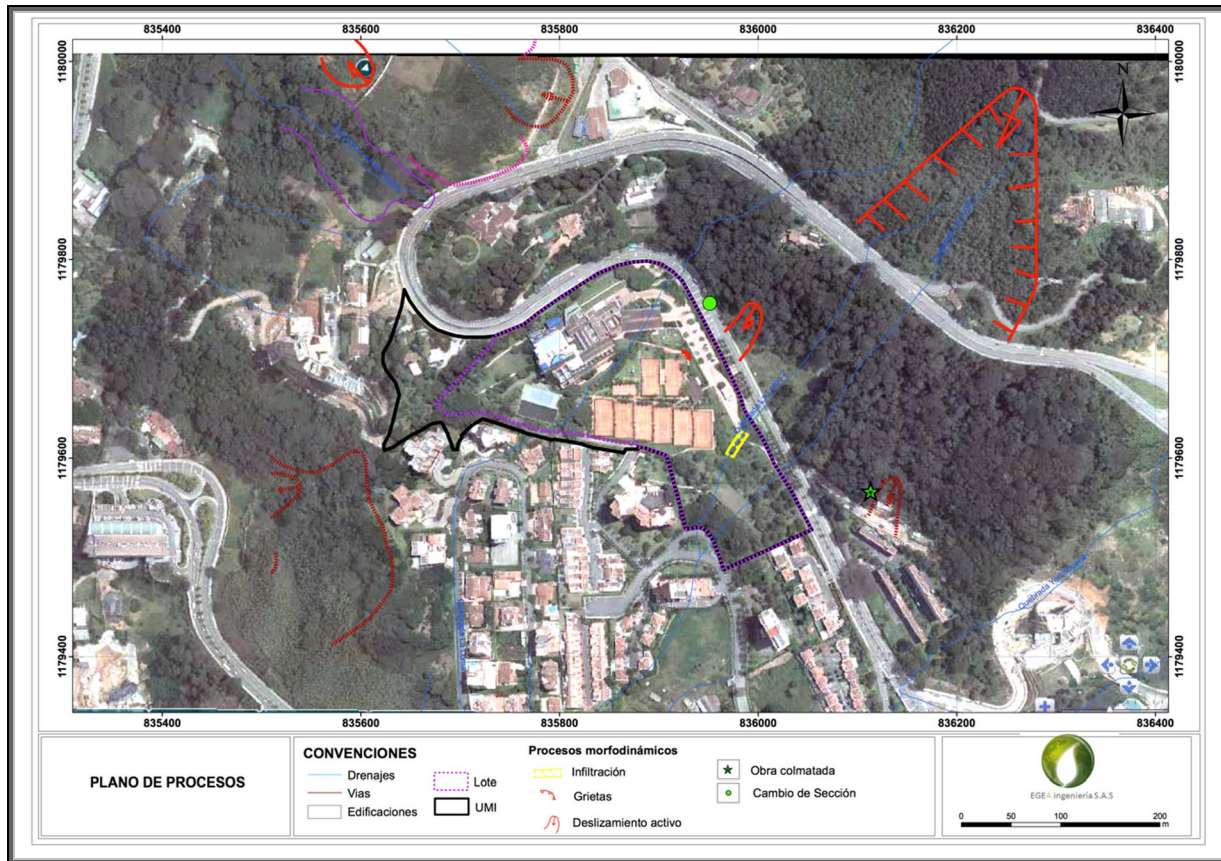


Ilustración 17 Localización inestabilidad torre continental año 2011<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Tomado de (Solingral S.A.S, 2012b)







**Ilustración 18 Mapa de procesos en los alrededores y en la zona UMI**

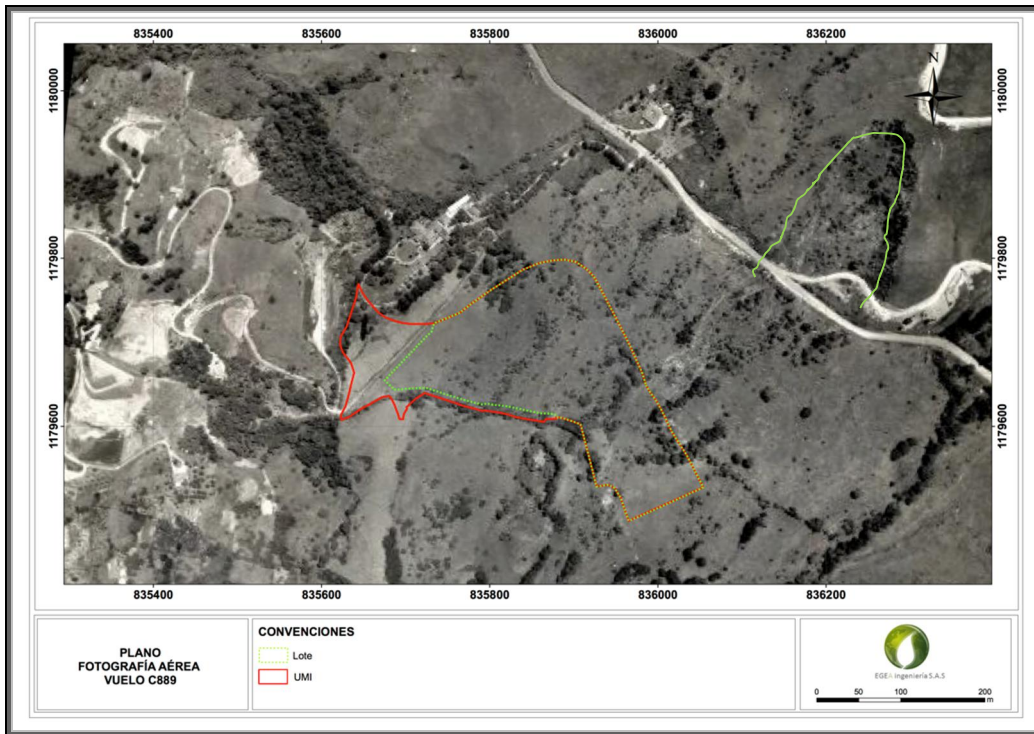
### 2.3.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Basados en la revisión de fotografías aéreas, de imágenes satelitales y la cartografía de la zona de estudio se presentan las siguientes observaciones:

Según la página web del Country club, la idea del Club nació en 1997, el estudio de suelos se realizó en el año 1982, la aprobación por parte de planeación para la construcción se dio en el año 1993, con autorización de la obra hidráulica para la quebrada La Loma en el año 1994 y construcción hasta el año 1996.

Se revisaron las fotos del año 1959 C-889/ F6 . Escala 1:5.000 (Ilustración 19), y solo se observa la zona del deslizamiento en la zona del seminario y uso en pastos con zonas arboladas en el lote donde se construirá el Club y aun no se tiene desarrollos urbanos en la zona. No se observan problemas de erosión, ni remoción de masa, en el lote, se alcanza apreciar un pequeño problema de erosión asociado a la dinámica de la Quebrada la Loma 1 por fuera de la UMI.





**Ilustración 19 Foto aéreas del vuelo C889 del año 1959**

Se revisó el plano del IGAC del año 1962 (Ilustración 20), donde se observan los drenajes en la zona del club y aun no se observa el trazo actual de la vía Las Palmas.

En la Plancha 1:2000 de 1970 (Ilustración 21) se observa la red hídrica y la normatividad respecto a los retiros, que se respecto en la construcción del club.

Se revisaron las fotos del año 1989: F9B – 02 y 03 (Ilustración 22), se observa construida la traza actual de la vía Las Palmas, se observa un cambio en la superficie del lote, se encontraron dos caminos en su interior y la vegetación que se observaba en el centro, sobre la Loma 2, ya no se encuentra. Además de observan pequeños parches de erosión superficial. En parte inferior de la UMI, se observan modificaciones en el terreno, con fines constructivos. En el costado superior derecho, hay una intensificación en la vegetación y hacia el norte aumentan las edificaciones y nuevas vías.

En la Ilustración 23, del año 2005 se observa el club con su desarrollo actual y no se observan procesos al interior del mismo.

En la Ilustración 24, del año 2012 se observa el deslizamiento en la zona del lote de CONASFALTOS (Villa Lucia), también se observa la ampliación a doble calzada de la vía a las Palmas, ya ejecutada.





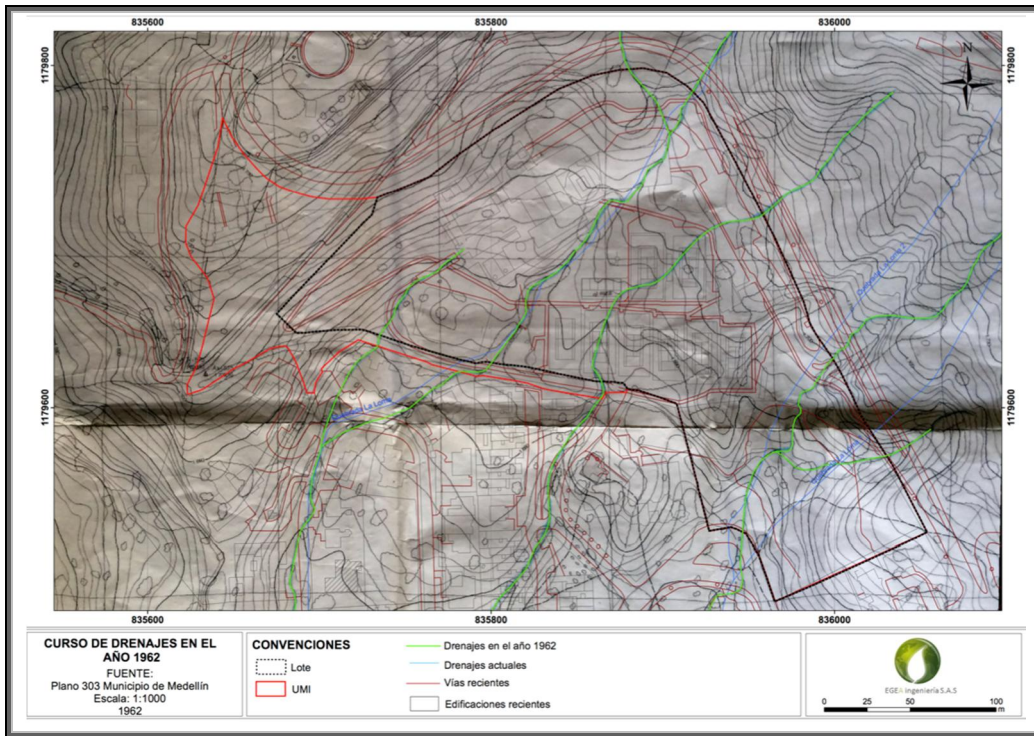


Ilustración 20 Imagen cartografía del año 1961

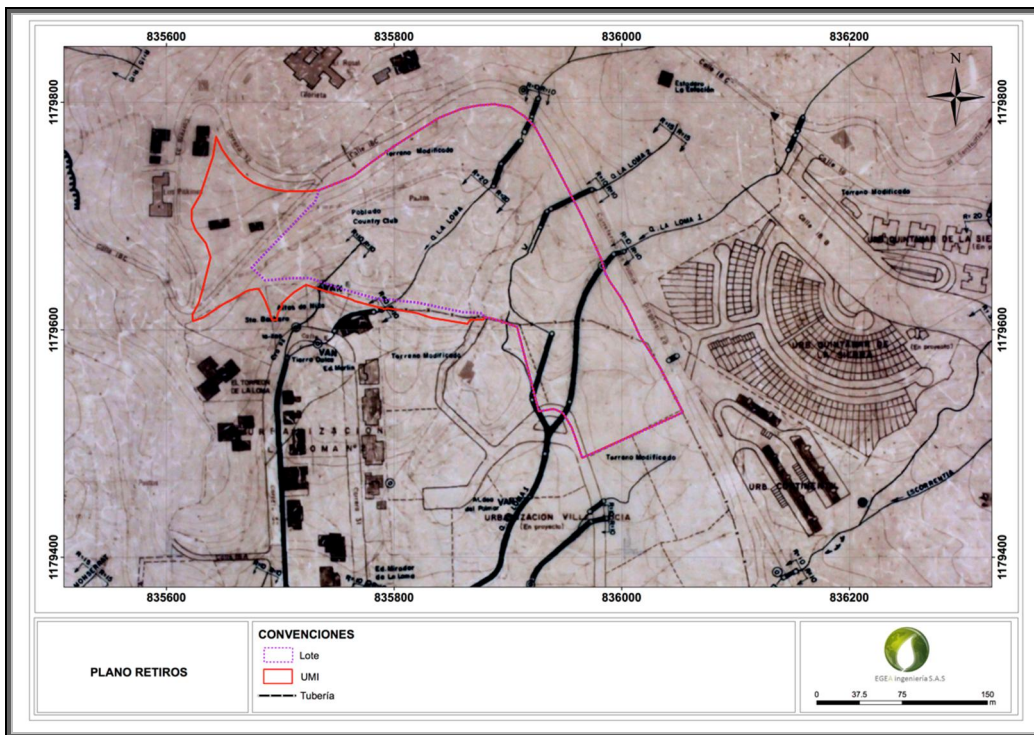


Ilustración 21 Imagen cartografía del año 1970







Ilustración 22 Foto aérea, vuelo año 1998



Ilustración 23 Imagen satelital año 2005. Tomado Google Earth





Ilustración 24 Imagen satelital año 2012. Tomado Google Earth

## 2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A nivel regional la tectónica del Valle de Aburra está dominada por las fallas de los sistemas Cauca y Romeral, cuyas trazas principales se encuentran al occidente del área considerada. La estructura de importancia regional más cercana perteneciente al sistema Romeral es la falla La Chillona, de dirección general norte-sur, la cual cruza al oriente del Cerro del Padre Amaya en el sector de Boquerón.

En el área urbana de Medellín se observa la presencia de algunas estructuras de orientación  $N15^{\circ}25'W/70^{\circ}-80^{\circ}SW$  hacia el sector nororiental de la ciudad, situación que permite suponer que el sistema de fallas Romeral extiende sus dominios hasta el flanco oriental del valle, quedando el origen y la evolución de éste íntimamente relacionado al devenir tectónico de este importante sistema de fallamiento, existente desde el Cretácico Tardío (Toussaint, 1996).

En el Valle de Aburra se identifican varios grupos de lineamientos con direcciones variables, predominantemente N-S y N-W. Entre los alineamientos noreste se reconocen uno sobre el flanco suroriental de la ciudad en la comuna de El Poblado, con algún control sobre la quebrada La Escopetería, y otros tres sobre la vertiente derecha de la quebrada Santa Elena, donde uno de ellos se corroboró con el hallazgo de roca cizallada



en sus inmediaciones (perforación No. 12 de Villatina, (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007)).

Localmente, según (Gloria & Velásquez, 1984), en cercanías a la zona se reporta la Falla del Poblado (inferida), con una dirección N45W y una longitud de 5 km, Se extiende desde el nacimiento de la quebrada La Presidenta hasta el barrio Castropol, donde su traza se interrumpe en los depósitos aluviales del río Medellín.

Localmente el estudio de (Solingral S.A.S, 1994) reporta que de acuerdo con el análisis fotogeológico del área de interés, la zona de estudio no corresponde a una zona de falla y sólo se infiere un lineamiento NE siguiendo el curso del caño que divide el lote por su parte central. Este lineamiento puede corresponder a las mismas discontinuidades en sentido N30E reportadas en algunas superficies con lisos y estrías en rocas metamórficas en cercanías del Hotel Intercontinental, o hacer parte de un sistema conjugado al fallamiento N 50° -60° W y buzamiento al NE correlacionable a la falla Poblado.





### 3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

#### 3.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE CAMPO Y ANÁLISIS DE LABORATORIO

La información de la exploración de campo, usada para evaluar las condiciones geotécnicas del subsuelo fue obtenida a partir de los estudios geotécnicos realizados para la conformación del club Country Club Ejecutivos (Solingral S.A.S, 1994) que consta de 4 perforaciones a rotoperCUSión y el levantamiento de 12 apiques, adicionalmente la presente consultoría realizó un complemento por medio de recorridos de campo y la ejecución de una línea de geofísica (EGEA Ingeniería S.A.S., 2015) que incluyó el ensayo de dispersión de ondas superficiales tipo ReMi, usando 24 geófonos verticales de 4.5 Hz, espaciados de forma equidistante cada 5.0 m, para una longitud total de línea de 115.0 m, excitadas por el ruido ambiental (micro tremores), a tiempos de muestreo de 32.768 ms y registros en intervalos de 2 ms, adicionalmente con el fin de aumentar el contenido frecuencial del registro de ondas Rayleigh, se realizan excitaciones aleatorias a través de golpe de martillo en la longitud total de la línea, Ver Anexo III. En la Ilustración 25 se presenta la ubicación de la exploración geotécnica realizada por (Solingral S.A.S, 1994), en la Ilustración 26 se presenta el arreglo para la prospección geofísica realizada por la presente consultoría.





**Ilustración 25 Localización exploración geotécnica <sup>5</sup>**

Las perforaciones alcanzaron profundidades entre 11.0 m y de 20.5 m, los apiques alcanzaron profundidades entre 1.1 m y 4.0 m y la línea de geofísica auscultó hasta los 30 m.

<sup>5</sup> Información obtenida de (Solingral S.A.S, 1994) superpuesta sobre imagen tomada de [www.medellin.gov.co/MapGIS](http://www.medellin.gov.co/MapGIS)



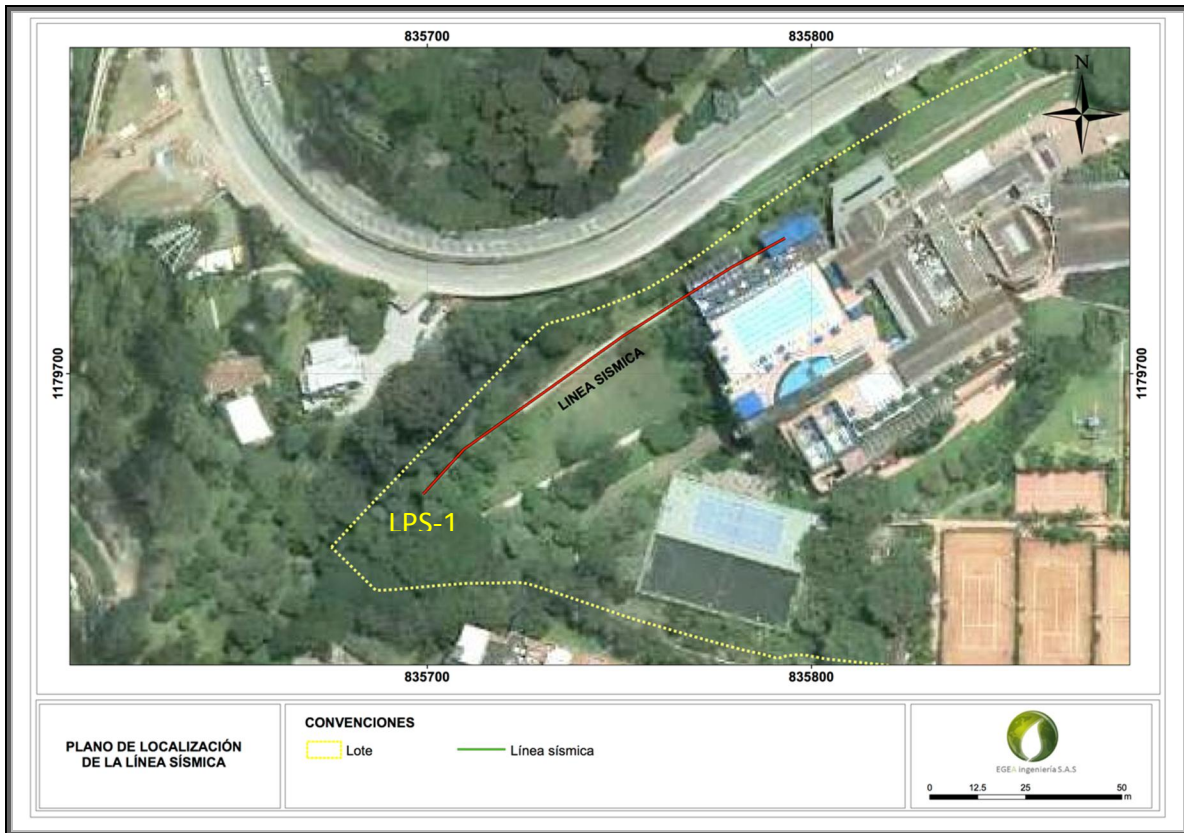


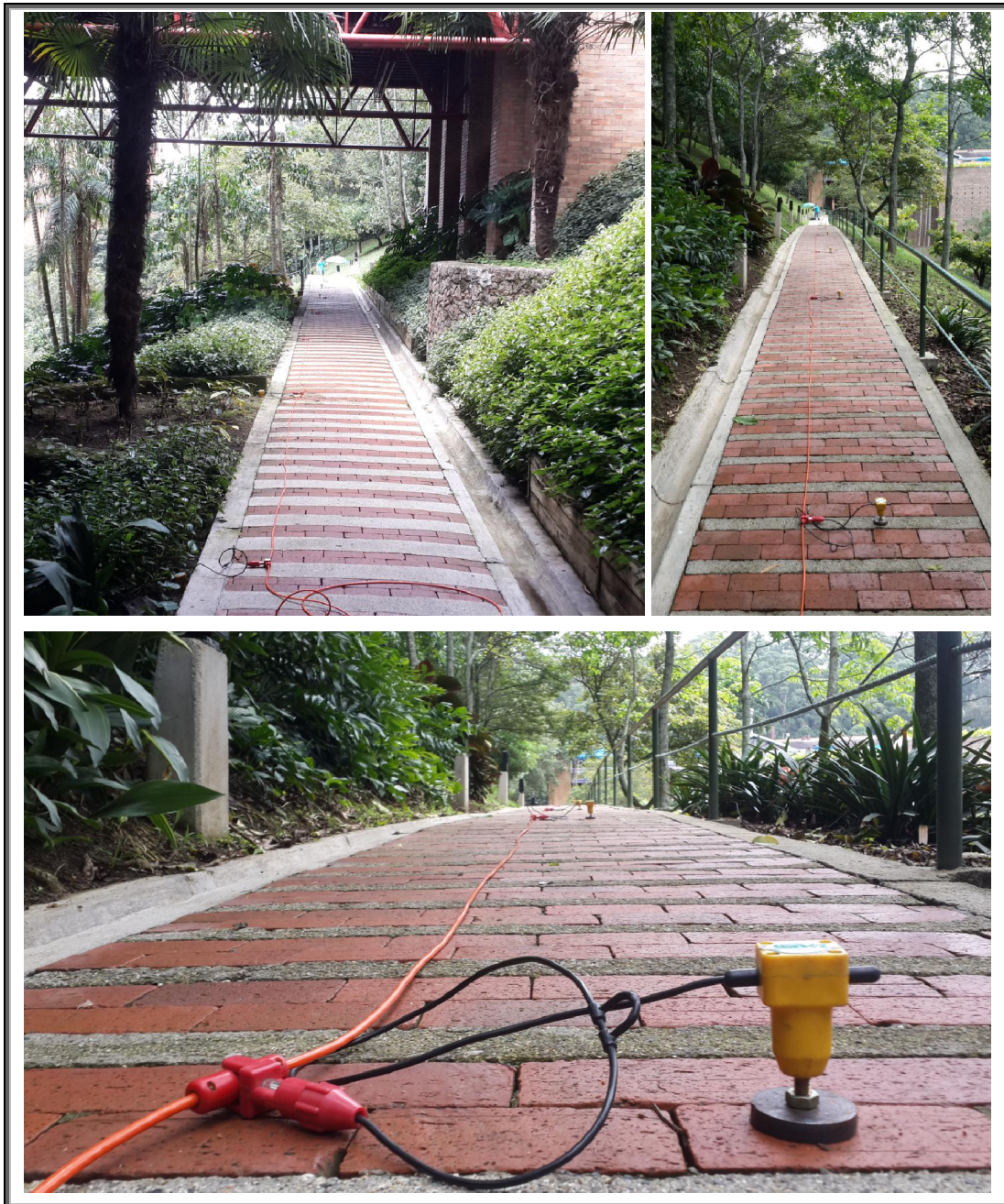
Ilustración 26 Ubicación de líneas de prospección geofísica<sup>6</sup>

A continuación se presenta el registro fotográfico de la prospección geofísica realizada.

<sup>6</sup> Imagen tomada de [www.medellin.gov.co/MapGIS/web/swf/MAPGIS\\_FLEX.jsp](http://www.medellin.gov.co/MapGIS/web/swf/MAPGIS_FLEX.jsp)







**Ilustración 27 Ubicación línea 1 de prospección geofísica al interior del lote LPS-1**

En la Tabla 2 se presenta la profundidad y/o longitud a la cual se llevó cada uno de los sondeos realizados y en la Tabla 3 se presenta la cantidad y tipo de ensayos de laboratorio practicados a las diferentes muestras.



**Tabla 2. Profundidad de sondeos exploratorios**

SONDEO	PROF.(m)
P-1	15
P-2	20.5
P-3	16.5
P-4	11
AP-1	4.0
AP-2	4.0
AP-3	4.0
AP-4	4.0
AP-5	3.5
AP-6	4.0
AP-7	4.0
AP-8	2.0
AP-9	2.5
AP-10	1.1
AP-11	1.15
AP-12	1.1
LPS-1	30

**Tabla 3. Resumen ensayos de laboratorio.**

TIPO DE ENSAYO	CANTIDAD
Limite Líquido	25
Limite Plástico	25
Humedad Natural	39
Granulometría	25
Peso específico	25
Densidad húmeda	15
Compresión simple	15
Corte directo UU	3

En el sector de estudio se evaluó la estratigrafía del subsuelo con base en los sondeos realizados y los resultados de los ensayos de laboratorio practicados a las diferentes muestras; Con base en lo anterior, se definió la estratigrafía general del sitio evaluado, la cual está dada por:

**Estrato 1 Llano antrópico:** Detectado en los apiques AP-1, AP-2 y en todas las perforaciones, conformado por un material limo-arenoso a limo arcilloso con diferentes coloraciones y presencia de fragmentos de roca . Posee espesor variable entre 1.0 m y 3.3 m aproximadamente.

**Estrato 2 Suelo residual de Gneis:** Detectado en los sondeos AP-3, AP-6 y AP-11, es un material de textura arcillo-limosa color café con motas amarillas a rojizas. Esta capa posee espesor de mas de 3.0 m; inferida en la prospección sísmica, podría alcanzar espesores de hasta de 10.0 m aproximadamente.

(Solingral S.A.S, 2012a) recalca, *“es importante anotar que las características geotécnicas de los suelos mencionados (suelo residual de Gneis en la zona de estudio) son de cuidado*



*ya tienen una permeabilidad baja y tienden a acumular el agua, permitiendo la generación de presiones de poros y la disminución de sus propiedades geomecánicas”.*

**Estrato 3 y 4 Suelo residual y saprolítico de Gabro:** Detectado en los sondeos AP-1, AP-2, AP-4, AP-5, AP-7, AP-8, AP-9, AP-10, AP-12, P-1, P-2, P-3 y P-4; es un material de textura limoso arcilloso a limo arenoso, de color café, a medida que su meteorización es menor (saprolito), este presenta textura heredada de grano grueso y bandeamiento. Este material se presenta hasta la profundidad evaluada; para los análisis geotécnicos se toma este material como basamento.

(Solingral S.A.S, 2012a) recalca, Este material tiene unas mejores propiedades mecánicas, pues presenta una mayor permeabilidad, permitiendo la disipación rápida de presiones intersticiales. Además, por su contenido de arena desarrolla una resistencia al corte importante por medio de la fricción.

### 3.1.1 Parámetros Geotécnicos

Para los análisis respectivos, se adoptan los parámetros de resistencia (cohesión y ángulo de fricción interna) de los materiales involucrados en el perfil, a partir del estudio de (Solingral S.A.S, 1994) y éste a su vez, de los resultados de los ensayos de laboratorio de dicho estudio.

Por medio de la exploración geofísica realizada se adquieren las imágenes de dispersión obtenidas por el método descrito en el Anexo II, con base en los datos registrados en campo, se obtuvo la curva de dispersión que relaciona la frecuencia y la velocidad de fase Ilustración 28; el resultado del ensayo ReMi representado en la Ilustración 29, correspondiente al perfil 1D de velocidad de onda de corte en profundidad en la centro de la línea.





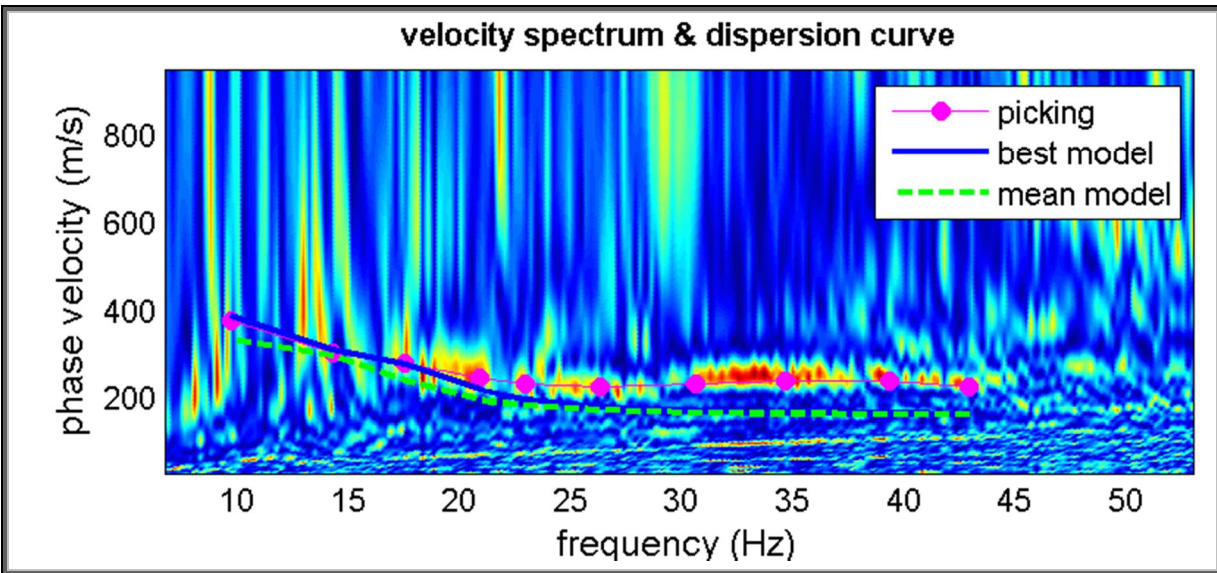
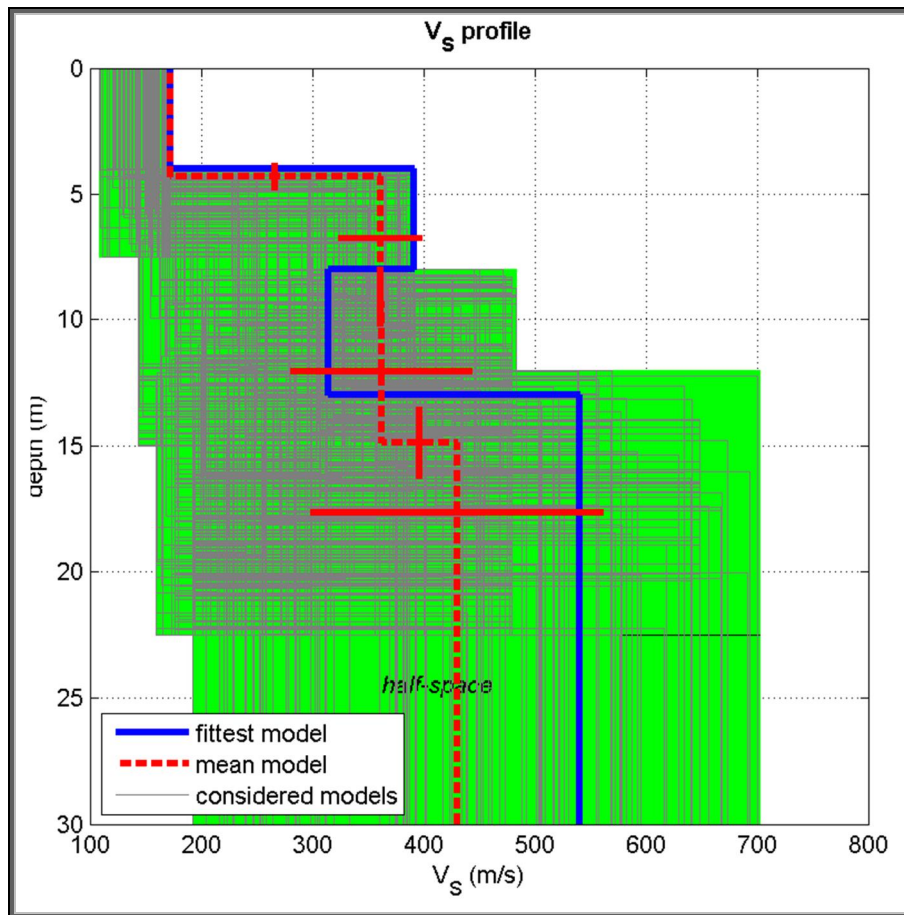


Ilustración 28 Curva de Dispersión.

En la imagen de dispersión obtenida, se observa que la resolución es bastante alta, por lo tanto es posible identificar una tendencia mediante los máximos de acumulación de energía los cuales permiten seleccionar la curva de dispersión experimental del suelo para el ensayo. Posterior a este proceso, mediante la utilización algoritmo de búsqueda global, algoritmo genético (Dal Moro et al., 2007), se obtiene el perfil de velocidad de propagación de onda de corte en profundidad, el cual posee una alta confiabilidad dada la alta resolución obtenida en las imágenes de dispersión.





**Ilustración 29 Perfil de velocidad de onda de corte 1D línea geofísica LS-1**

Una vez obtenido el valor de la velocidad de propagación de onda de corte en profundidad, así como los valores de densidad y relación de Poisson, aplicando los conceptos básicos de la mecánica de materiales, se calculan los parámetros elásticos de los materiales del perfil estratigráfico ver Tabla 4, cabe resaltar que el módulo de Young E y el módulo de rigidez (G), han sido estimados para rangos de deformación muy bajos, por lo tanto se deberá tener sumo cuidado con la utilización de los mismos.

**Tabla 4 Estimación de parámetros – Línea 1.**

Depth (m)	S-Wave Velocity(m/s)	P-Wave Velocity(m/s)	Density (g/cc)	Poisson (ν)	G <sub>0</sub> (Ton/m <sup>2</sup> )	E <sub>0</sub> (Ton/m <sup>2</sup> )	E (Ton/m <sup>2</sup> )	E (MPa)
0 - 4.3	172.0	498.0	1.9	0.43	5591.38	16016.80	3007.12	30.07
4.3 - 14.9	362.0	887.0	2.0	0.40	26470.89	74122.56	13916.33	139.16
14.9 - 30.0	430.0	890.0	2.0	0.35	37534.70	101174.31	18995.24	189.95



### 3.2 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO

La interpretación de los ensayos se basa en las velocidades de onda de corte  $V_s$  obtenidas en el ensayo tipo ReMi; en la Tabla 5 se presenta la relación entre la velocidad de onda de corte con el tipo de suelo, según lo propuesto por la National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP), con base en la velocidad de onda corte promedio en los 30 m superficiales ( $V_{s30}$ ).

**Tabla 5 Caracterización sísmica de los suelos, NEHRP 2003**

TIPO	$V_{s30}$ (M/S)	DESCRIPCIÓN
A	> 1500	Roca dura
B	760 - 1500	Roca dura
C	360 - 760	Roca blanda y suelo muy denso
D	180 - 360	Suelo rígido
E	<180	Suelo Blando
F	Suelos especiales (licuables, colapsables, arcillas muy plásticas, suelos orgánicos)	

en la Tabla 6 se muestra lo estipulado en la Sección A.2.4.4 del título A de la NSR-10:

**Tabla 6 Clasificación del perfil de suelo según tabla A.24-1 NSR-10<sup>7</sup>**

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{V}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un Ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: $F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. $F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). $F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) $F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

<sup>7</sup> Tabla tomada de tabla A.24-1 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2010).





Para la línea 1 el promedio de velocidad de onda de corte  $V_{S30}$ , fue de 336 m/s. La clasificación del perfil del subsuelo a la luz de lo estipulado en la NSR-10 en su capítulo A-2.4.1, determina que en esta caso se trata de un suelo tipo D.

Los parámetros geomecánicos escogidos y usados en los cálculos y en la modelación se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7 Parámetros geo mecánicos utilizados**

Material	Peso Unitario Húmedo $kN/m^3$	Cohesión KPa	$\phi$ (°)	E ( $KN/m^2$ )
Capa 1: Lleno Antrópico	16	4	24	
Capa 2: Suelo residual de Gneis	16	39	28	139.16
Capa 3: Suelo residual de Gabro:	17	16	34	189.95
Capa 4: Suelo saprolítico de Gabro:	18	0	34	

### 3.2.1 Consideraciones climáticas y de nivel freático

Dada su ubicación en la zona ecuatorial (ligada estrechamente a la radiación solar), los factores que establecen el clima en Colombia son: la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), los vientos alisios y el relieve; por ello las variaciones climáticas no obedecen a estaciones, sino a variaciones altitudinales, donde la temperatura varía aproximadamente  $6^{\circ}C$  por cada 1.000 metros de altura sobre el nivel del mar (Integral, 2009).

Las características del régimen climático de la región andina están asociadas a los pisos térmicos; y estos a su vez al cambio de la temperatura con la altitud y su posición intertropical. El clima bimodal de parte de Colombia, ver Ilustración 30, como es el caso de la zona de estudio, donde las lluvias se inician con los equinoccios y los veranos con los solsticios, está condicionado por los fenómenos del Océano Pacífico Ilustración 31, La Niña (enfriamiento, corriente fría de Humboldt) y El Niño (calentamiento); un par de fenómenos recurrentes, no periódicos que suelen presentarse entre una o dos veces por década.



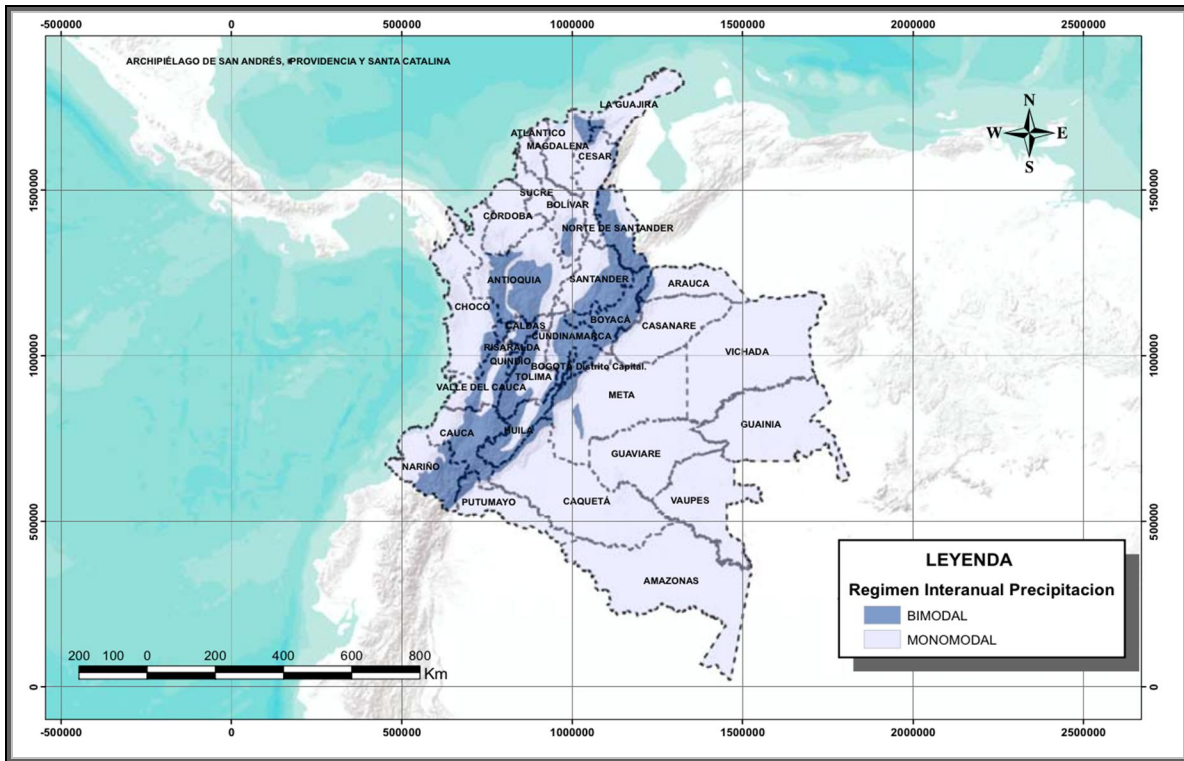


Ilustración 30 Regímenes de precipitación interanual en Colombia<sup>8</sup>



Ilustración 31 Fenómenos climáticos intertropicales Niño y Niña<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Tomado de "Universidad Nacional de Colombia", autor: (Schwerdtfeger & Werner, 1976)

<sup>9</sup> Imagen tomada de <http://meteovargas.com>



El último fenómeno reportado fue el de la Niña en el 2011, desde entonces hasta ahora, se ha dado un comportamiento relativamente normal del clima en nuestra región, con amagues de lo que parece ser un fenómeno Niño.

Se reportaron niveles freáticos solo en las perforaciones, a excepción de la P-3, las profundidades reportadas para P-1 es de 3.3 m (esta sobre la margen izquierda de la quebrada la Loma); para P-2 es de 3.5 m y para la P-4 de 6.0 m (estas sobre la margen derecha de la quebrada). Dados los niveles freáticos reportados en las perforaciones y los gradientes topográficos, es lógico inferir flujos subsuperficiales en sentido NW-SE para los suelos en la margen derecha y NE-SW para los suelos en la margen izquierda. Se asumen los gradientes topográficos como determinantes al inferir flujos subsuperficiales.

Dada la geología superficial de la zona, llenos antrópicos y suelos provenientes de la meteorización de rocas metamórficas Gneis (que poseen conductividades hidráulicas medias a bajas) y meteorización de rocas plutónicas Gabro (con mayor conductividad hidráulica); es factible la presencia de acuíferos en esta formación. El Gabro, dado su espesor y permeabilidad, podría formar una capa para la acumulación y transporte de aguas subsuperficiales, esto favorecido por sus características porosas; por ello es importante hacer un correcto manejo de las aguas de escorrentía en todo el lote de manera que estas fluyan de manera superficial, siguiendo la topografía y siendo evacuadas de forma eficientemente por la quebrada la Loma, adicionalmente es recomendable realizar una buena impermeabilización de las cimentaciones y estructuras de piso proyectadas, para evitar problemas de humedades.

### 3.3 CONSIDERACIONES SÍSMICAS

Para efectos de la aplicación de la Norma Sismo Resistente en el diseño estructural, (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2010) se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Zona de amenaza sísmica: Intermedia
- Aceleración Pico Efectiva: Aa: 0.15  
Av: 0.20

Para la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007), se presenta que la aceleración máxima para el sismo de diseño, correspondiente a un periodo de retorno de 475 años, en la zona de estudio se encuentra entre 0.20-0.22 g, ver Ilustración 32. Mientras que para la microzonificación sísmica del área urbana de Medellín (Grupo de sismología de Medellín, 1999) la zona de estudio se





encuentra en la zona homogénea 12 y su aceleración máxima para el sismo de diseño, correspondiente a un periodo de retorno de 475 años, es de entre 0.26 g

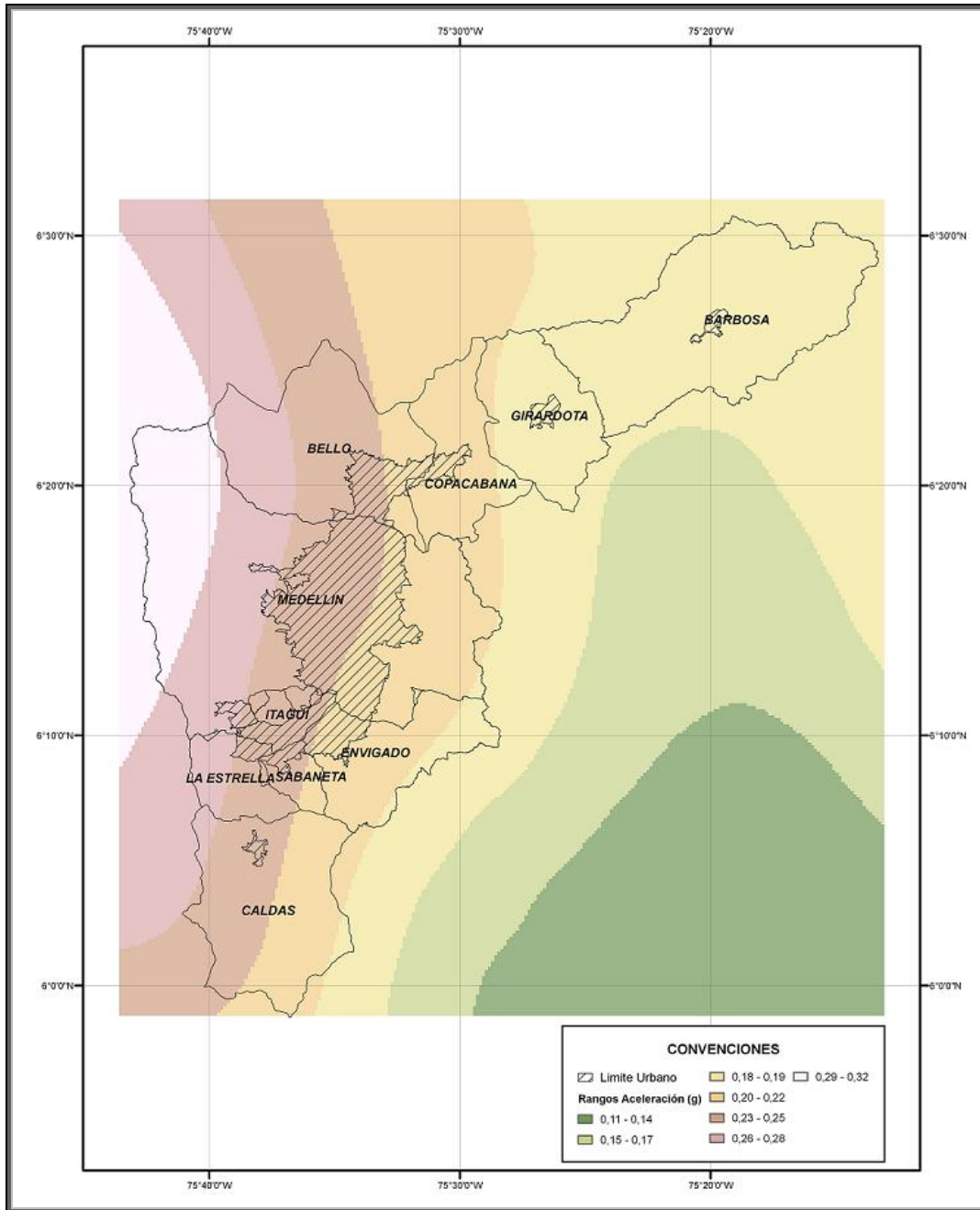


Ilustración 32 Amenaza sísmica a nivel regional para PGA y para un período de retorno de 475 años<sup>10</sup>

10 Corresponde a la figura 6.32 de (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007)



Para la determinación del perfil del suelo, se acude a los resultados de los ensayos de laboratorio ( $Q_u$ ) y el ensayo SPT con su número de golpes, se realiza la clasificación del perfil del subsuelo a la luz de lo estipulado en la NSR-10 en su capítulo A- 2.4.1,



#### 4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y LADERAS

Considerando la morfología de la zona a evaluar y las características geológicas geotécnicas del sector, se evaluó la estabilidad del taludes, utilizando el programa **SLIDE-V6** desarrollado por Rockscience Inc. (2010), que resuelve problemas bidimensionales por el método del equilibrio límite, considerando diferentes teorías, entre las cuales se encuentran las de Bishop, Spencer y Morgenstern-Price, para mecanismos de falla circulares y no circulares, para combinaciones de carga estáticas y dinámicas, considerando variaciones de los niveles piezométricos, distribuciones de presión de poros, variación de los coeficientes de la relación de presión de poros y redes de flujo por el método de los elementos finitos.

Para efectos de adoptar un factor de seguridad de diseño, se acogen las recomendaciones de Geotechnical Engineering Office (2004) Tabla 8 que sugiere clasificar dentro de la categoría de riesgo alto aquellos taludes que puedan afectar vías con mucho tránsito y con amplia posibilidad de afectaciones en construcciones comerciales, para riesgos económicos y de vidas respectivamente (GSM, 2002), la Tabla 9 que presenta una recopilación de las recomendaciones de varios investigadores tanto para el factor de seguridad estático como pseudo-estático y la Tabla 10 presenta los factores mínimos estipulados por la NSR-10.

**Tabla 8 Factor de seguridad en condiciones estáticas<sup>11</sup>.**

RIESGO POR PÉRDIDAS ECONÓMICAS	FACTOR RECOMENDADOS PARA LAS CATEGORÍAS DE RIESGO DE VIDAS		
	Sin afectación	Bajo	Alto
Sin afectación	>1.0	1.2	1.4
Bajo	1.2	1.2	1.4
Alto	1.4	1.4	1.4

**Tabla 9 Factor de seguridad en condiciones estáticas y dinámicas<sup>12</sup>.**

Calificación	F.S. Estático	F.S. Pseudo-estático
Inadmisible	<0,75	<0,50
Muy bajo	0,75 – 1,00	0,50 – 0,75
Bajo	1,00 – 1,25	0,75 – 1,00
Aceptable	1,25 – 1,50	1,00 – 1,25
Ideal	>1,50	>1,25

<sup>11</sup> Recomendado por Geotechnical Engineering Office, 2004, (incluyendo el riesgo de pérdidas de vidas y pérdidas económicas)

<sup>12</sup> (US ARMY Corps of Engineers, (octubre 2003), Meyerhof, G., Canadian Geotechniques, vol. 7, no. 4 (11/70), WU, T.H., Et Al, Asce, Sm2 (3/70), Semple, R.M., Groundengineering (9/81, Brand (1982)).





**Tabla 10 Factores de seguridad básicos mínimos directos**

**Tabla H.24-1**  
**Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos**

Condición	F <sub>SBM</sub>		F <sub>SBUM</sub>	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(\*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Según lo anterior y las tablas 11, 12 y 13 del código de laderas del área metropolitana de Medellín (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), se adoptan como factores de seguridad de diseño los siguientes:

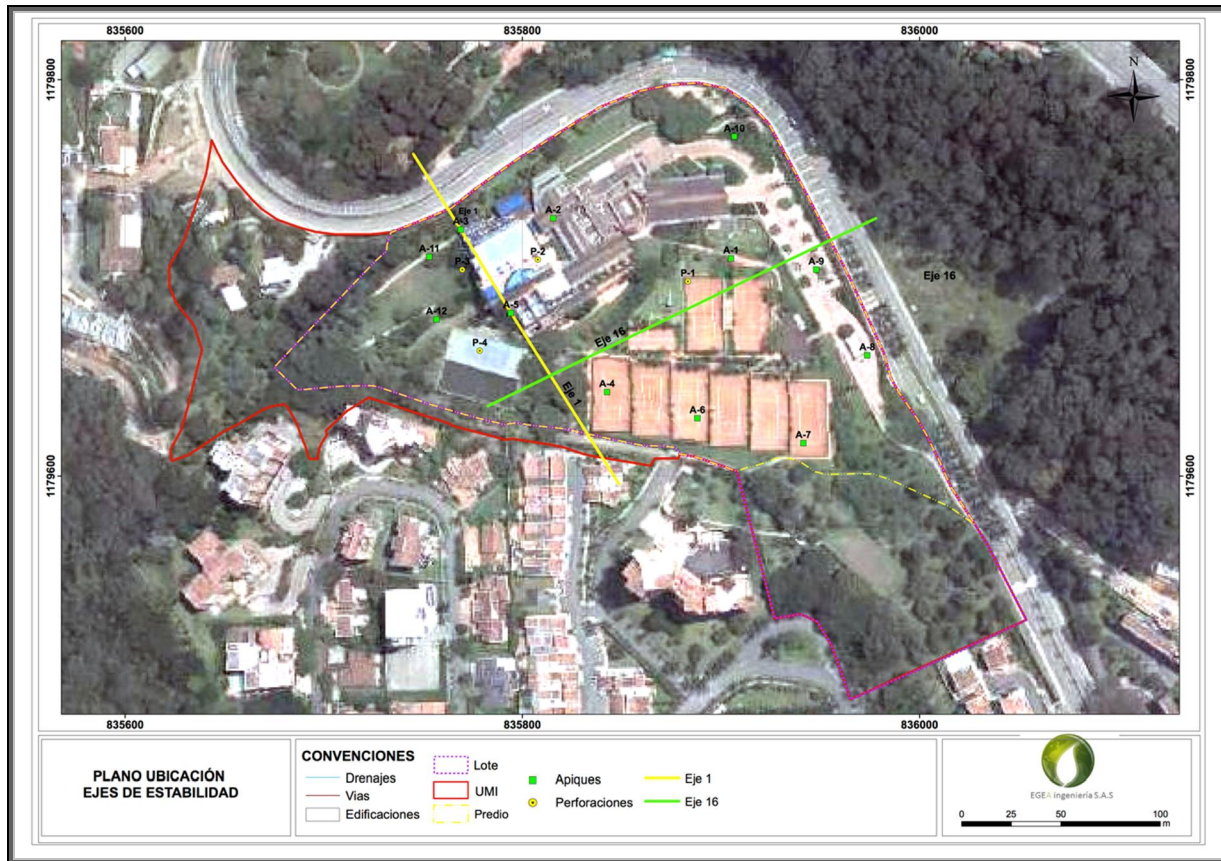
Pseudo-estático: Menores a 1.0 Inadmisibles, entre 1.0 a 1.25 medios y mayores a 1.25 ideales.

Estático: Menores a 1.0 Inadmisibles, entre 1.0 a 1.25 bajos, entre 1.25 y 1.50 medios y mayores a 1.5 ideales.

Para los análisis dinámicos se empleó la modalidad de análisis pseudo-estático, teniendo en cuenta un coeficiente de aceleración horizontal de 0.17 g, equivalente a las tres cuartas partes de la aceleración máxima en roca recomendada para el municipio de Medellín, en la microzonificación sísmica de Medellín (Grupo de sismología de Medellín, 1999). Se usó de forma simultánea con el sismo horizontal un coeficiente de aceleración vertical de 0.09 g.

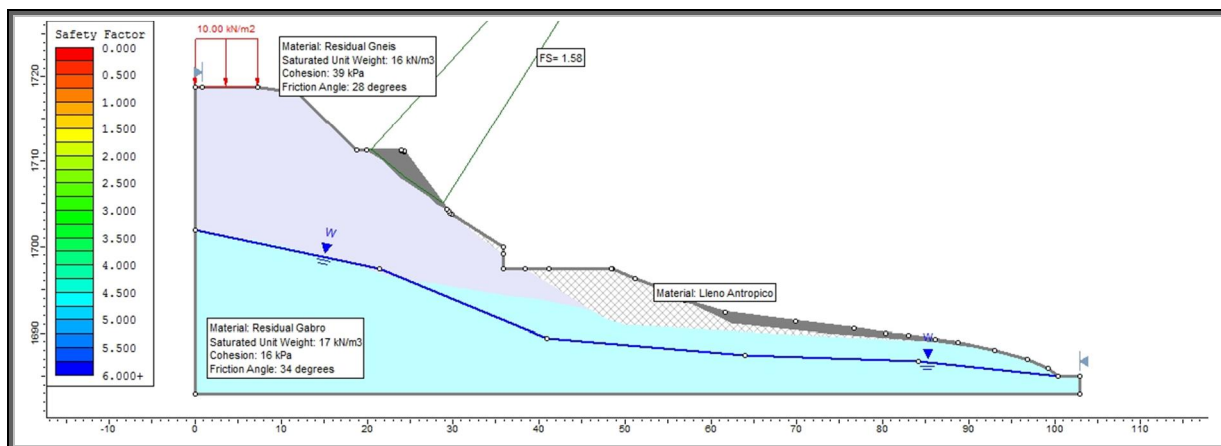
Para efectos de los análisis de estabilidad del talud se trazaron las secciones más críticas según la morfología del terreno (Ilustración 33). Para evaluar la estabilidad de la zona a intervenir se consideró la situación actual que incluye la modelación en las condiciones estáticas y pseudo-estáticas.





**Ilustración 33 Esquema de localización de secciones para análisis de estabilidad de laderas**

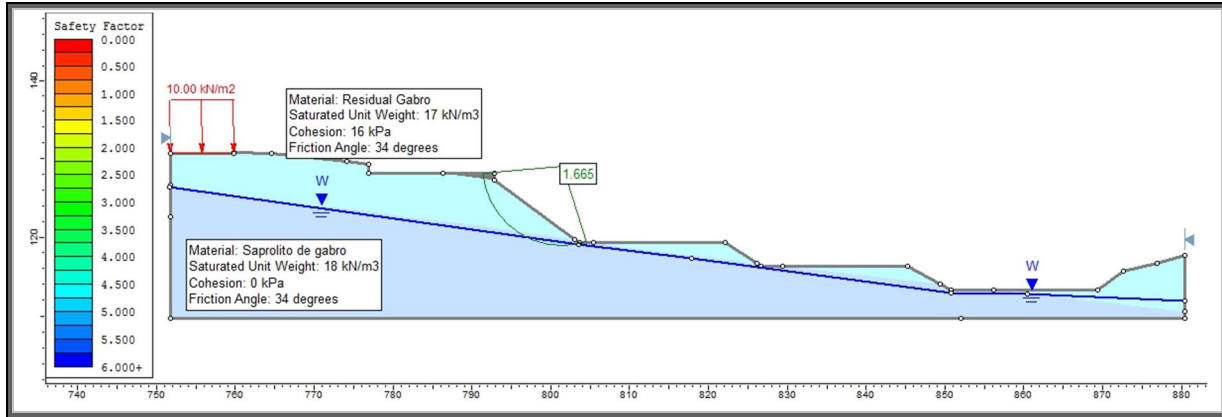
El primer escenario a evaluar es la condición actual del terreno, sin considerar la influencia del sismo, Ilustración 34 e Ilustración 35.



**Ilustración 34 Modelo geotécnico establecido perfil 1 condiciones actuales**



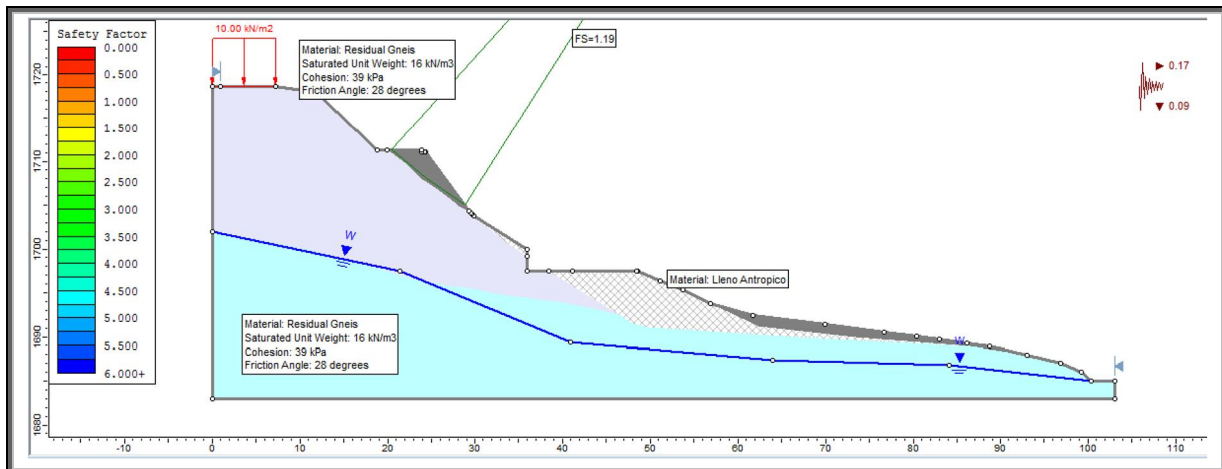
En la gráfica se presenta la superficie de falla con menor valor del factor de seguridad, en este caso 1.58, que es ligeramente mayor al límite superior establecido para el perfil seleccionado.



**Ilustración 35 modelo geotécnico establecido perfil 16 condiciones actuales**

En la gráfica se presenta la superficie de falla con menor valor del factor de seguridad, en este caso 1.66, que es mayor al límite superior establecido para el perfil seleccionado.

A continuación se presenta el modelo asumiendo condiciones dinámicas, Ilustración 36 e Ilustración 37.

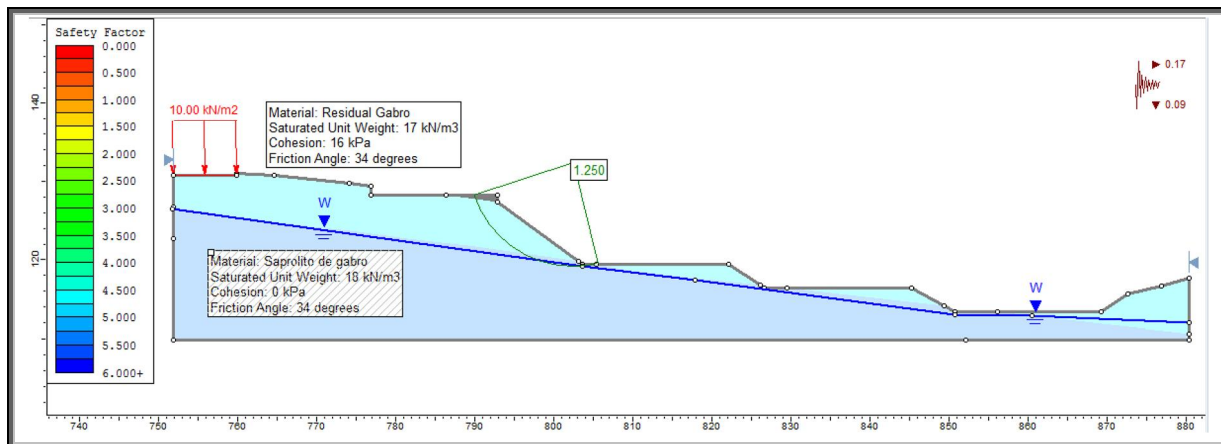


**Ilustración 36 Perfil 1 en condiciones actuales y dinámicas**

En la gráfica se presenta la superficie de falla con menor valor del factor de seguridad, en este caso 1.19, que es considerado el rango medio establecido para el perfil seleccionado en condiciones dinámicas.



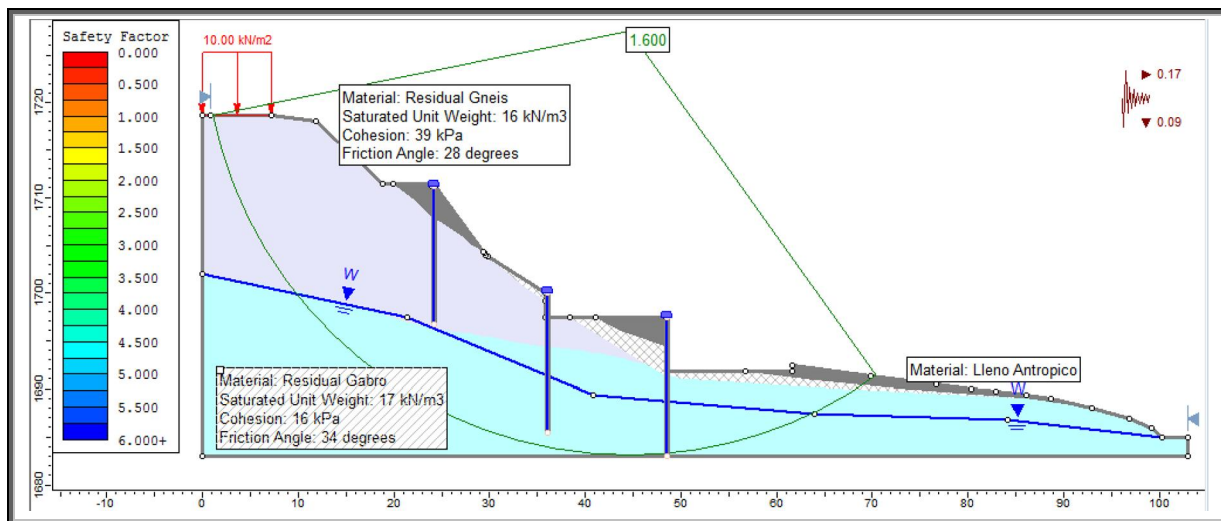




**Ilustración 37 Perfil 16 en condiciones actuales y dinámicas**

En la gráfica se presenta la superficie de falla con menor valor del factor de seguridad, en este caso 1.25, que es el limite superior establecido para el perfil seleccionado en condiciones dinámicas.

Se presenta a continuación el modelo de condiciones proyectadas bajo sismo (caso mas desfavorable) donde se tienen en cuenta la ampliación de la zona de parqueaderos.



**Ilustración 38 Perfil 1 modificado (zona de lleno para parqueaderos) en condiciones dinámicas**

En la gráfica se presenta la superficie de falla con menor valor del factor de seguridad, en este caso 1.60, que es considerablemente mayor al limite superior establecido en condiciones dinámicas para el perfil seleccionado.

Los valores del factor de seguridad en las gráficas anteriores y para los tres casos (estático y dinámico y modificado dinámico), indican que en general la estabilidad de la zona es



aceptable, en términos de los factores considerados como mínimos aceptables por la presente consultoría; sin embargo, se recomienda continuar con el manejo de aguas superficiales que actualmente realiza en Country Club cuya finalidad es la protección de erosión sobre estos taludes ya que los materiales que lo conforman son muy susceptibles a los cambios de humedad y al impacto directo de las aguas lluvias.



## 5 ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD DEL USO DEL SUELO

La Ilustración 39, presenta las amenazas por deslizamientos e inundaciones en la zona del polígono del Club, acorde con la clasificación hecha para este tema en el documento de formulación y el acuerdo 48 de 2014 – Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Medellín.

De esta clasificación hecha por el Departamento Administrativo de Planeación se ve que la mayor parte del polígono presenta una amenaza baja a los deslizamientos y solo una parte hacia el costado suroriental presenta amenaza media y alta al deslizamiento dado que en esta zona se encuentra el deslizamiento del conjunto Residencial Continental y también hacia el costado sur en inmediaciones del Ed. Altos de Niza es Media.

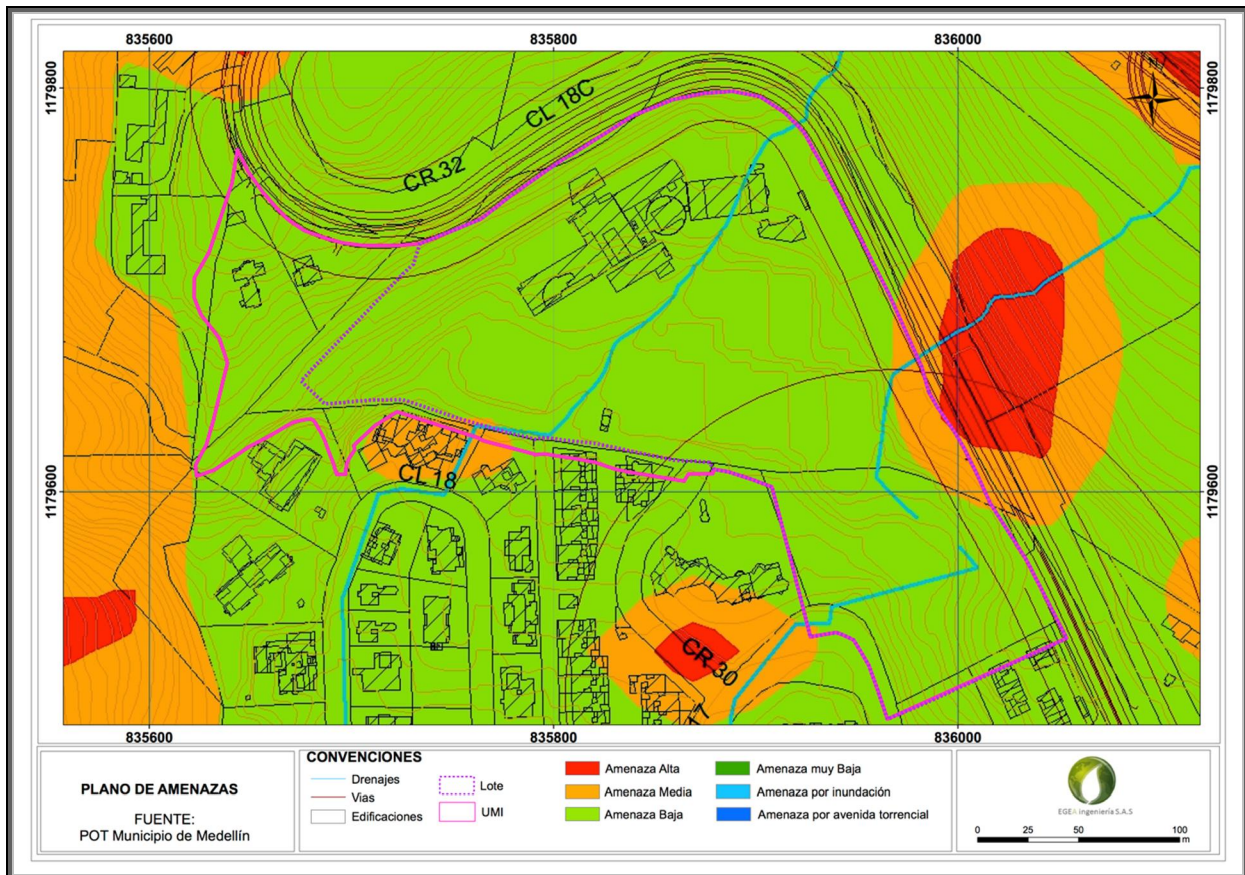


Ilustración 39 Amenaza por deslizamiento<sup>13</sup>

Para la zonificación de detalle en este estudio se utilizaron las herramientas propias de geo-procesamiento del sistema de Información geográfica (SIG), que permite realizar a

<sup>13</sup> Tomado de (Municipio de Medellín, 2014)





partir de valoración y calificación de factores como: las formaciones superficiales, las unidades geomorfológicas, los procesos erosivos, la pendiente del terreno, y las condiciones geotécnicas, un modelo de superposición y de algebra de mapas, que permita realizar la zonificación y la identificación de restricciones al uso del suelo para el urbanismo. Se consideran además, las áreas que por norma tengan restricción, como lo son los retiros de las quebradas y vías según las especificaciones del POT del municipio de Medellín, (Municipio de Medellín, 2014).

Las variables identificadas para la evaluación y posterior análisis se combinaron para construir el mapa de zonificación de la aptitud del uso del suelo en la forma que se describe en siguiente modelo cartográfico (Ilustración 40).

Partiendo del modelo cartográfico anterior procedemos con la definición y caracterización de las variables que se utilizarán en el geo-procesamiento.

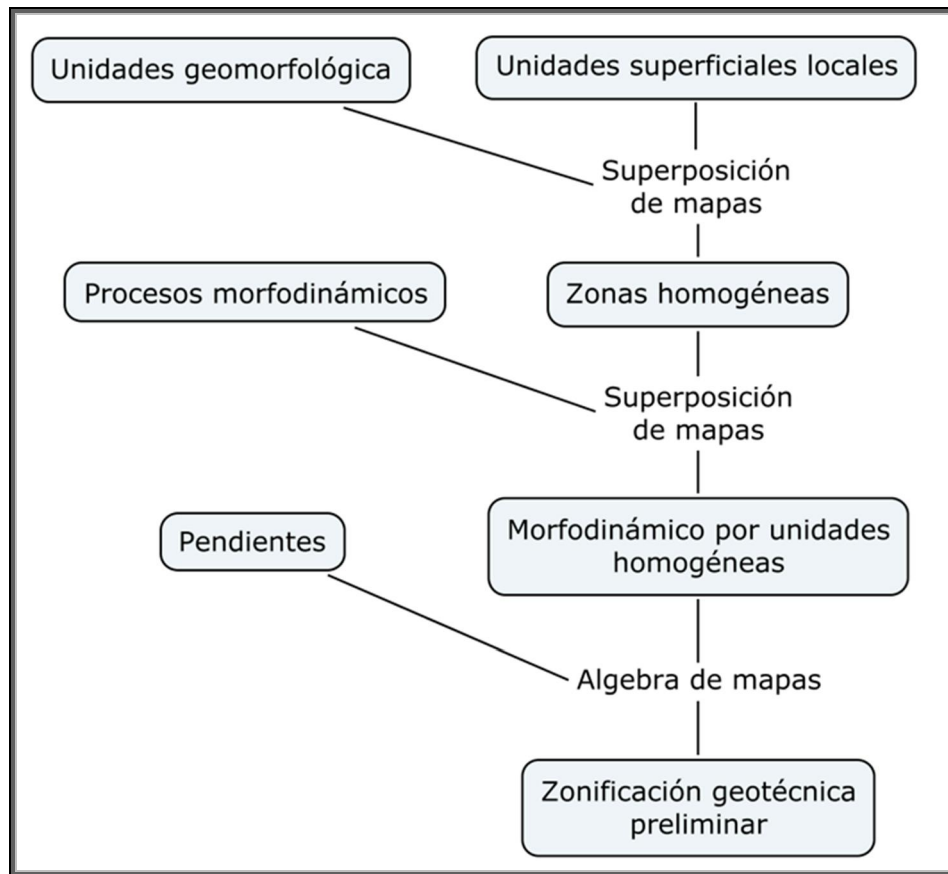


Ilustración 40 Construcción mapa de zonificación geotécnica preliminar



- **Unidades Geomorfológicas**

Las unidades geomorfológicas son porciones del terreno diferenciables gracias a sus características morfológicas como su posición en la ladera, forma, altura relativa, altura absoluta, tope, pendiente, existencia de cambios bruscos o ruptura en el conjunto de la unidad, longitud, inclinación, densidad y grado de incisión del drenaje, entre otras características. La pendiente del terreno es un elemento fundamental en la cartografía geomorfológica, en este caso está involucrada en las unidades geomorfológicas. En el lote se presentan las unidades de la siguiente tabla:

**Tabla 11 Unidades geomorfológicas que afloran en el lote**

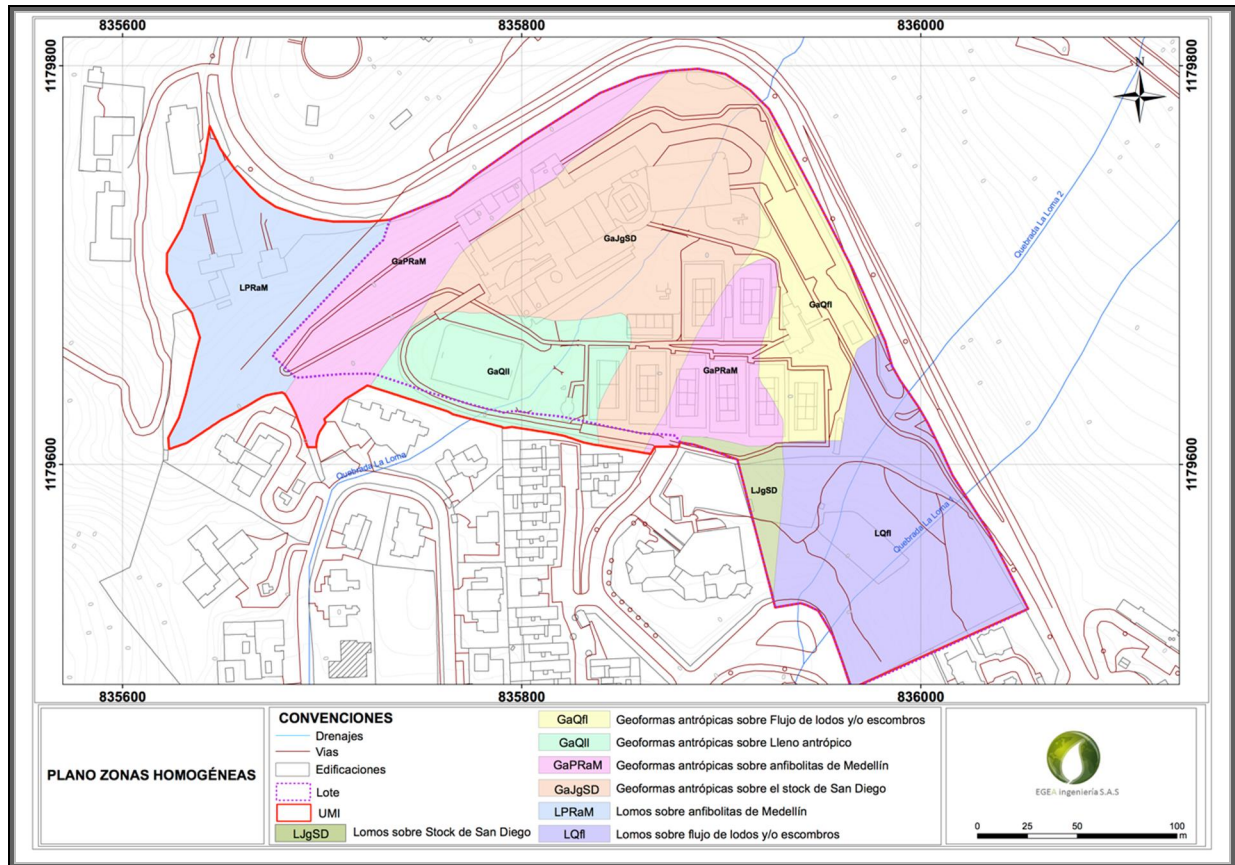
UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	
UC	Lomos
UV	Geoformas antrópicas

La superposición de mapas de unidades superficiales locales, con el mapa de unidades geomorfológicas nos da como resultado la siguiente combinación. Ver tabla atributiva.

**Tabla 12 Tabla de Atributos para zonas homogéneas**

GEOLÓGÍA	GEOMORFOLOGÍA	ZONAS HOMOGÉNEAS
Llenos antrópicos	Lomos	Geoformas antrópicas sobre flujo de lodos y/o escombros
Depósito de vertiente		Geoformas antrópicas sobre Llenos antrópicos
Stock de San Diego		Geoformas antrópicas sobre Anfibolitas de Medellín Geoformas antrópicas sobre el stock de San Diego
Anfibolita de Medellín	Geoformas antrópicas	Lomos sobre Anfibolitas de Medellín
		Lomos sobre flujo de lodos y/o escombros





**Ilustración 41 Mapa de zonas homogéneas**

- **Mapa procesos morfodinámico y mapa morfodinámica por zonas homogéneas**

Representan los procesos físicos que modelan la superficie terrestre. En el lote no se observan problemas de gran magnitud que afecten la estabilidad del terreno, Se encontró una grieta cerca al sector de las canchas de tenis y colmatación en la obra localizada en el límite este del lote, donde este drenaje genera problemas de socavación en el sector inferior del lote.

Alrededor del lote, se observó un problema de movimiento de masas en el límite este, continuó con la grieta ubicada en el lote. En este sector se encontró que en el año 1962, circulaba una corriente de agua.

La información de los procesos proporcionada, caracteriza las zonas homogéneas definiendo su morfodinámica, dicha caracterización está definida por los siguientes parámetros:

- **Grado de erosión (E):** Se consideraron las condiciones alta, media o baja, según las observaciones hechas en los recorridos de campo.





- **Densidad de movimientos en masa (D):** En este criterio se relaciona el área afectada por los movimientos en masa con un área de referencia ( $1 \text{ km}^2$ ) considerando las condiciones siguientes: (Alta:  $0,5 \text{ km}^2/\text{km}^2$  - Media:  $0,3 \text{ km}^2/\text{km}^2$  - Baja:  $0,25 \text{ km}^2/\text{km}^2$ ).
- **Volúmenes de material movilizado (V):** Este criterio mide volúmenes de material movilizado por los movimientos en masa y que son predominantes en la zona homogénea, con base en los siguientes rangos: (Pequeños: 0 a  $100 \text{ m}^3$  - Medianos: 100 a  $10.000 \text{ m}^3$  - Grandes: más de  $10.000 \text{ m}^3$ )
- **Grado de actividad (G):** Este criterio de procesos morfodinámicos se mide en: activo, inactivo y latente.

La caracterización y evaluación de los procesos erosivos en las zonas homogéneas obtenidas anteriormente da como resultado el mapa de morfodinámica; este resulta de combinar las anteriores características mediante las reglas de decisión que se presentan a continuación:

Morfodinámica alta:

- V grande o medio + G activo o latente.
- V pequeño + G activo o latente + D alta.
- V grande o medio + G inactivo (cicatrices) + D alta o media.

Morfodinámica media:

- V pequeño + G activo o latente + D medio
- V grande o medio + G inactivo (cicatrices) + D baja + E alta o media.
- V pequeño + G inactivo (cicatrices) + D alta.
- V pequeño + G inactivo (cicatrices) + D media + E alta o media.

Morfodinámica baja:

- V grande o medio + G inactivo (cicatrices) + D media o baja + E baja.
- V pequeño + G inactivo (cicatrices) + D baja + E baja.

La Tabla 13, presenta la calificación de la morfodinámica, evaluada para los polígonos que se generan a partir del álgebra de mapas.



**Tabla 13. Calificación de la morfodinámica.**

ZONA HOMOGÉNEA	GRADO DE EROSIÓN	DENSIDAD	VOLUMEN	GRADO DE ACTIVIDAD	MORFODINÁMICA
Geoformas antrópicas sobre Llano antrópico	Baja	Baja	Pequeño	Inactivo	Baja
Geoformas antrópicas sobre anfibolitas	Baja	Baja	Pequeño	Inactivo	Baja
Geoformas antrópicas sobre Flujo de lodos y/o escombros	Baja	Baja	Pequeño	Inactivo	Baja
Geoformas antrópicas sobre el stock de San Diego	Baja	Baja	Pequeño	Inactivo	Baja
Geoformas antrópicas sobre anfibolitas de Medellín	Baja	Baja	Pequeño	Inactivo	Baja
Lomos sobre flujo de lodos y/o escombros	Baja	Baja	Pequeño	Inactivo	Baja
Lomos sobre anfibolitas de Medellín	Baja	Baja	Pequeño	Inactivo	Baja
Geoformas antrópicas sobre Flujo de lodos y/o escombros	Baja	Baja	Pequeño	Activo	Baja
Geoformas antrópicas sobre anfibolitas de Medellín	Baja	Baja	Pequeño	Activo	Baja
Geoformas antrópicas sobre Flujo de lodos y/o escombros	Baja	Baja	Pequeño	Activo	Baja
Lomos sobre flujo de lodos y/o escombros	Baja	Baja	Pequeño	Activo	Baja

Una vez definidas morfodinámicamente las zonas homogéneas, se obtienen las zonas de susceptibilidad por movimientos en masa con los mismos niveles de la morfodinámica, así:

**Susceptibilidad alta:** es una zona homogénea con morfodinámica alta.

**Susceptibilidad media:** es una zona homogénea con morfodinámica media.

**Susceptibilidad baja:** es una zona homogénea con morfodinámica baja.

La pendiente topográfica es la inclinación de una superficie con respecto a la horizontal, que representa los diferentes grados de pendiente de un territorio. Para la zona de estudio la variación de elevación fue representada en valores porcentuales, cuyos rangos se califican así:

- 0 – 10% Calificación Baja
- 10- 25% y 25 – 40 % Calificación Media
- 40- 60% y >60% Calificación Alta

Una vez definidas y caracterizadas morfodinámicamente las zonas homogéneas y generado el mapa de pendientes, la calificación de Bajo, Medio y Alto, será representada con valores numéricos, cuya equivalencia es 1 a 3 respectivamente, proceso necesario para la rasterización de ambos mapas. El resultado del proceso de álgebra de mapas nos determina, que zonas con condiciones más favorables a la susceptibilidad por inestabilidad de las laderas tendrán la calificación menor (1 punto = Baja), la menos favorable tendrán la calificación mayor (3 puntos = Alta) y la intermedia tendrá un valor de



2; obteniendo así, el mapa de zonificación geotécnica cualitativa preliminar (Ilustración 42).

Las zonas calificadas como alta, son áreas que comprometen el medio físico, las obras de infraestructura básica y el entorno urbanístico.

Las zonas calificadas como media son áreas en donde las características geotécnicas de los materiales y la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad del terreno tanto activa como potencial configura una condición de riesgo que hace necesario adelantar obras de protección y o corrección del uso de la tierra y de mejoramiento de las condiciones de inestabilidad del terreno.

Y las zonas calificadas como baja son zonas con restricciones leves, donde las características geotécnicas de los materiales y la ocurrencia de fenómenos de inestabilidades tanto activas como potenciales configuran una condición de susceptibilidad que requiere de medidas preventivas y/o correctivas de uso actual de la tierra.

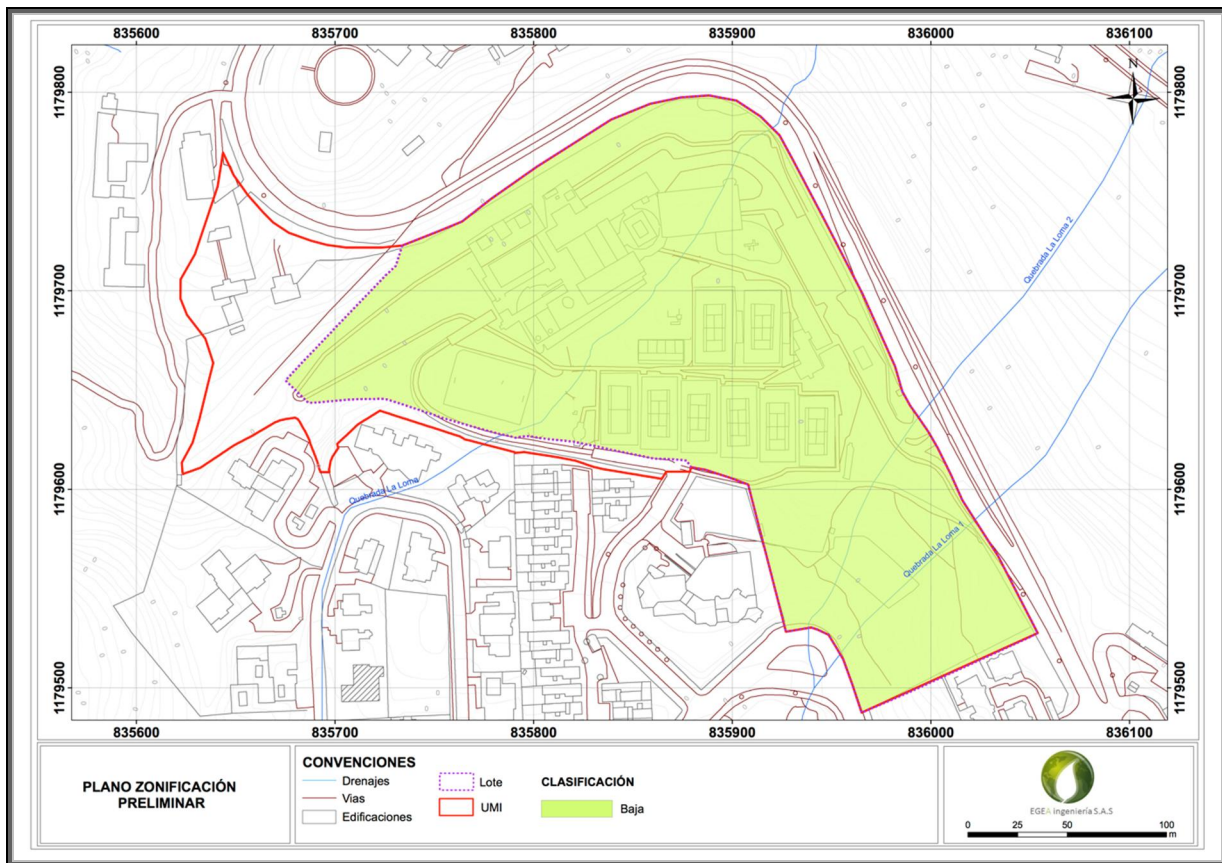


Ilustración 42 Mapa de zonificación cualitativa preliminar





Teniendo en cuenta el análisis realizado para la zonificación cualitativa preliminar junto con los resultados obtenidos, se realiza la clasificación de la aptitud geológica del predio, con base a la metodología para la elaboración de estudios geológicos y geomorfológicos asociados a la intervención de laderas en el valle de Aburrá, la cual tiene las siguientes clasificaciones:

- **Zonas Aptas (A)**

Hace referencia a zonas suaves con alta estabilidad natural, libre de procesos morfodinámicos activos e inactivos. La estabilidad se encuentra condicionada al manejo y tipo de intervención.

- **Zonas Aptas con restricciones moderadas (ARM)**

Corresponden a aquellas zonas con buen grado de estabilidad natural; sin embargo, están condicionadas por la incidencia de procesos morfodinámicos activos en las inmediaciones. La estabilidad global dependerá del manejo de los procesos morfodinámicos. Se considera que las obras de estabilización son técnica y económicamente viables.

- **Zonas Aptas con restricciones altas (ARA)**

Zonas dentro del predio de interés con mayor pendiente, donde se evidencia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos. La estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se den a dichos procesos. El estudio debe evaluar la viabilidad técnica y económica de las obras de estabilización.

- **Zonas NO Aptas (NA-I ó NA-N)**

Son aquellas zonas con problemas de inestabilidad o con restricciones por normatividad, Los signos de inestabilidad se dan por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos y además en estas zonas las obras de estabilización son técnicamente complejas y de alto costo.

Las zonas por normatividad incluyen aquellas zonas con restricciones a normativas tales como retiros, escarpes, reservas naturales, etc.

Para ello se utiliza la siguiente tabla de homologación:

**Tabla 14 Homologación de la zonificación geotécnica**

CLASIFICACIÓN DEL ACUERDO 009/2012	CLASIFICACIÓN DEL ESTUDIO
Zona Apta ZA	Amenaza baja
Zona Apta con restricciones moderadas ZAM	Amenaza media
Zonas NO Aptas (NA-I ó NA-N)	
Zonas Aptas con restricciones altas (ARA)	Amenaza alta
Zonas NO Aptas (NA-I ó NA-N)	



El lote se clasifica como una zona (A) apta, pues no se observan procesos erosivos importantes, se observan taludes internos estables y en las edificaciones no se observan daños. Sin embargo, se debe hacer una intervención en los drenajes y en la grieta que se observó en cercanía de las canchas de tenis. Por normativa se deben tener presentes los retiros tanto a quebradas como a la doble-calzada Las Palmas.

Para la zonificación se tuvieron en cuenta los retiros contemplados en el POT del municipio de Medellín tanto para la vía como para los drenajes, que en el lote, son de 10 m para los drenajes que se encuentran intervenidos (Según la normatividad con que fueron aprobadas las intervenciones anteriores) y de 20m para el cauce natural, según normatividad vigente para las nuevas intervenciones.

Adicionalmente dada la existencia de la doble calzada que limita el polígono se establece según normatividad un retiro de 30 m a la vía las Palmas a partir del eje separador, como lo estipula la norma.

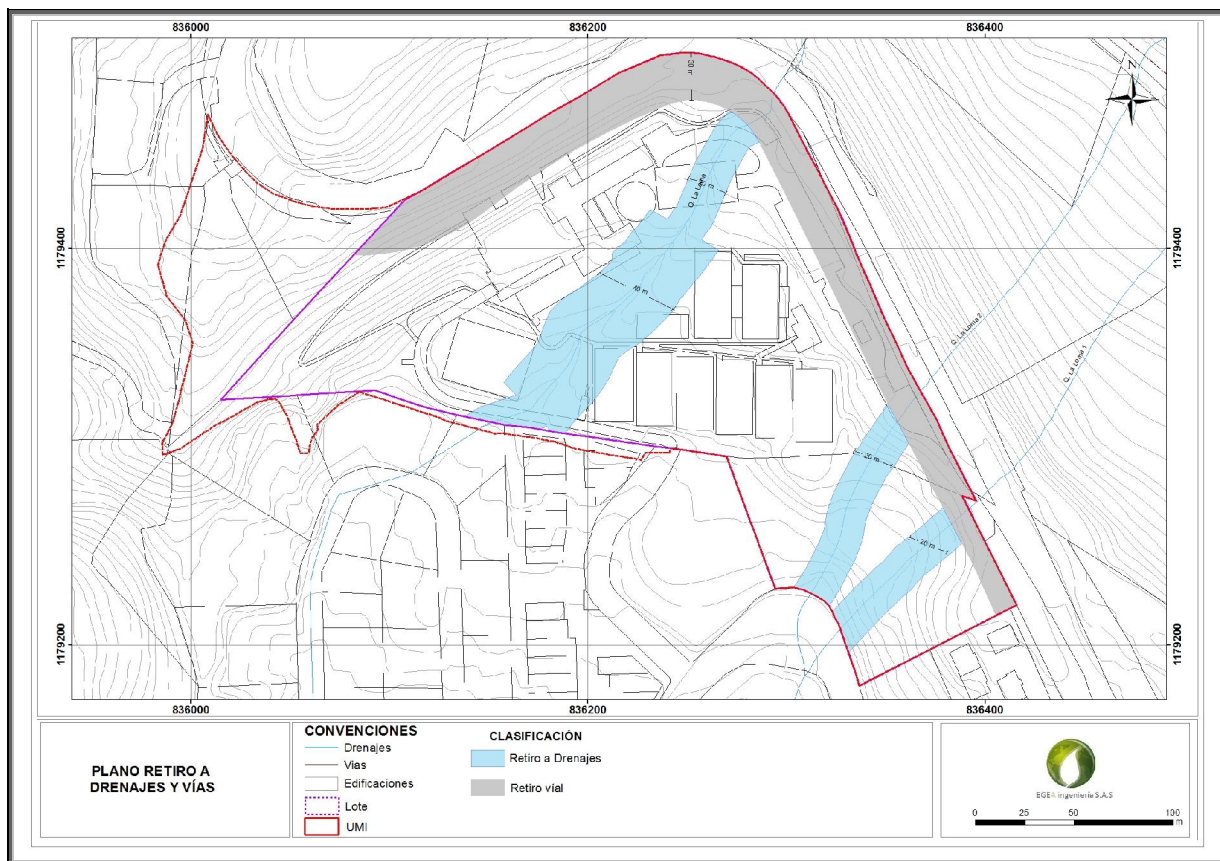


Ilustración 43 Mapa de Retiros



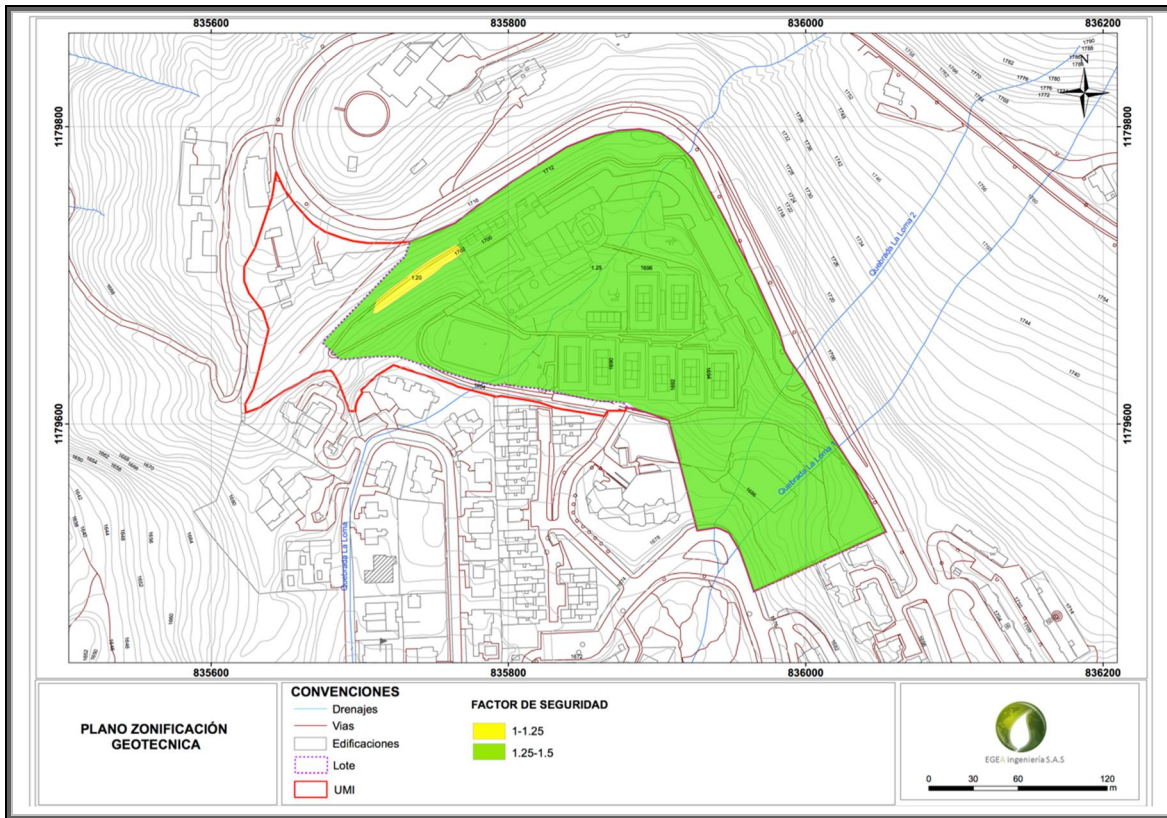
Para la elaboración de la zonificación definitiva se partió del levantamiento de 2 secciones topográficas, que abarcan la ladera, eje 1 y eje 16 respectivamente.

En cada sección se dibujaron e interpretaron las columnas estratigráficas asociadas a los sondeos exploratorios que tenían influencia sobre dichos ejes, y se tuvieron en cuenta las características de las propiedades geomecánicas de cada estrato y la profundidad del nivel freático según lo reportado por (Solingral S.A.S, 1994).

En cada sección se realizó la evaluación de la estabilidad de los taludes como se presenta en el Cap. 4. La estabilidad de los taludes se analiza con base en la relación de las fuerzas resistentes que se desarrollan a lo largo de las superficies de falla, y de las fuerzas que producen el movimiento, básicamente, la fuerza de gravedad y la aceleración adicional por sismo. La masa de la cuña de falla, entonces, depende de la altura del talud, así como del ángulo en que se encuentra dicho talud. Se realizan análisis para condiciones dinámicas y se adopta un factor de seguridad de diseño, que sugiere clasificar dentro de la categoría de restricciones altas aquellos taludes cuyo valor del Factor de Seguridad en condiciones dinámicas sea  $< 1$  (este caso no se presenta), medio entre 1.-1.25 (color amarillo en la ilustración) y bajo 1.25 – 1.5 (color verde).

Para el análisis de la zonificación se utiliza el plano de factores de seguridad en condiciones dinámicas el cual es superpuesto con igual ponderación con el plano geotécnico preliminar, realizando las correcciones y ajustes para elaborar el Mapa de zonificación Geotécnico definitivo y obtener la zonificación final donde se discriminen los sectores con similar aptitud de uso del suelo y donde se consideran además, las zonas de retiro a fuentes de agua (Ilustración 44).





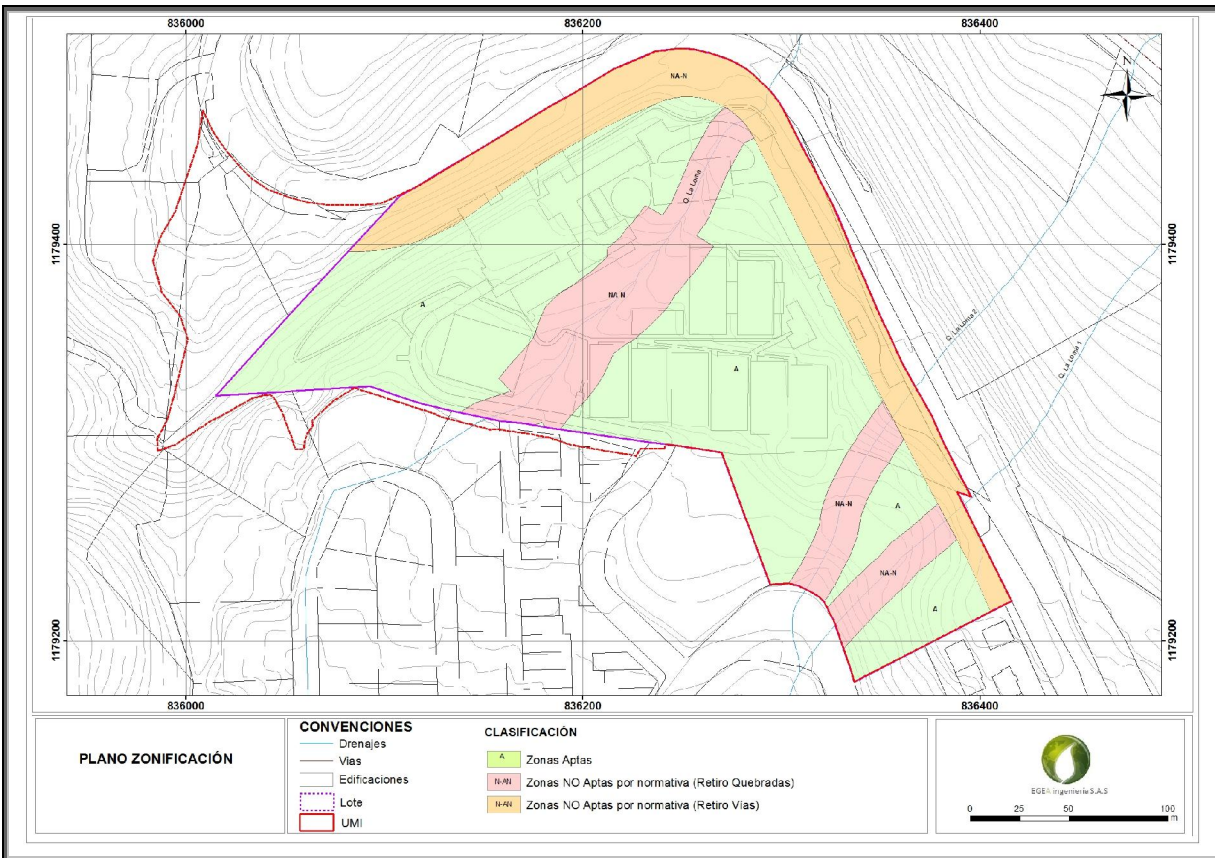
**Ilustración 44 Mapa de zonificación cuantitativa**

Una vez obtenido el mapa de zonificación cuantitativa, donde se determina que la zona del costado nor-occidental (correspondiente a la zona donde se proyecta la intervención para la ampliación de la zona de parqueaderos) presenta factores de seguridad en condiciones dinámicas entre 1.0 y 1.25, que constituyen una zona de amenaza media al deslizamiento; Se determina que la intervención en esta zona con las estructuras proyectadas mejorara las condiciones de estabilidad como se presenta en la Ilustración 38 del Cap. 4.

La Ilustración 45 presenta el mapa de zonificación definitivo teniendo en cuenta las obras proyectadas para la API, en caso contrario (sino se realizan las obras planteadas) dicha zonificación no corresponde a lo proyectado.







**Ilustración 45 Mapa de zonificación definitiva.**

A modo de recomendación se determina que es necesario que el Country club mantenga el manejo de las aguas de escorrentía como lo viene haciendo con el fin de evitar problemas de tipo erosivo. Adicionalmente se le de mantenimiento regular a las obras hidráulicas existentes y proyectadas

Las obras que se proyectan sobre taludes, deberán conformarse arquitectónicamente en escala, de tal manera que se la intervención sobre los taludes sea mínima (prácticamente nula) y su sistema de cimentación será profundo de manera que intercepte posibles superficies de falla y se garantice estabilidad tanto de los taludes, como de las estructuras. Cada obra deberá tener su estudio particular de suelos y análisis de estabilidad de taludes.

En la zona donde se genera el proceso de deslizamiento tipo desgarre superficial (costado nororiental) será necesario realizar el sellamiento de grietas y mejorar la batería de drenes para el manejo de aguas subsuperficiales.



## 6 REFERENCIAS

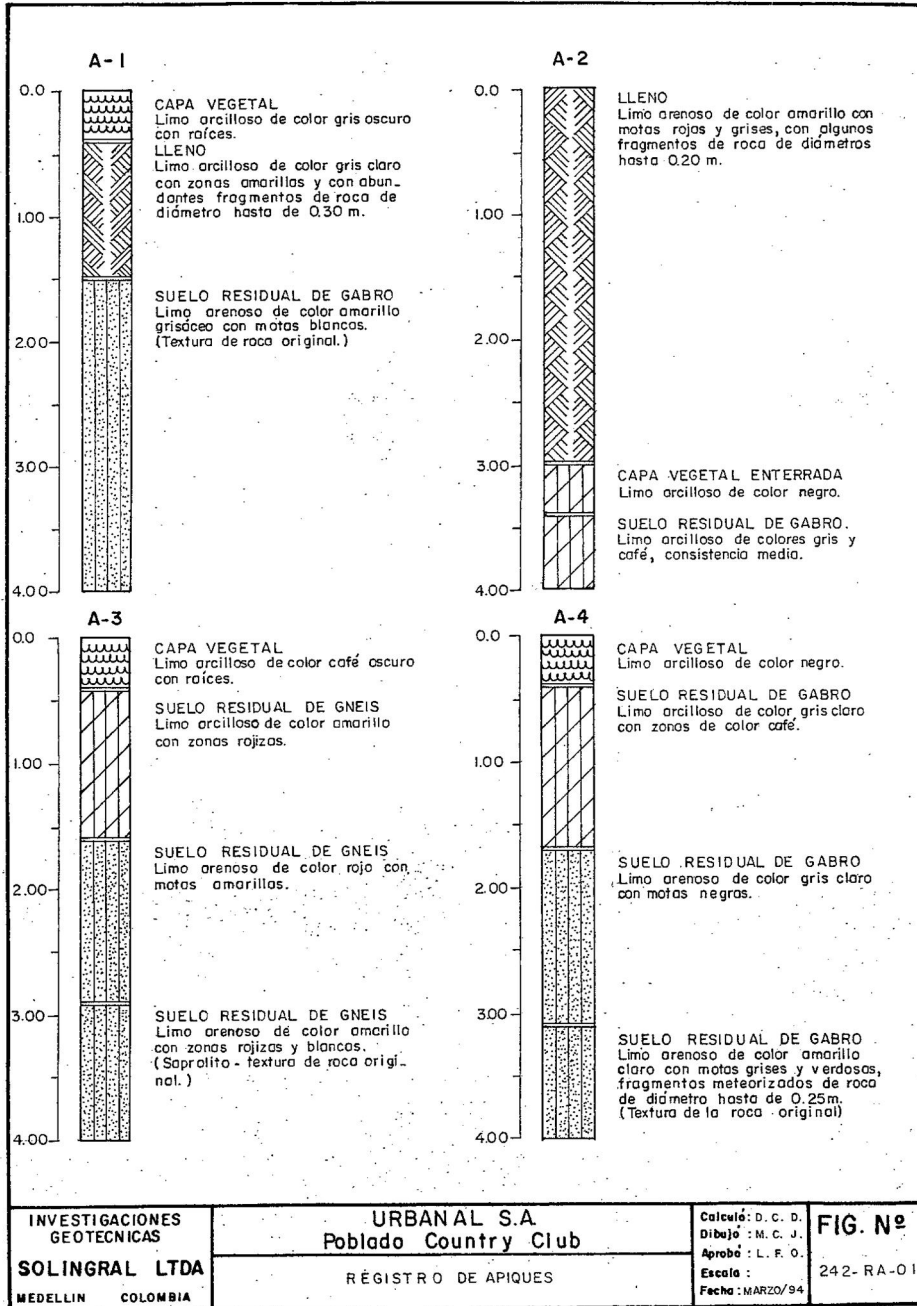
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012). *Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervención en zonas de laderas en el Valle de Aburra*. Medellín, Colombia.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). *Estudio de microzonificación Sísmica del Valle de Aburrá*.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. (2010). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Bard, P. Y. ves. (1999). Microtremor Measurements: A Tool for Site Effect Estimation. En: *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*. Eds. Irikura, K., Kudo, K. Okada, H. Satasini, T. Balkema, Rotterdam, 3(9058090302), 1251–1279.
- Botero, G. (1963). Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. *Anales Fac. Minas, Univ. Nacional, N. 57*, pp 1–101.
- Dikmen, Ü. (2010). Reply to comment on “Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils.” *Journal of Geophysics and Engineering*, 7(1), 803–804. doi:10.1088/1742-2132/7/1/N02
- EGEA Ingeniería S.A.S. (2015). *INFORME DE PROSPECCIÓN SÍSMICA API COUNTRY CLUB - Ensayo de dispersión de ondas superficiales ReMi*. Medellín, Colombia.
- Facultades de Arquitectura y Minas-Universidad Nacional de Colombia. (2007). *Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá*.
- Gloria, T. V., & Velásquez, R. A. (1984). *Estudio Geomorfológico y Estructural del Valle de Aburrá, (Comprendido entre el Municipio de Caldas y las Quebradas La Iguaná y Santa Elena, -zonas 2 y 3 de 6)*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Grupo de sismología de Medellín. (1999). *Instrumentación y Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín*. Medellín, Colombia.
- Grupo de Sismología de Medellín. (2002). *Microzonificación sísmica de los municipios del valle de Aburrá y definición de zonas de riesgo por movimientos en masa e inundaciones*. Medellín, Colombia.
- INGEOMINAS. (2005). *Geología de la plancha 147. Medellín Oriental*.
- Integral, D. de P. E. (2009). *Perfil regional del suroeste*.
- Louie, J. N. (2001). Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth From Refraction Microtremor Arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America.*, vol. 91, n, 347–364. Retrieved from <http://www.seismo.unr.edu/>
- Mayne, P. W. (2001). Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced in-situ tests. *Measurement*, 27–48.
- Municipio de Medellín. Revisión y el ajuste de largo plazo del Plan Ordenamiento Territorial del municipio de Medellín, Pub. L. No. ACUERDO N 48° DE 2014 (2014).



- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800. doi:10.1190/1.1444590
- Pérez, I. (2012). *Caracterización geotécnica de los suelos de madrid mediante la técnica ReMi (Refraction Microtremor)*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.
- Restrepo, J., & Toussaint, J. (1984). Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. I Conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá. *Soc. Col. Geol. Memorias*, 1–26.
- Schwerdtfeger, & Werner. (1976). Climates of Central and South America. *World Survey of Climatology*, 12, 532.
- Solingral S.A.S. (1994). *Estudio geológico getécnico para el planeamiento y desarrollo del proyecto Poblado Country Club*. Medellín, Colombia.
- Solingral S.A.S. (2012a). *Estudio geotécnico requerido para el diagnóstico del fenómeno de inestabilidad presente enel lote ubicado en cercanías a la vía las Palmas (sector Country Club), de propiedad de la ConConcreto S.A. y que limita con el Conjunto Residencial Continental*. Medellín, Colombia.
- Solingral S.A.S. (2012b). *Patología estructural Conjunto Residencial Continental - Vía las Palmas*.
- Taga, N. (1993). Earthquake motion and ground conditions. *The Architectural Institute of Japan*, 315–325.
- Toussaint, J. F. (1996). Evolución Geológica de Colombia 3: Cretácico. *Universidad Nacional, Facultad de Minas*.



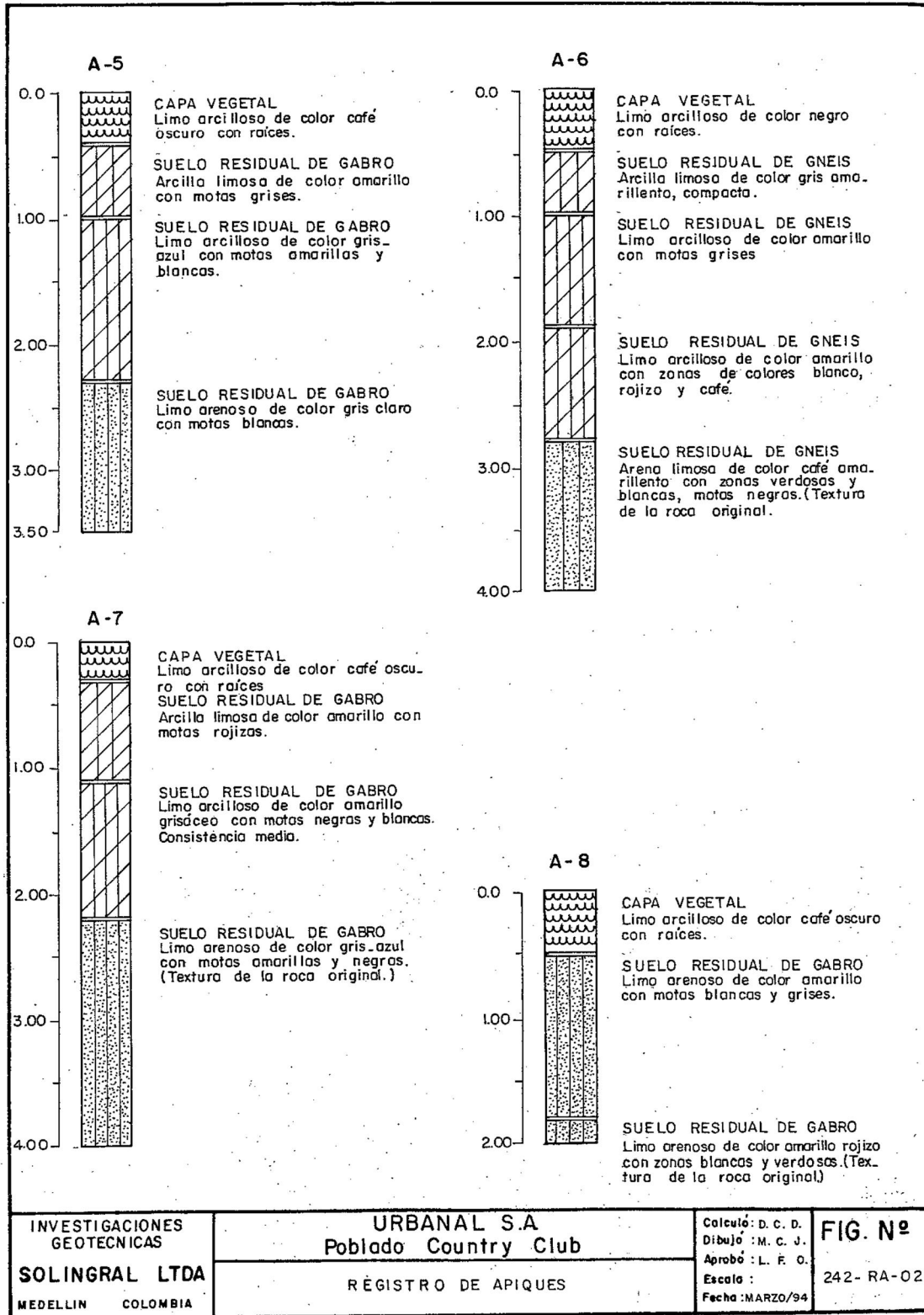
**ANEXO I REGISTROS DE PERFORACIONES Y APIQUES Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO <sup>14</sup>**



<sup>14</sup> Información obtenida de (Solingral S.A.S, 1994)







- 9

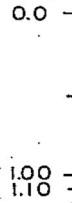


**CAPA VEGETAL**  
Limo arcilloso de color gris oscuro con raíces.

**SUELO RESIDUAL DE GABRO**  
Arcilla limosa de color gris-azul claro con motas amarillas y negras.

**SUELO RESIDUAL DE GABRO**  
Limo arcilloso de color café amarillento con motas grises y rojas, algunos fragmentos de roca meteorizados. (Textura de roca original.)

A-10



**CAPA VEGETAL**  
Limo arcilloso de color negro con pequeños fragmentos de roca.

**SUELO RESIDUAL DE GABRO**  
Limo arenoso de color amarillo con zonas blancas. Consistencia media.

- 11



**CAPA VEGETAL**  
Limo arcilloso de color café oscuro con raíces.

**SUELO RESIDUAL DE GNEIS**  
Limo arcilloso de color café con motas amarillas y rojizas.

**SUELO RESIDUAL DE GNEIS**  
Limo arenoso de color amarillo rojizo con motas de colores morado y blanco, con pequeños fragmentos de roca descompuesta. Consistencia media.

A-12



**CAPA VEGETAL**  
Limo arcilloso de color café oscuro con raíces.

**SUELO RESIDUAL DE GABRO**  
Limo arenoso de color amarillo rojizo, con raíces.

SACIONES  
CNICAS  
RAL LTDA  
COLOMBIA

URBANAL S.A.  
Poblado Country Club

RÉGISTRO DE APIQUES

Calculó: D. C. D.  
Dibujó: M. C. J.  
Aprobó: L. F. O.  
Escala:  
Fecha: MARZO/94

FIG. N°  
242- RA-C



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: elizabethmejiaa@gmail.com ingo.ericssanchez@gmail.com



INVESTIGACIONES GEOTECNICAS  
SOLINGRAL LTDA.

PERFORACION N° P-1  
HOJA N° 1 DE 1

REGISTRO DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

TRABAJO N° 242 TALADRO RAMROD No. 3 MARTINETE PESO(Kg) ALT. CAIDA(cm)  
 PROYECTO POBLADO COUNTRY CLUB ANGULO VERTICAL PARA MUESTRAS 63.5 76  
 LOCALIZACION PERFORADOR J.G.  
 COTA (m.s.n.m.) INSPECTOR G.H. FECHA 6-XI-92 A 9-XI-92

Profundidad en (cotas) m	Muestra N°	% Recobramiento	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del material	Muestreador o Corona	Golpes/15 cm Para Muestreador	Tipo de Revestimiento	Resumen de Resultados de Ensayos								
									Humedad Natural %	Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	W <sub>L</sub> %	W <sub>p</sub> -C' (1/100) %	Compresión sí. Kg/cm <sup>2</sup>	Límite Líquido %	Índice Plástico %	Granulometría para M#4-200	Clasificación U.S.C.S.
0					LLENO Arena limosa con algunos cantos de diámetros hasta 0.05 m. de roca gabroide, algunos muy meteorizados.	Triceno φ 2 15/16"											
1	1	100				Shelby	15										
2	2	66.7				STD Shelby	24 18			13.1			24	4	89.0 23.8	SM-SC	
3	3	0.0			SUELO RESIDUAL De gabro. Limo arenoso de color café amarillento con zonas grises.	Triceno φ 2 15/16"											
4	4	55.6				Shelby	25										
5	5	41.6				STD	38										
6	6	0.0			SUELO RESIDUAL De gabro. Arena limosa de color café amarillento (sapolito-horizonte IC) con mica.	Triceno φ 2 15/16"				25.7	1.513		1.73	42	11	100 70.6	ML
7	7	100				Shelby	6										
8	8	100			SUELO RESIDUAL De gabro. Arena limosa de color café rojizo con abundante mica y pequeños diques de cuarzo y feldespato meteorizado.	Triceno φ 2 15/16"											
9	9	75				STD	14										
10	10	50				Triceno φ 2 15/16"	19										
11	11	52.2			TRANSICIÓN SUELO-ROCA (IC-IIA) Roca de textura gabroide. Núcleos de roca meteorizados con zonas de sapolito.	Shelby STD	24 40			20.3	1.769			30	7	99.2 31.5	SM
12	12	12.5				Triceno φ 2 15/16"											
13	13					Broca NQ											
14	14	67.5				Triceno φ 2 15/16"											
15						Varilla AW Broca NQ											

Prohibida la Reproducción

FIG. N° 242-RP-01



INVESTIGACIONES GEOTECNICAS  
SOLINGRAL LTDA.

PERFORACION N° P-2  
HOJA N° 1 DE 2

REGISTRO DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

TRABAJO N° 242 TALADRO RAMROD No 3 MARTINETE PESO(Kg) ALT. CAIDA(cm)  
 PROYECTO POBLADO COUNTRY CLUB ANGULO VERTICAL PARA MUESTRAS 63.5 76  
 LOCALIZACION PERFORADOR J.G.  
 COTA (m.s.n.m.) INSPECTOR G.H. FECHA 11-XI-92 A 13-XI-92

Profundidad en m (cotas)	Muestra N°	% Recobramiento	Símbolo	Nivel Fredrico	Descripción del material	Muestreador o Corona	Golpes/15 cm Para Muestreador	Tipo de Revestimiento	Resumen de Resultados de Ensayos								
									Humedad Natural %	Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Triaxial σ-C (1/m <sup>2</sup> )	Compresión al Límite Líquido kg/cm <sup>2</sup>	Índice Plástico %	Índice %	Granulometría para Nº4-200	Clasificación U.S.C.S.	
0					LLENO Arcilla limosa de color café amarillento.	Tricono # 2 15/16"											
1	1	66.7				Shelby	4										
2	2	100				STD	6										
3	3	100				Tricono # 2 15/16"	7										
4	4	100				Shelby	6										
5	5	41.7			SUELO RESIDUAL De gabra. Limo arcilloso de color café amarillento con zonas grises.	Tricono # 2 15/16"	7										
6	6	88.9				STD	9										
7	7	83.3				Shelby	7										
8	8	100				STD	9										
9	9	91.7				Tricono # 2 15/16"	11										
10	10	100				Shelby	11										
11	11	88.9				STD	15										
12	12	77.8			SUELO RESIDUAL Limo arenoso de color rojo con motas negras y blancas micáceo.	Tricono # 2 15/16"	10										
13	13	66.7				STD	8										
14	14	100				Tricono # 2 15/16"	10										
15	15	100				Shelby	37										
						STD	40										
						Tricono # 2 15/16"	13										
						STD	23										
						Tricono # 2 15/16"	40										

Prohibida la Reproducción

FIG. N° 242-RP-02





**SOLINGUAL LTDA.**

HOJA N° 1 DE 1

N° 242 PROYECTO POBLADO COUNTRY CLUB

Muestra N°	% Recobramiento	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del material	Muestreador o Corona	Golpes/15 cm Para Muestreador	Tipo de Revestimiento	Resumen de Resultados de Ensay									
								Humedad Natural %	Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Triaxial σ <sup>1</sup> -C <sup>1</sup> (T/m <sup>2</sup> )	Compresión sí. Kg/cm <sup>2</sup>	Límite Líquido %	Índice Plástico %	Comentarios			
16				SAPROLITO DE GABRO Arena limosa de color café con motas amarillas y blancas con textura de la roca original.	Shelby	20											
17	100				STD	40	R		24.5				34	8	19.4		
18	80			TRANSICION SUELO-ROCA	Tricono ø 2 15/16"	35											
					STD	40	R										
19	100				Tricono ø 2 15/16"	40											
					STD	40	R										
20	8.82				Broca NQ												
21	0				STD	40	R										



INVESTIGACIONES GEOTECNICAS  
SOLINGRAL LTDA.

PERFORACION N° P-3  
HOJA N° 1 DE 2

REGISTRO DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

TRABAJO N° 242 TALADRO RAMROD No 3 MARTINETE PESO(Kg) ALT. CAIDA(cm)  
PROYECTO POBLADO COUNTRY CLUB ANGULO VERTICAL PARA MUESTRAS 63,5 76  
LOCALIZACION PERFORADOR C.C.  
COTA (m.s.n.m.) INSPECTOR G.H. FECHA 13-XI-92 A 17-XI-92

Profundidad en m (cotas)	Muestra N°	% Recobramiento	Símbolo	Nivel Fredfco	Descripción del material	Muestreador o Corona	Golpes/15 cm Para Muestreador	Tipo de Revestimiento	Resumen de Resultados de Ensayos								
									Humedad Natural %	Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Triaxial $\sigma_1 - \sigma_3$ (T/m <sup>2</sup> )	Compresión síl. Kg/cm <sup>2</sup>	Límite Líquido %	Índice Plástico %	Grenulometría/ peso M/4-200	Clasificación U.S.C.S.	
0					LLENO RECIENTE De material residual de corte de la vía. Arena limosa con fragmentos de roca de diámetros hasta 0.05 m.	Triceno $\phi$ 2 15/16"											
1	1	48.6				Shelby	18			19.3	1.691	1.62	35	8	95.5	43.0	SM
2	2	88.9			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita. Arena limosa de color café amarillento con motas blancas y abundante mica.	STD	23										
3	3	100				Triceno $\phi$ 2 15/16"	20										
4	4	100			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita. Arena limosa de color café amarillento con motas blancas y abundante mica.	Shelby	35										
5	5	41.7				Triceno $\phi$ 2 15/16"	9			22.2	1.435	0.90					
6	6	77.8			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita. Arena limosa de color-rojizo a café amarillento con motas blancas y abundante mica.	STD	12										
7	7	30				Triceno $\phi$ 2 15/16"	10										
8	8	88.9			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita. Arena limosa de color-rojizo a café amarillento con motas blancas y abundante mica.	Shelby	15										
9	9	43.3				Triceno $\phi$ 2 15/16"	13			42.3	1.159		40	11	100	29.1	SM
10	10	55.6			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita con algunas estructuras (diacclas) heredadas de la roca madre. Limo arenoso de color café con mica abundante.	STD	24										
11	11	25				Triceno $\phi$ 2 15/16"	9										
12	12	66.7			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita con algunas estructuras (diacclas) heredadas de la roca madre. Limo arenoso de color café con mica abundante.	Shelby	15										
13	13	58.3				Triceno $\phi$ 2 15/16"	12			33.5	1.268	1.12					
14	14	77.8			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita con algunas estructuras (diacclas) heredadas de la roca madre. Limo arenoso de color café con mica abundante.	STD	18										
15	15	50				Triceno $\phi$ 2 15/16"	10			35.9	1.274	1.41	49	17	100	61.7	ML
16	16	66.7			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita con algunas estructuras (diacclas) heredadas de la roca madre. Limo arenoso de color café con mica abundante.	Shelby	18										
17	17	70				Triceno $\phi$ 2 15/16"	15										
18	18	88.9			SUELO RESIDUAL De gabro ó diorita con algunas estructuras (diacclas) heredadas de la roca madre. Limo arenoso de color café con mica abundante.	STD	25										
19	19	88.9				Triceno $\phi$ 2 15/16"	15										

Prohibida la Reproducción

FIG. N° 242- RP- 04



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín

Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: elizabethmejiaa@gmail.com ingo.eric Sanchez@gmail.com



INVESTIGACIONES GEOTECNICAS  
SOLINGRAL LTDA.

PERFORACION N° P-3  
HOJA N° 2 DE 2

TRABAJO N° 242 PROYECTO POBLADO COUNTRY CLUB

Profundidad en m. (cotas)	Muestra N°	% Recobramiento	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del material	Muestreador o Corona	Galpes/15 cm Para Muestreador	Tipo de Revestimiento	Resumen de Resultados de Ensayos									
									Humedad Natural %	Densidad Seca $\gamma_d$ t/m <sup>3</sup>	Traxial $\phi^c - C$ (t/m <sup>2</sup> )	Compresión sí. Kg/cm <sup>2</sup>	Límite Líquido %	Índice Plástico %	Cronométrica pesa M/A-200	Clasificación U.S.C.S.		
15	19	100				Tricorno 9 2 15/16"	14											
16	20	0				Shelby STD	24 40											
16	21	62.5				STD	17 35 40		27.7			36	9	99.4 28.7			SM	

Prohibida la Reproducción

FIG. N° 242-RP-05



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: elizabethmejiaa@gmail.com ingo.eric Sanchez@gmail.com



INVESTIGACIONES GEOTECNICAS  
SOLINGRAL LTDA.

PERFORACION N° P-4  
HOJA N° 1 DE 1

REGISTRO DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

TRABAJO N° 242 TALADRO RAMROD No 3 MARTINETE PESO(Kg) ALT. CAIDA(cm)  
PROYECTO POBLADO COUNTRY CLUB ANGULO VERTICAL PARA MUESTRAS 63.5 76  
LOCALIZACION PERFORADOR J.G.  
COTA (m.s.n.m.) INSPECTOR H.G. FECHA 18-XI-92 A 19-XI-92

Profundidad en m. (cotas)	Muestra N°	% Recobramiento	Símbolo	Nivel Freático	Descripción del material	Muestreador o Corona	Golpes/15 cm Para Muestreador	Tipo de Revestimiento	Resumen de Resultados de Ensayos									
									Moistad Natural %	Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Triaxial $\sigma_1 - \sigma_3$ (T/m <sup>2</sup> )	Compresión uniaxial $\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Límite Líquido %	Índice Plástico %	Granulometría para M#4-200	Clasificación U.S.C.S.		
0					LLENO Y COLUVION	Triceno $\phi$ 2 15/16"												
1	1	83.7			Limo arcilloso de color café verdoso con pequeños fragmentos de roca.	Broca NO												
2	2	100				Shelby STD	30			33.8	1.359	2.67	50	18	96.8			MH
3	3	50																
4	4	25.9																
5	5	66.7			SUELO RESIDUAL	Broca NO												
6	6	83			Limo arcilloso de color café rojizo con motas blancas, negras y grises.	Shelby STD	25											
7	7	100				Triceno $\phi$ 2 15/16"												
8	8	28.6				Broca NO												
9	9	76.7			SUELO RESIDUAL	Triceno $\phi$ 2 15/16"				39.1	1.257	1.66	54	15	99.5			MH
10	10	100			Limo arcilloso de color café con zonas arenosas y abundantes motas negras y amarillas.	Shelby STD	9											
11	11	61.7				Triceno $\phi$ 2 15/16"												
12	12	77.8				Shelby STD	13											
13	13	75			SUELO RESIDUAL	Triceno $\phi$ 2 15/16"												
14	14	44.4			De gabra con textura de la roca original. Limo arcilloso de color gris verdoso con zonas arenosas. Presenta bandeamiento de minerales alterados a arcillas.	Shelby STD	9											
15						Triceno $\phi$ 2 15/16"												

Prohibida la Reproducción

FIG. N° 242-RP-06



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: elizabethmejiaa@gmail.com ingo.eric Sanchez@gmail.com





## ANEXO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS ENSAYO DE DISPERSIÓN DE ONDAS SUPERFICIALES REMI (REFRACTION MICROTREMOR).

El método ReMi o sísmica pasiva fue propuesto por (Louie, 2001) y constituye uno de los más recientes avances entre los métodos geofísicos aplicados a la caracterización y evaluación de terrenos para la ingeniería civil. Este método se basa en una combinación de las técnicas SASW y MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park, Miller, & Xia, 1999), que permite obtener la curva de dispersión de las ondas Rayleigh a partir del registro del ruido ambiental.

El ruido sísmico ambiental (microtremores) consiste en las vibraciones producidas por los fenómenos atmosféricos y por la actividad humana y se propaga por el terreno en forma de ondas elásticas, mayoritariamente de tipo Rayleigh (Taga, 1993) (Bard, 1999). Como no hay una fuente específica de energía este método también se conoce como sísmica pasiva.

La técnica ReMi adopta el análisis de datos multicanal del MASW con el análisis espectral de las ondas superficiales del SASW para estimar la variación de velocidad de las ondas S con la profundidad (Pérez, 2012). En la Ilustración 46 se presenta el comportamiento de las diferentes ondas en superficie.

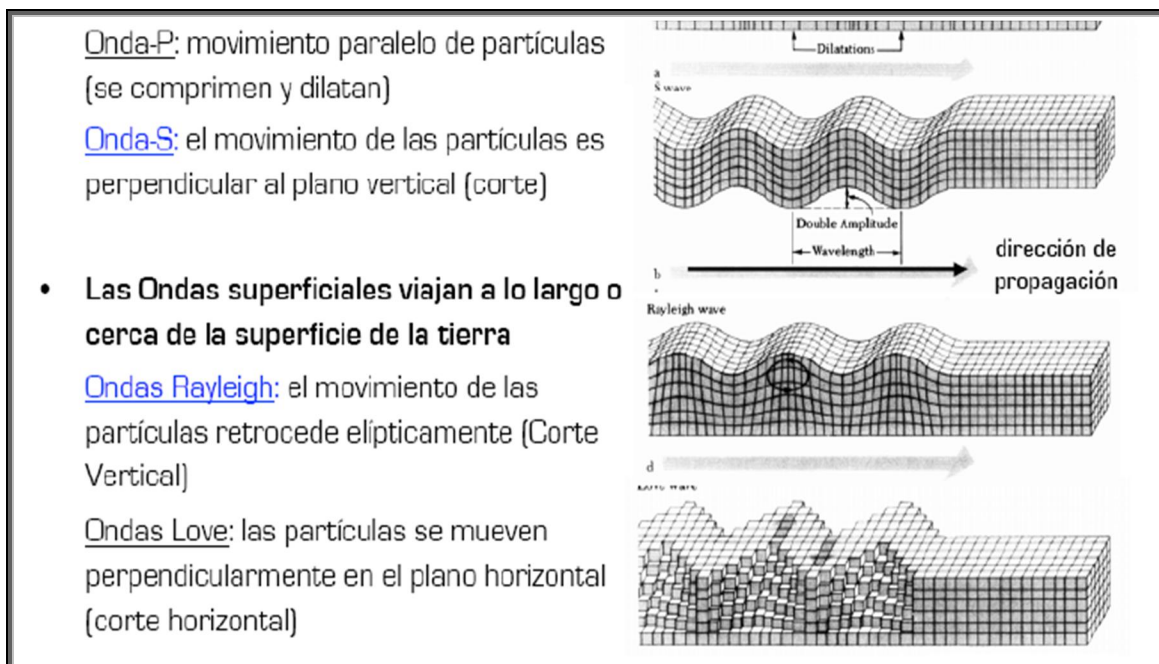


Ilustración 46 Movimiento de partículas VS dirección de propagación



## ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEO-MECÁNICOS.

La velocidad de las ondas en el suelo, están determinadas por propiedades físicas (como la densidad) y por propiedades elásticas de los materiales que atraviesan. Las propiedades elásticas se describen mediante las relaciones entre esfuerzo - deformación, que en este tipo de medios es una relación lineal que se expresa mediante los módulos elásticos (Tabla 15). Por lo tanto, si calculamos la velocidad de propagación de las ondas podemos conocer las propiedades elásticas del terreno ensayado, (Pérez, 2012).

**Tabla 15 Módulos elásticos que definen las relaciones lineales entre cada tipo de esfuerzo y su deformación resultante.**

Nombre	Definición	Fórmula	En función de V
Módulo de Young E	$\frac{\sigma \text{ longitudinal}}{\varepsilon \text{ longitudinal}}$	$E = 2 \cdot G \cdot (1 + \nu)$	$E = 2 \cdot V_s^2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu)$
Módulo de rigidez G	$\frac{\sigma \text{ cizalla}}{\varepsilon \text{ cizalla}}$	$\frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$	$G = V_s^2 \cdot \rho$
Módulo de Bulk K	$\frac{P \text{ hidrostática}}{\varepsilon \text{ volumétrica}}$	$\frac{E}{3 \cdot (1 - 2\nu)}$	$K = V_p^2 \cdot \rho - \frac{4 \cdot V_s^2 \cdot \rho}{3}$
Coefficiente de Poisson $\nu$	$\frac{\varepsilon \text{ transversal}}{\varepsilon \text{ longitudinal}}$	$\frac{3K - 2G}{2 \cdot (3K + G)}$	$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 \cdot \left(\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right)}$

Dónde:  $\sigma$  es el esfuerzo y  $\varepsilon$  la deformación resultante.

Conocida la velocidad de corte a partir de correlaciones con la velocidad compresional, y densidades de los diferentes estratos que componen el subsuelo y dadas las relaciones matemáticas expresadas a continuación es posible calcular la relación de poisson ( $\nu$ ), y los módulos de Elasticidad ( $E_0$ ) y de Corte máximo ( $G_0$ ) para bajas deformaciones.

Tradicionalmente se ha considerado que el módulo cortante  $G_0$  obtenido a partir de las velocidades de ondas sísmicas, sólo tiene aplicación en el campo de la dinámica de suelos. Investigaciones realizadas en los últimos 20 años han demostrado que valores de  $G_0$  corregidos para niveles de deformación apropiados, pueden ser de utilidad para problemas geotécnicos estáticos como es el diseño de cimentaciones (Mayne, 2001). Conocido  $G_0$  se pueden estimar módulos de rigidez al cortante (G) y elásticos (E) correspondientes a una deformación angular de 0.1%, y con ellos determinar los



asentamientos en fundaciones, con expresiones matemáticas deducidas para suelos no cementados.

El comportamiento real de los suelos es no lineal, por ende la rigidez de este varía con el nivel de deformación impuesto. Como se puede observar en la Ilustración 47, el módulo de rigidez obtenido a partir de ensayos geofísicos corresponde a bajas deformaciones (10<sup>-6</sup> - 10<sup>-5</sup>), por tanto para efectos de verificación de asentamientos en fundaciones, se debe usar un módulo de rigidez modificado.

(Mayne, 2001), después de varias correlaciones propuso la siguiente relación:

$$E / E_0 = 1 - (q / q_u)^g$$

Recomendando g=0.3 para suelos no cementados. Sin embargo, como no existen datos para suelos tropicales cementados, este valor se asume como conservador, ya que en los suelos residuales la rigidez en el rango inicial disminuye con mayor lentitud a favor de los cementantes.

La ecuación anterior se puede escribir en términos del factor de seguridad:

$$E / E_0 = 1 - (1 / F.S)^{0.3}$$

Donde E<sub>0</sub> es la rigidez medida en el ensayo geofísico. Se trabajó con un Factor de Seguridad de 2, según lo reportado por (Mayne, 2001).

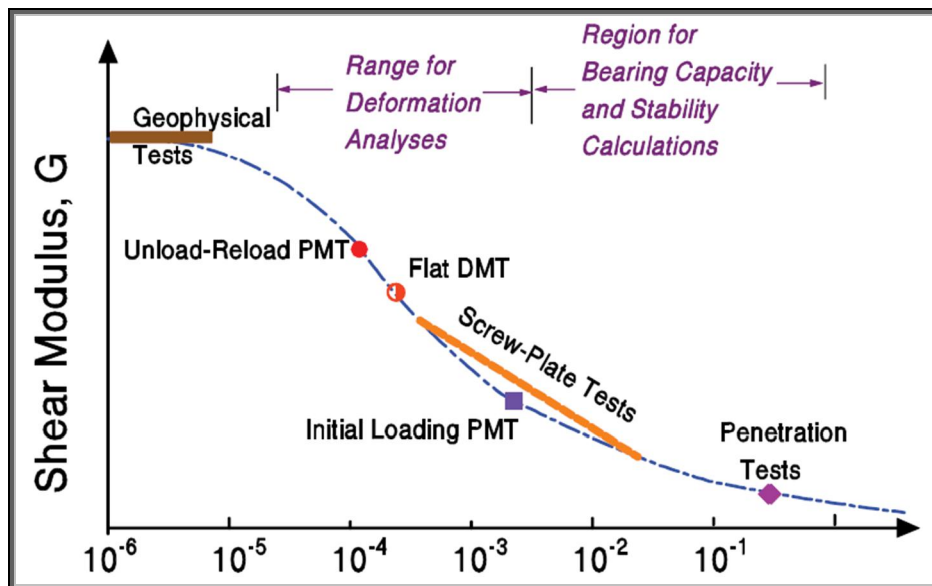


Ilustración 47 Variación conceptual del Módulo de rigidez con respecto al nivel de deformaciones bajo cargas monotónicas estándar relacionados con ensayos in situ.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Imagen tomada de Tomado de (Mayne, 2001).



La resistencia mecánica de los diferentes estratos en función del número de golpes a la penetración estándar con base en la velocidad de la onda cortante  $V_s$ , se determinó a partir del promedio de las diferentes correlaciones publicadas y avaladas en la literatura técnica para todo tipo de suelos, las cuales se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 16 Correlaciones entre N y  $V_s$ <sup>16</sup>**

Author(s)	All soils	Sand	Silt	Clay
1 Shibata (1970)	–	$V_s = 31.7 N^{0.54}$	–	–
2 Ohba and Toriuma (1970)	$V_s = 84 N^{0.31}$	–	–	–
3 Imai and Yoshimura (1975)	$V_s = 76 N^{0.33}$	–	–	–
4 Ohta <i>et al</i> (1972)	–	$V_s = 87.2 N^{0.36}$	–	–
5 Fujiwara (1972)	$V_s = 92.1 N^{0.337}$	–	–	–
6 Ohsaki and Iwasaki (1973)	$V_s = 81.4 N^{0.39}$	–	–	–
7 Imai <i>et al</i> (1975)	$V_s = 89.9 N^{0.341}$	–	–	–
8 Imai (1977)	$V_s = 91 N^{0.337}$	$V_s = 80.6 N^{0.331}$	–	$V_s = 80.2 N^{0.292}$
9 Ohta and Goto (1978)	$V_s = 85.35 N^{0.348}$	–	–	–
10 Seed and Idriss (1981)	$V_s = 61.4 N^{0.5}$	–	–	–
11 Imai and Tonouchi (1982)	$V_s = 97 N^{0.314}$	–	–	–
12 Sykora and Stokoe (1983)	–	$V_s = 100.5 N^{0.29}$	–	–
13 Jinan (1987)	$V_s = 116.1(N+0.3185)^{0.202}$	–	–	–
14 Okamoto <i>et al</i> (1989)	–	$V_s = 125 N^{0.3}$	–	–
15 Lee (1990)	–	$V_s = 57.4 N^{0.49}$	$V_s = 105.64 N^{0.32}$	$V_s = 114.43 N^{0.31}$
16 Athanasopoulos (1995)	$V_s = 107.6 N^{0.36}$	–	–	$V_s = 76.55 N^{0.445}$
17 Sisman (1995)	$V_s = 32.8 N^{0.51}$	–	–	–
18 Iyisan (1996)	$V_s = 51.5 N^{0.516}$	–	–	–
19 Kanai (1966)	$V_s = 19 N^{0.6}$	–	–	–
20 Jafari <i>et al</i> (1997)	$V_s = 22 N^{0.85}$	–	–	–
21 Kiku <i>et al</i> (2001)	$V_s = 68.3 N^{0.292}$	–	–	–
22 Jafari <i>et al</i> (2002)	–	–	–	$V_s = 27 N^{0.73}$
23 Hasancebi and Ulusay (2006)	$V_s = 90 N^{0.309}$	$V_s = 90.82 N^{0.319}$	–	$V_s = 97.89 N^{0.269}$
24 Ulugergerli and Uyanik (2007)	${}^a V_{SU} = 23.291 \ln(N) + 405.61$ ${}^b V_{SL} = 52.9 e^{-0.011N}$	–	–	–

<sup>16</sup> Tabla tomada de (Dikmen, 2010). La utilización de estas correlaciones quedan bajo la responsabilidad de quien interprete los resultados.





## ANEXO III PLANOS



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: [elizabethmejiaa@gmail.com](mailto:elizabethmejiaa@gmail.com) [ingo.ericssanchez@gmail.com](mailto:ingo.ericssanchez@gmail.com)



---

## ANEXO IV MEMORIAS EN FORMATO DIGITAL



EGEA ingeniería s.a.s

Calle 8 No. 84 F-155 Of 1047. Medellín  
Telefax 3438853. Celular 3108953030

E-mail: [elizabethmejiaa@gmail.com](mailto:elizabethmejiaa@gmail.com) [ingo.eric Sanchez@gmail.com](mailto:ingo.eric Sanchez@gmail.com)

