



Alcaldía de Medellín

DOCUMENTO TECNICO DE SOPORTE (MODIFICACIÓN)

DIAGNÓSTICO

PLAN PARCIAL COLINAS DEL PORVENIR

POLÍGONO Z6_D_4



2022



Alcaldía de Medellín

TABLA DE CONTENIDO

1. CONTEXTO DE LA ACTUALIZACIÓN	4
2. COMPONENTE NATURAL (ANTIGUO CAPÍTULO 6).....	6
2.1. CORRIENTES NATURALES DE AGUA.....	9
2.1.1. Quebrada El Bolo (elemento ambiental estructurante del territorio).....	11
2.1.2. Ramal margen izquierda de quebrada El Bolo	13
2.1.3. Líneas de escorrentía.....	14
2.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA OBRAS HIDRÁULICAS	23
2.2.1. Parámetros morfométricos	25
2.2.2. Duración de la lluvia (tiempo de concentración)	26
2.2.3. Caudales calculados	28
2.2.4. Coeficiente de escorrentía	28
2.2.5. Intensidad de diseño	29
2.2.6. Resultados	31
2.3. ZONA DE RECARGA DE ACUÍFEROS	31
2.4. GEOLOGÍA Y SUELOS.....	34
2.4.1. Geomorfología de las Unidades Morfodinámicas Independientes.....	52
2.4.2. Unidades Geomorfológicas.....	54
2.4.3. Zonificación Geológica y Geomorfológica en cuanto a la Aptitud de Uso del Suelo.....	57
2.4.4. Otros aspectos geológicos.....	60
2.4.5. Aspectos geotécnicos	64
2.4.6. Análisis de estabilidad de taludes en condiciones actuales.....	75
3. CONCLUSIONES DE LA ACTUALIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO	81
4. FORMULACIÓN (ANTIGUO CAPÍTULO 8).....	84
4.1. OBJETIVO GENERAL	84
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	84
4.3. MODELO DE OCUPACIÓN Y DESARROLLO TERRITORIAL	85



Alcaldía de Medellín

4.4. ESTRUCTURA DEL MODELO DE OCUPACIÓN.....	86
4.4.1. Componente Natural.....	86
4.4.2. Componente Hídrico.....	86
4.4.3. Quebrada El Bolo.....	88
4.5. DISEÑO DE OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS	88
4.5.1. Propuesta protección contra erosión – A1 micro.....	89
4.5.2. Propuesta protección contra erosión – A2	92
4.5.3. Sistema de drenaje en cunetas sobre la vía propuesta – área afereente denominada c. derecha.	93
4.5.4. Obra de paso – Colectora	97
4.5.5. Canal en tierra armada recubierto en TRM 550 – A1	99
4.6. MEDIDAS DE MANEJO DE ACUERDO A PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS.....	107
4.7. GESTION AMBIENTAL.....	108
5. CONCLUSIONES DE LA FORMULACIÓN.....	109
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111





Alcaldía de Medellín

1. CONTEXTO DE LA ACTUALIZACIÓN

El Plan Parcial “Colinas del Porvenir” polígono de tratamiento de Desarrollo Z6_D_4, fue adoptado por medio del Decreto 0473 de 2015, bajo los fundamentos del Plan de Ordenamiento Territorial - POT, Acuerdo 046 de 2006.

Dicho POT contenía como principios básicos, la sostenibilidad ambiental, la competitividad, la equidad y el equilibrio funcional del territorio, además, como aspecto fundamental, recogía las expectativas sociales del ordenamiento futuro municipal.

El área a intervenir se encuentra estipulada como suelo urbano de Desarrollo, es decir, áreas aptas para dotarlas de infraestructura vial, de transporte, servicios públicos domiciliarios, áreas libres, parques y equipamiento colectivo de interés público o social.

Durante el proceso de concertación ambiental del plan parcial en el año 2015 hubo diferencias en puntos de vista de carácter técnico, y finalmente en el acta de concertación se acordó lo siguiente, como quedó expuesto en la Resolución Ambiental N° 000532 de 2015:

“Capítulo 3. Áreas de conservación y protección ambiental incluidas y las condiciones específicas para su manejo:

Se concerta que se incorporarán al modelo de ocupación del Plan Parcial los suelos de protección asociados a las corrientes (permanentes y no permanentes) según lo levantado en campo derivado del reconocimiento geológico/geomorfológico por parte del proponente y presentado en el documento técnico de soporte y en los planos.

Dichos suelos de protección asociados a la red de drenaje se incorporaran debidamente en el mapa de aptitud de suelos y de amenazas naturales. Así mismo, en consecuencia con lo reglado en el Acuerdo 046 de 2006, no podrán tener una zona de ronda/retiro inferior a 10 metros a cada lado de la corriente.

No obstante, si derivado de los estudios de mayor de detalle (hidráulicos, hidrológicos, geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos) se demuestra técnicamente que no existe algún ramal de las 4 corrientes intermitentes, el ajuste correspondiente deberá someterse a consideración de la autoridad ambiental para su respectiva concertación con el fin de modificar los suelos





Alcaldía de Medellín

de protección del Plan Parcial con la documentación técnica que soporte debidamente la decisión. En caso de que se lleve a cabo el proceso de concertación para la modificación de los suelos de protección, los resultados que se deriven de dicho proceso deberán ser ajustados también en el Decreto que adopta el plan parcial.”

Dadas las condiciones mencionadas en el Acta de Concertación y su Resolución, el Parágrafo 2 del Artículo 16 del Decreto 0473 de 2015, por medio del cual se adoptó el Plan Parcial, expone lo siguiente:

"Artículo 16. Tratamiento y recuperación de los cuerpos de agua.

Parágrafo 2: En cumplimiento de lo establecido por la autoridad ambiental en el proceso de concertación, si derivado de los estudios de mayor detalle (hidráulicos, hidrológicos, geológicos, geomorfológicos o hidrogeológicos) se demuestra que no existe alguno de los ramales de corrientes intermitentes, la modificación de la concertación ambiental, deberá someterse a consideración de la autoridad ambiental y se deberá proceder con los ajustes necesarios al presente Plan Parcial, si hay lugar a ello.”

En cumplimiento con lo anterior, el presente Documento Técnico de Soporte - DTS, que será anexo al que sirvió para la adopción del plan parcial en el año 2015, se realiza con el fin de actualizar los detalles técnicos que soportan la corrección de las “*corrientes intermitentes*” con base en los estudios realizados por el interesado en los últimos años.

Actualmente, el polígono del plan parcial Z6_D_4 denominado Colinas del Porvenir, presenta unas Unidades de Gestión en ejecución y, continuará su desarrollo, como un espacio común donde se concentran espacios públicos, equipamientos y actividades residenciales como uso principal, comerciales y de servicios que complementen las necesidades de los moradores del sector y que a través de la nueva oferta inmobiliaria habiten el lugar.





Alcaldía de Medellín

2. COMPONENTE NATURAL (ANTIGUO CAPÍTULO 6)

Dentro de los componentes naturales del Sistema de Espacios Públicos para el municipio de Medellín e Itagüí y que hacen parte del polígono Z6_D_4 (Medellín) y ZE-D-01, ZU-CN1-06 (Itagüí), se tienen el hidrográfico, el orográfico y los ecosistemas estratégicos, como parte fundamental para su desarrollo y planeamiento adecuado. El territorio objeto del plan Parcial es: Z6_D_4 (Medellín), el cual hace parte del Valle de Aburra con características determinantes y singulares.

El valle se extiende longitudinalmente a lo largo del eje natural del sistema hídrico del río Medellín y sus afluentes, enmarcado por dos ramales de la cordillera central de los Andes, creando una espacialidad orográfica contrastante y diversa, donde predomina la sensación de encierro o de ciudad amurallada, constituyendo un valle estrecho, y donde la presencia de la montaña como hecho natural y cultural que ha obligado a crear asentamientos singulares de desarrollo urbano y arquitectónico en buena parte del territorio. Los accesos al Valle de Aburrá han posibilitado que dichos asentamientos adquieran características particulares, como es el caso de la Comuna 15 Guayabal, influenciado en su proceso de poblamiento por las vías que conectan a la parte suroccidental del Valle perteneciente a Medellín con el municipio de Itagüí, teniendo como eje principal de conexión la avenida Guayabal.

El rápido crecimiento urbanístico de la ciudad de Medellín y los demás ejes urbanos dentro del espacio territorial del Valle incluyendo al municipio de Itagüí, han creado problemas ambientales complejos, que de todas maneras han generado poco a poco una conciencia de una ciudad más verde. Existen en las periferias bosques, que han recibido cierta atención oficial de protección, pero las áreas marginales de la ciudad han deteriorado el espacio físico sobre todo en las laderas. Debido a lo anterior, la apuesta de los Planes de Ordenamiento Territorial es la densificación en la zona cercana al río Aburrá Medellín con el fin de disminuir la presión en laderas.

A continuación, en la Ilustración 1 se presenta el plano del suelo de protección del polígono Z6_D_4, según al Acuerdo 46 de 2006.



Alcaldía de Medellín

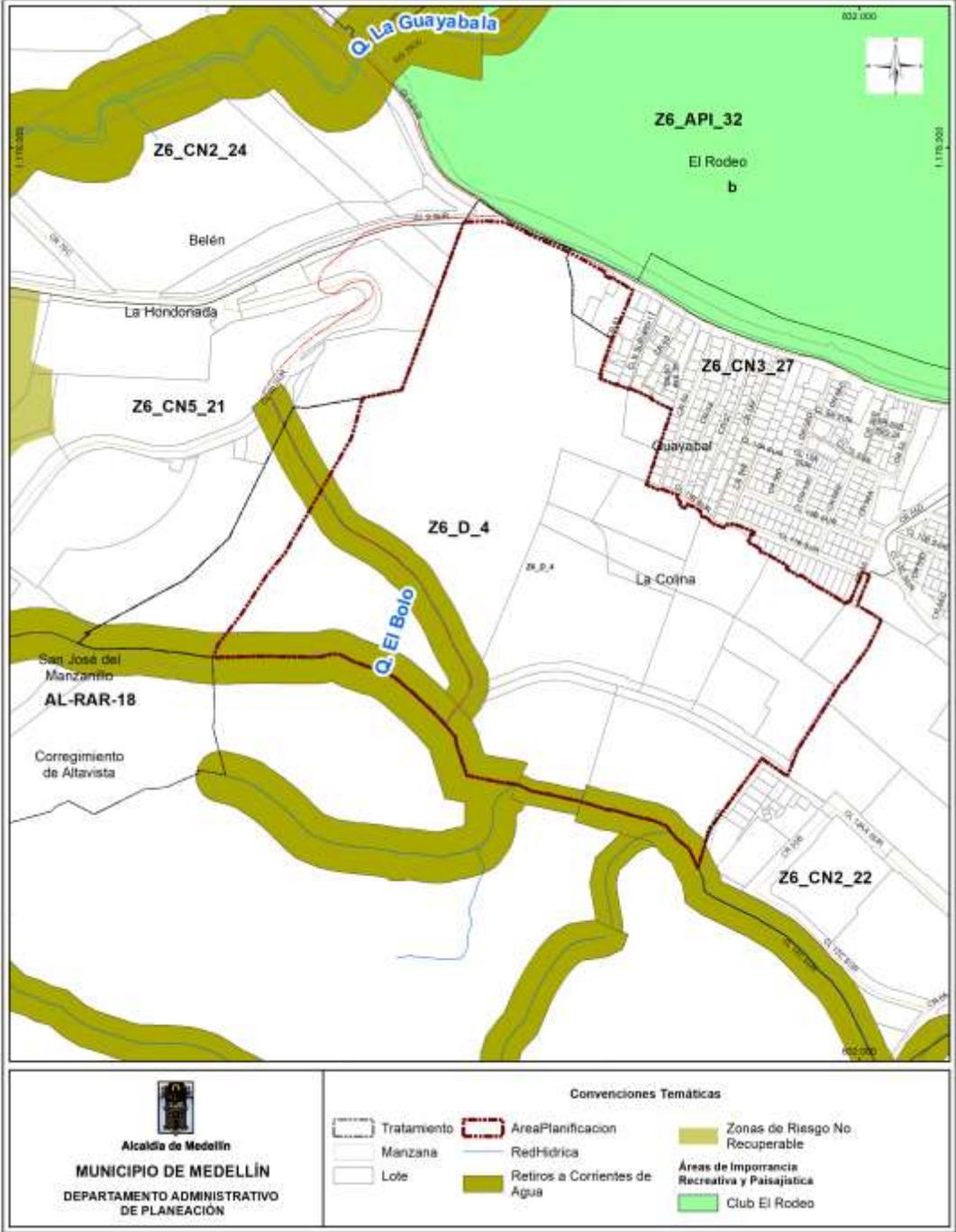


Ilustración 1. Suelo de protección según Acuerdo 46 de 2006.



Alcaldía de Medellín

Análisis del suelo de protección y las características ambientales del territorio:

De acuerdo al POT por medio del cual fue adoptado el plan parcial “Colinas del Porvenir”, el polígono presenta 2 cuerpos hídricos. Hacia el sur, y como frontera del área de planeamiento, se encuentra la quebrada El Bolo con un suelo de protección asociado de 20 metros. Además de este, se encuentra otro elemento de la red hídrica con un retiro de 15 metros, conocido como El Ramal, el cual desemboca a la quebrada El Bolo por su margen izquierda.

La altura promedio sobre el nivel del mar es de 1.538 metros y su temperatura promedio de 24 grados centígrados. Durante los 12 meses del año, el clima es tropical de montaña, en donde la exuberancia, la luminosidad, las tormentas eléctricas y las lluvias torrenciales sorprendidas, son la constante que le da la singularidad geográfica de un clima primaveral del Valle de Aburra. La ciudad de Medellín ocupa 382 Km², de los cuales, el sector del Plan Parcial Z6_D_4, pretende desarrollar 12,40 hectáreas (124.072,75 m²). El municipio de Itagüí frontera del polígono ocupa 17 km².

El área de planeamiento por su condición de límite municipal entre los municipios de Medellín e Itagüí, posee elementos naturales determinantes como su quebrada principal (El Bolo), que la recorre en sentido occidente-oriente desembocando en la quebrada La Jabalcona la cual está canalizada y, a su vez, es afluente del río Medellín y elemento estructurante ambiental y paisajístico de la Comuna 15, Guayabal. Las restricciones ambientales del territorio direccionan estratégicamente la manera en la que se debe ocupar el mismo, en una zona con gran proyección urbanística.

Es preciso mencionar que, de acuerdo al estudio geomorfológico realizado, la zona de trabajo corresponde a un paisaje de pie de monte, localizado hacia la parte media-baja de la ladera occidental del Valle de Aburrá, donde las geoformas resultantes están controladas por: el modelado de las corrientes (El Bolo y El Ramal), la gravedad, la erosión laminar (escorrentía natural), la depositación y la acción antrópica (está última de gran peso por la actividad minera de las ladrilleras). Allí predominan las vertientes moderadas a empinadas, asociadas al flanco sur de un lomo regional que desciende en sentido occidente - oriente, desarrollado sobre potentes perfiles de meteorización del Stock de Altavista (rocas ígneas plutónicas) y de zonas onduladas suaves e irregulares, conformadas por depósitos de escorrentía (coluvión sensu stricto); así como una extensa cobertura de llenos antrópicos (hacia la base de la ladera).





Alcaldía de Medellín

2.1. CORRIENTES NATURALES DE AGUA

El río Medellín y sus quebradas afluentes, son desde el POT, determinantes de la estructura urbana como componente del sistema natural estructurante del espacio público. Estos cuerpos de agua son considerados como un sistema que posee una connotación amplia dentro del territorio, en la que se incluye el área de manejo de los recursos naturales o de preservación, y protección de los ecosistemas que contienen; es también una fuente del recurso agua, base del desarrollo y marco general de planificación.

A continuación, en la Ilustración 2 se presenta la red hídrica del polígono Z6_D_4, según el Acuerdo 46 de 2006 y 48 de 2014.



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

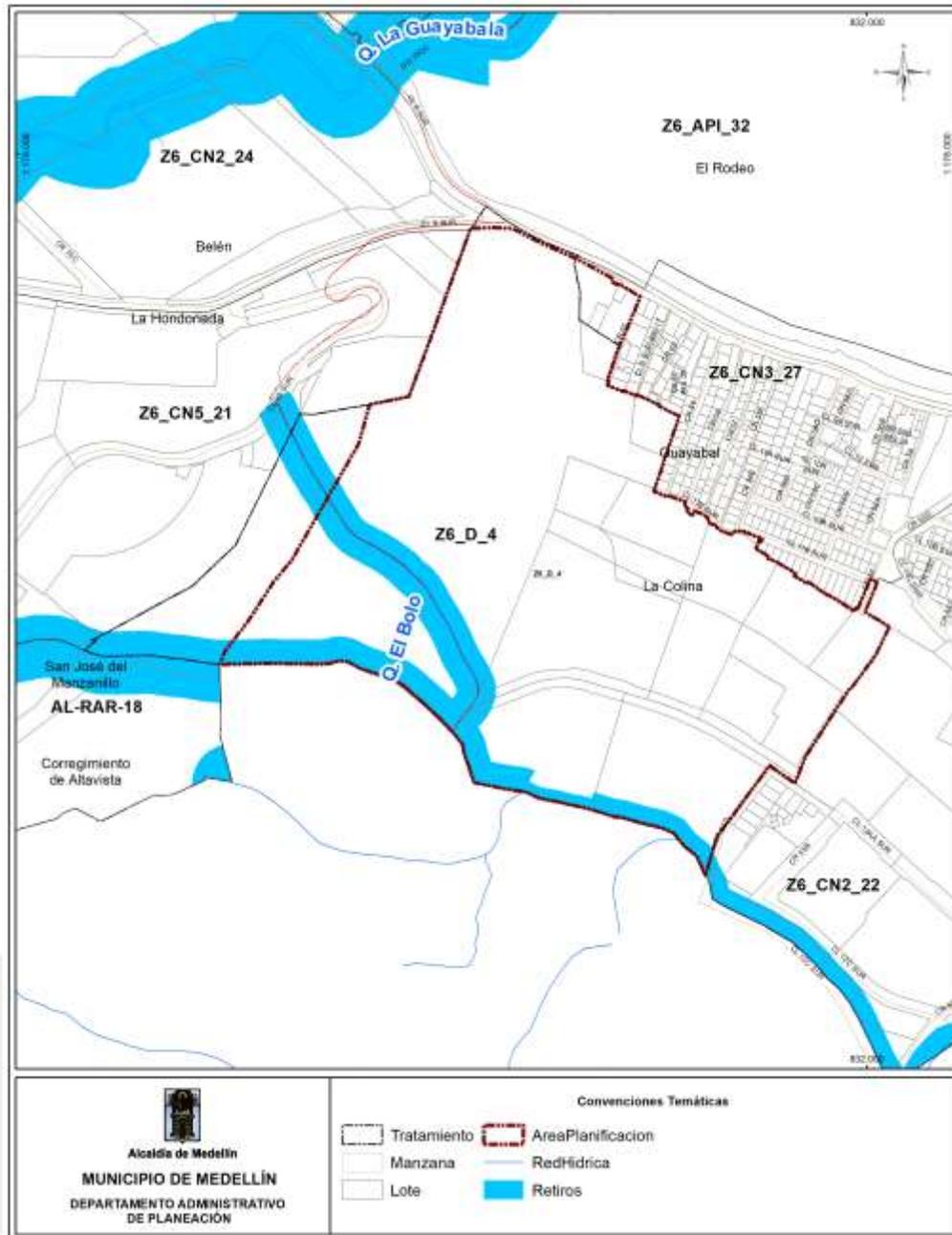


Ilustración 2. Corrientes naturales de agua en el polígono Z6_D_4, según Acuerdo 46 de 2006 y 48 de 2014.

En el área de planeamiento se encuentra la quebrada El Bolo, como principal cuerpo hídrico donde se desarrolla el Plan Parcial. Es un elemento de manejo



Alcaldía de Medellín

especial, susceptible a ser mejorado y adecuado para adaptarlo a las necesidades de la población futura, para que aporte desde su ordenamiento la creación y mejoramiento de más y mejores espacios públicos.

De igual manera, tanto el Acuerdo 46 de 2006 como el Acuerdo 48 de 2014, identifican una corriente de agua por el ramal izquierdo de la quebrada El Bolo, el cual presenta una geoforma definida asociada a cuerpo hídrico con nivel freático predominantemente en superficie, de acuerdo al estudio geológico-geomorfológico realizado por la empresa Geo2.

2.1.1. Quebrada El Bolo (elemento ambiental estructurante del territorio)

La quebrada El Bolo se encuentra ubicada en el costado suroccidental del Valle de Aburra. Limita con la quebrada la Guayabala por el costado noroccidental y directamente con un afluente de la misma, llamado quebrada La Emilia. La quebrada El Bolo nace aproximadamente a 1626 msnm, y tiene sus descargas de agua en la quebrada La Jabalcona, la cual es afluente directo del río Aburrá Medellín.

La quebrada El Bolo tiene una longitud de 1197.59 metros para su cauce principal, y una longitud en el área del proyecto de 581 metros, es una cuenca pequeña con con área aproximada de 0,31 km² de orden 3. En la Tabla 1 se presentan los parámetros morfométricos de la microcuenca de quebrada El Bolo.

Tabla 1. Parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada El Bolo.

Parámetro	Valor
Cota de nacimiento (msnm)	1626
Cota de desembocadura(msnm)	1522
Long. Del cauce ppal.(m/Km)	1197,59
Área(Km2)	0,319085
Perímetro (Km)	2,71
Densidad Drenajes (Km/km2)	21,62
Coeficiente de Compacidad	4,77
Forma	OVAL-
Tipo de drenajes	Dendríticos
Pendiente Media de la quebrada Bolo	8,68



Alcaldía de Medellín

La quebrada El Bolo es, propiamente dicho, el único rasgo fluvial de la zona con agua permanente, el cual desciende en sentido occidente – oriente y ha sido el agente modelador de mayor relevancia del paisaje en esta área.

La cuenca de la quebrada en mención, ha sufrido considerables transformaciones tanto en sus laderas como en su cauce debido a factores antrópicos y al vertimiento de aguas residuales, condición que ha generado grandes problemas de inundación en los asentamientos adyacentes durante los periodos de alta precipitación. A pesar que su cauce ha sido fuertemente intervenido por la explotación del material para las ladrilleras, hacia el occidente (área sin explotación) se conserva una vaguada de cauce estrecho y profundo que lleva agua permanentemente (intersección del nivel freático con la superficie), modelada sobre el perfil de meteorización del Stock de Altavista. Dicho cauce tiene sedimentos activos (arenas y gravas) en medio de bloques de roca de gran tamaño (acorazamiento) típico de quebradas de montaña, clara evidencia del continuo trabajo erosivo del agua y el régimen torrencial de la cuenca.

Actualmente en la quebrada El Bolo se presenta ocupación de cauce debido a instalación de redes de acueducto por parte las Empresas Públicas de Medellín – EPM como se puede apreciar en la Ilustración 3, sin embargo, la intervención se realiza en otra Unidad de Gestión diferente a la que compromete el tema de interés (líneas de escorrentía).





Alcaldía de Medellín



Ilustración 3. Trabajos en quebrada El Bolo por parte de EPM.

2.1.2. Ramal margen izquierda de quebrada El Bolo

El denominado Ramal, presente también en la cartografía oficial de los POT 46 de 2006 y 48 de 2014, se caracteriza por presentar zonas geomorfológicamente suaves (vaguada poco definida en la parte inferior del predio) con alta humedad e infiltración.

El Ramal presenta una expresión geomorfológica más detallada en la parte superior del predio, en inmediaciones de las torres vecinas y, es igualmente posible identificar, mediante la topografía por sus curvas de nivel en planchas antiguas.

Según el análisis multitemporal desde 1989 hasta 2020, realizado por la empresa Servicios Hidrogeológicos Integrales - SHI, el denominado Ramal registra una vaguada de poca incisión, sin presencia de agua (en la parte superior de la Unidad de Gestión), que funcionaría como una zona por donde solo fluye el recurso durante eventos de precipitación, sin caudal permanente.



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

Como se evidencia en diferentes informes, esta corriente hídrica presenta múltiples intervenciones de origen antrópico, sobretodo en la parte media - baja del lote. La apuesta en la formulación, es recuperar el cauce de este cuerpo de agua mediante acciones que favorezcan la permeabilidad en el suelo.

2.1.3. Líneas de escorrentía

En los diferentes recorridos realizados desde la adopción del instrumento de planificación en el año 2015 hasta la fecha, no se encontraron evidencias asociadas a que las líneas de escorrentía presenten caudal base. En la literatura científica asociada a la hidráulica, se encuentra que la forma y la dimensión de una corriente son influenciadas por la frecuencia, magnitud, y velocidad de los flujos transportados por el canal, el tipo y la cantidad de sedimento proveídos al canal, y las características estructurales del lecho y de las bancas de la corriente, a partir de lo cual se puede definir claramente las condiciones de cauces bien formados o hilos de agua producto de escorrentía superficial.

Las líneas de escorrentía se caracterizan por tener flujos de agua transitorios sin constituir un cauce permanente y en ninguno de los recorridos y desarrollo de campañas de exploración, se apreciaron flujos de agua, brotes, surgencias o derrames sobre alguna de las mismas.

Con respecto al nivel freático de las líneas de escorrentía, el estudio de los apiques con piezómetro, arrojó que en ciertas partes se ubica por debajo de los 6.0 metros de profundidad con pocas fluctuaciones. El nivel freático subsuperficial, se encuentra en los apiques ubicados en la parte baja del lote, donde se encuentra El Ramal, y presenta cambios en el tiempo de hasta 50cm, lo que indica que es susceptible a las condiciones pluviométricas de la zona.

De igual manera, el estudio que contiene la descripción geológica de la zona, detallando las geoformas por donde discurren las líneas de escorrentía (Ilustración 4), se puede afirmar que no existen condiciones que permitan deducir que dichos rasgos pertenezcan a una dinámica fluvial. No se observan los materiales granulares típicos, bloques de roca, gravas, arenas o materiales de quebrada. Por el contrario, los apiques realizados en el trazado de estos rasgos, muestran una capa de suelos orgánicos, seguido de materiales finos de escorrentía que no existirían en caso de una actividad fluvial. (Ver Anexos)





Alcaldía de Medellín



Ilustración 4. Líneas de instalación de piezómetros.



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

- **Revisión información cartográfica antigua**

Se consulta la Plancha 247 del IGAC, en escala 1:2000, de 1973 (ver Ilustración 5) y en ella no aparece aun construido el tanque pero si aparece definida la Quebrada El Bolo y unos afluentes al costado norte, que para una mejor comprensión de la localización de estos en el polígono y en la zona de intervención se realiza la superposición en la imagen de google (Ilustración 6), posteriormente en la Ilustración 7, se indican los drenajes inicialmente presentados en el informe de Mesa y en la Ilustración 8 se realiza la comparación de los drenajes presentados y los encontrados en la plancha .

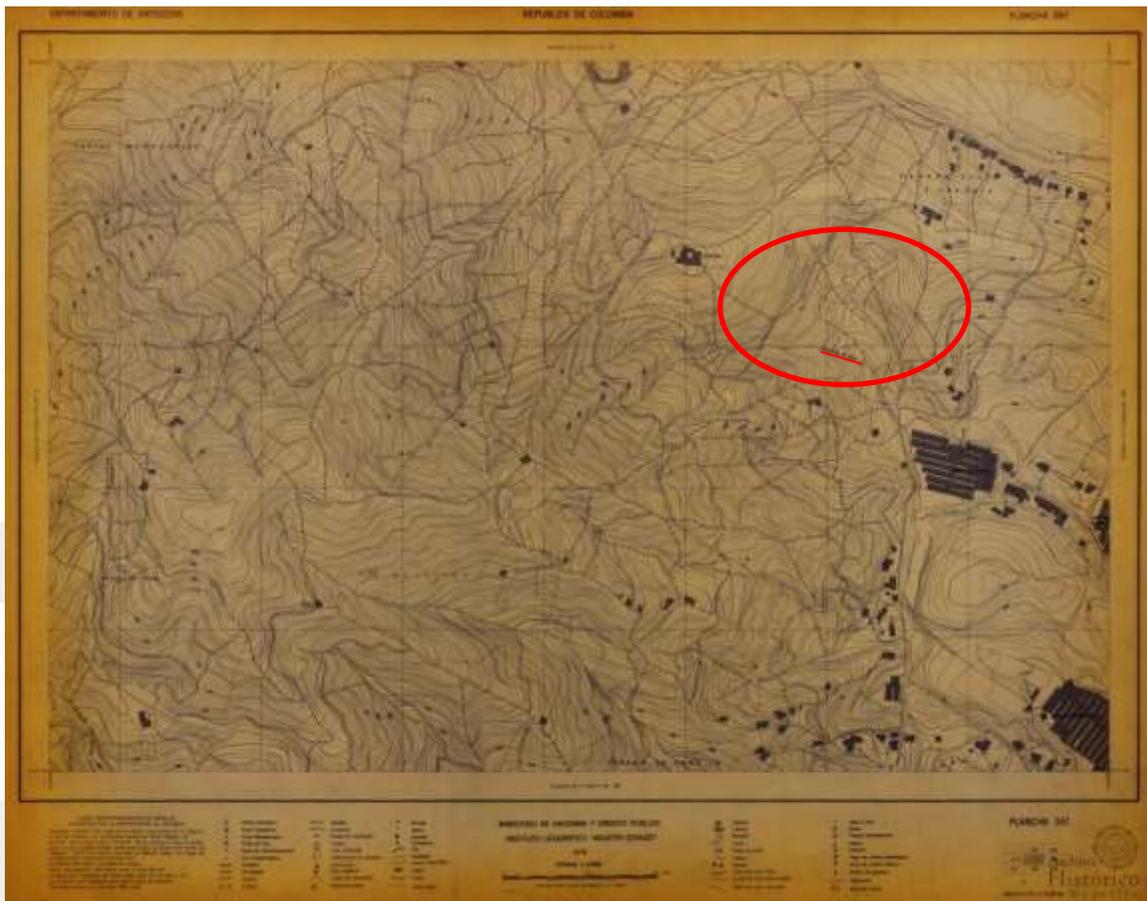


Ilustración 5. Plancha IGAC 247, del año 1973, escala 1:2000.



Alcaldía de Medellín

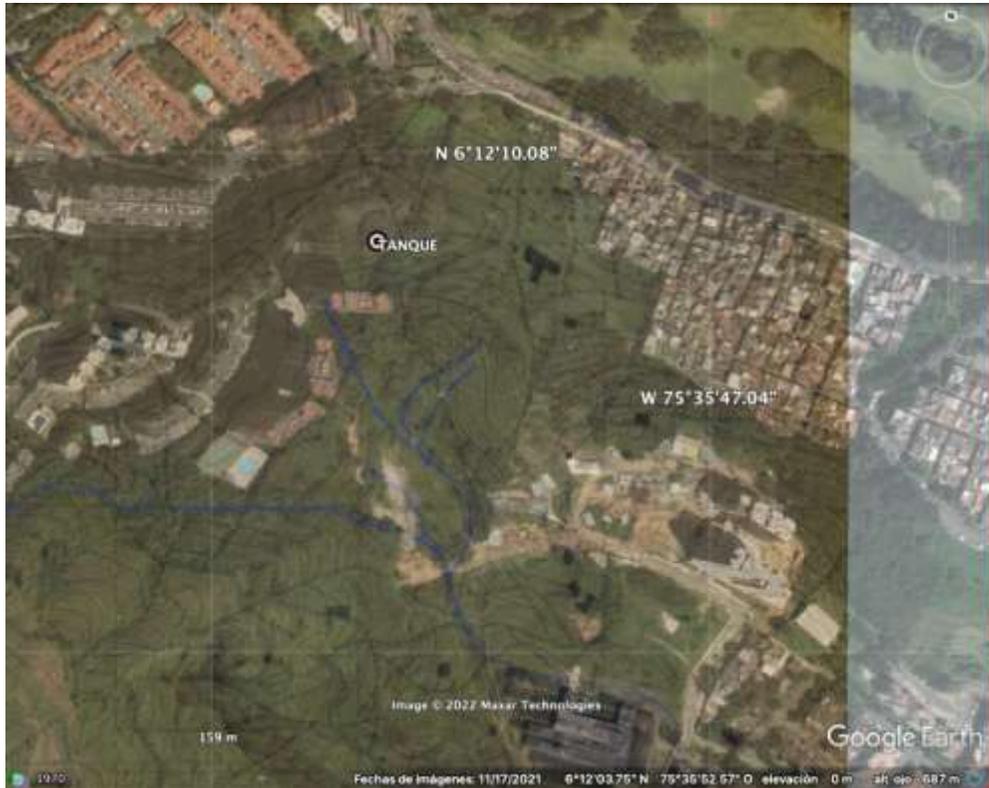


Ilustración 6. Plancha 247 de 1973 IGAC superpuesta sobre Google Earth, donde se resaltan los drenajes.

ME
DE
LLIN



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín



Ilustración 7. Plancha 247 de 1973 IGAC superpuesta sobre Google Earth, se resaltan los drenajes y el polígono de planificación.

ME
DE
LLIN



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín



Ilustración 8. Plancha 247 de 1973 IGAC superpuesta sobre Google Earth, se resaltan los drenajes y se comparan con A-1 y A3.

Se deduce en la comparación, que se presenta concordancia para A-1 (color rojo), y una corriente que se asemeja a la denominada A-3 (color violeta), se marca, adicionalmente una corriente paralela a A-3. Es importante mencionar que ni A-3 ni la corriente paralela se identifican posteriormente en la información suministrada por los diferentes consultores (SHI en el 2020 y GEO2 en 2019).

En este caso las denominadas A-2 (amarillo), no se presentan al momento de esta cartografía y la A-4 (verde) corresponde a un filo, según las curvas de nivel, lo que la hace inviable solo por morfología.

Se consulta cartografía del POT de Medellín decreto 23 de 2000, Ilustración 9, donde al hacer acercamiento a esta (Ilustración 10), aparece para esta fecha; el tanque de EPM (punto azul) y el ramal izquierdo de la quebrada el Bolo definido como Afluente A-1 (Ilustración 10).



Alcaldía de Medellín

La Ilustración 11 tomada del POT del año 2006, presenta la determinación de franja de protección al ramal A-1 y a la quebrada El Bolo, en color rosa, los retiros a la quebrada El Bolo y en amarillo al ramal izquierdo de la quebrada el Bolo, Afluente A1.

ME
DE
LLIN



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

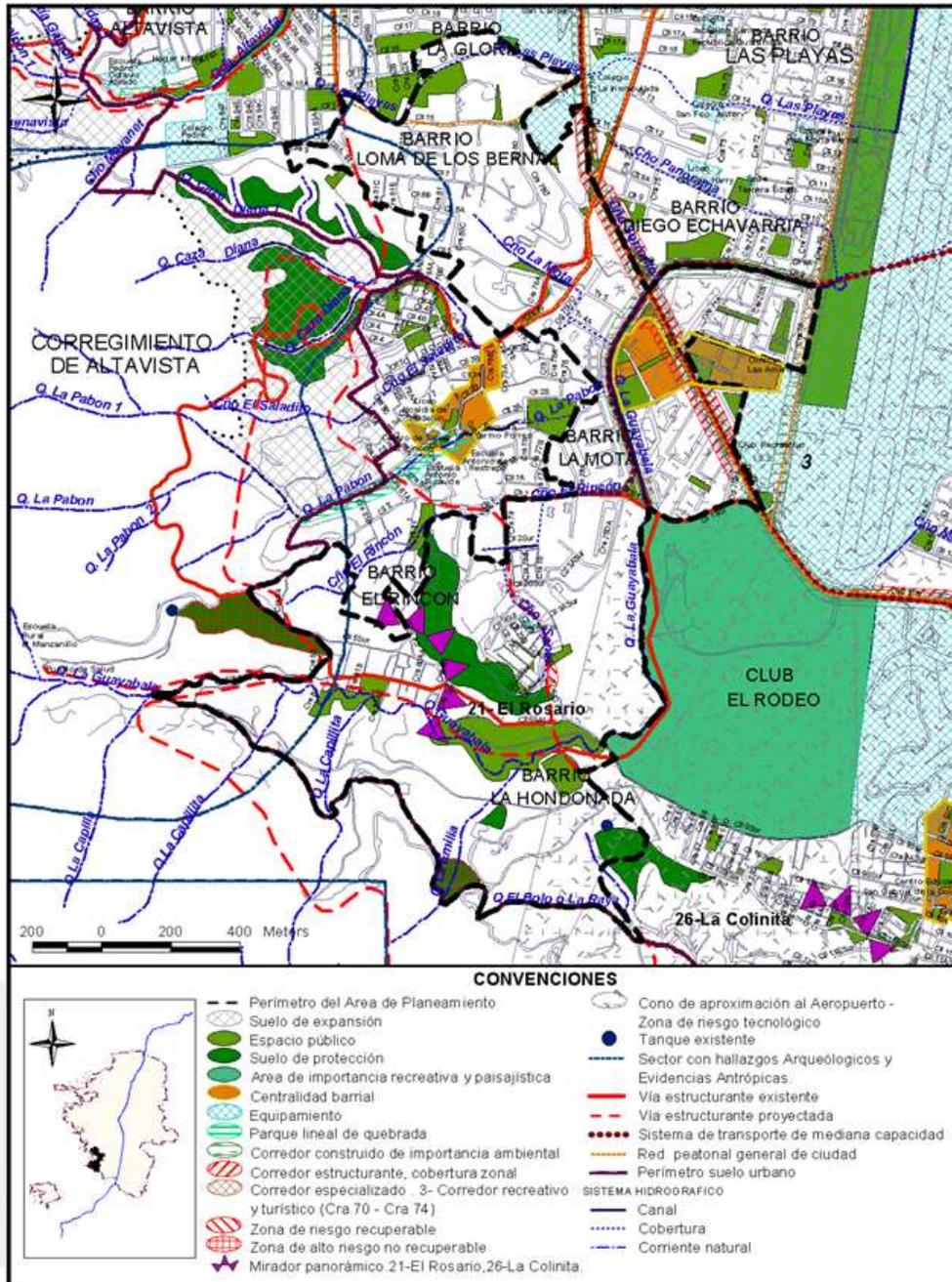


Ilustración 9. Localización de la quebrada El Bolo y sus afluentes en cartografía de fichas Urbanas ZONA 6_SUROCIDENTAL POT ACUERDO 23 DE 2000, tomada de (Acuerdo 23 del 2000 -fichas resumen de la normatividad urbana y rural para el Municipio de Medellín, 2000)



Alcaldía de Medellín



Ilustración 10. Acercamiento de la Ilustración 9.

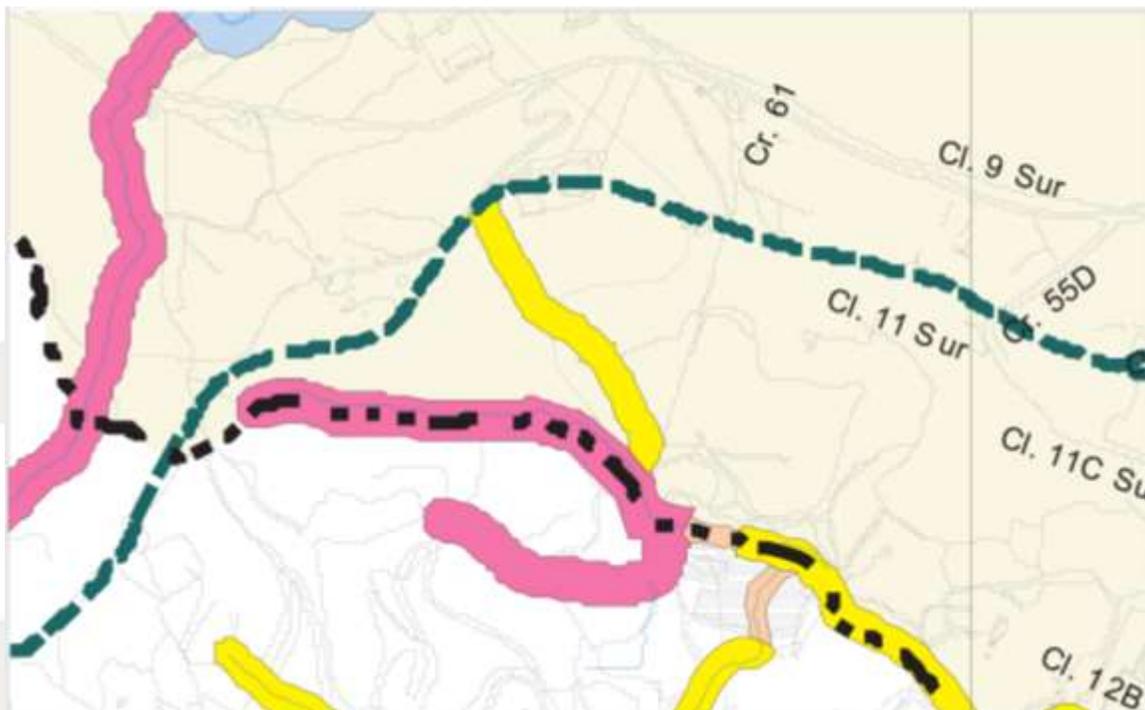


Ilustración 11. Fajas de protección a corrientes naturales de agua (Tomado de Acuerdo 46 de 2006)



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

Consultada la base cartográfica SIGMA 2006, solo se aprecia la localización de la quebrada El Bolo y las curvas de drenaje marca la vaguada correspondiente a A-1 (Ver Ilustración 12).

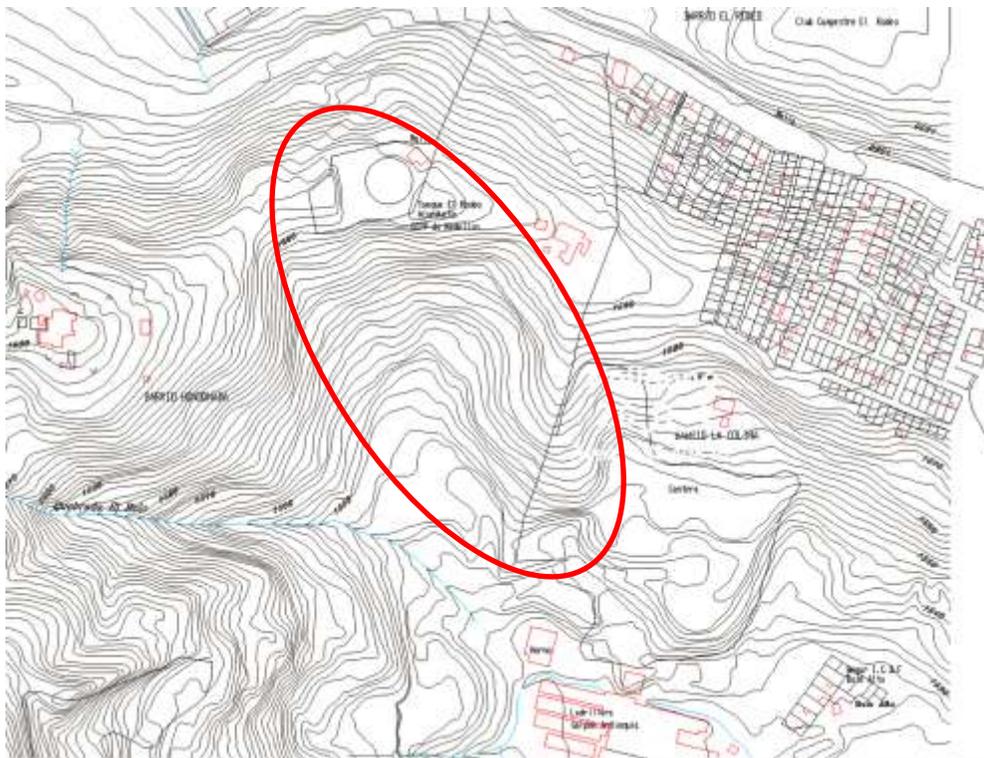


Ilustración 12. Cartografía SIGMA 2006.

Como conclusión de la revisión cartográfica se puede establecer que se valida en la información revisada la existencia de la quebrada El Bolo y de su ramal definido como A-1 que incluso presenta retiro desde la normatividad dada por el POT.

2.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA OBRAS HIDRÁULICAS

El análisis se realizó para la cuenca del afluente izquierdo de la Quebrada El Bolo, denominada A1 y a todos los manejos de aguas de escorrentía (cuencas antrópicas asociadas) resultantes por la intervención que supondrá el requerimiento vial; denominadas para este ejercicio como A1 Micro, A2, Colectora y C Derecha, como se presenta en la Ilustración 13.



Alcaldía de Medellín



Ilustración 13. Áreas aferentes para el manejo de aguas superficiales asociado a la intervención del ramal izquierdo de la quebrada El Bolo A1.

Se estimaron los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno: 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Para las expresiones evaluadas no existe una historia de registro de caudales continuos confiables, por tal motivo, fue necesario utilizar el método racional recomendado por INVIAS, que permiten establecer correlaciones empíricas entre las características de la cuenca y su respuesta hidráulica frente a periodos de precipitación.

La estimación de caudales máximos debe analizarse con rigor, ya que una inadecuada interpretación o utilización de los mismos se refleja directamente en las manchas de inundación asociadas y en el dimensionamiento de las obras que se puedan proyectar al interior de las corrientes. En el análisis deben tenerse muy presente las limitaciones y condiciones de desarrollo de las metodologías que se utilicen. Este es un aspecto de gran importancia, ya que en el medio es común la utilización de formulaciones desarrolladas en otros países con condiciones hidrológicas y topográficas diferentes al nuestro; sin embargo, son las



Alcaldía de Medellín

herramientas disponibles ya que no existe la instrumentación adecuada para obtener datos confiables de la relación lluvia escorrentía.

El estudio hidrológico contempló el cálculo de parámetros morfométricos, tiempos de concentración, duración de la lluvia y cálculo de caudales máximos.

2.2.1. Parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos son el insumo base para todo el estudio hidrológico, de estos dependen factores de forma como pendientes, áreas, longitudes; etc. En la Tabla 2 se presentan los parámetros morfométricos reportados para cada una de las cuencas hidrográficas obtenidas a partir de los cruces viales como punto de control.

Dada la intervención que se espera para la zona en estudio existirán 5 microcuencas, correspondientes a 5 puntos de control que ofrecen caudales máximos diferentes para cada una de las obras hidráulicas y de protección a realizar denominadas A1 (ramal izquierdo de la quebrada el Bolo), A1 Micro, A2, Colectora y C Derecha, como se presenta en la Ilustración 13.





Alcaldía de Medellín

Tabla 2. Parámetros morfométricos (Información suministrada).

Parámetro	Cuencas hidrográficas				
	A2	A1 Micro	C. Derecha	Colectora	A1
Área de drenaje (km ²)	0.00424	0.00693	0.02179	0.02623	0.03927
Perímetro (km)	0.404	0.445	0.727	0.943	1.127
Longitud cauce principal (km)	N/A	0.062	N/A	N/A	0.212
Longitud río hasta divisoria (km)	N/A	0.090	N/A	N/A	0.09
Pendiente cauce principal (%)	N/A	28.065%	N/A	N/A	18.868%
Pendiente cuenca (%)	24.691%	81.366%	49.698%	49.694%	45.022%
Cota mayor cuenca (m.s.n.m)	1603	1603	1603	1603	1603
Cota menor cuenca (m.s.n.m)	1567.8415	1558.3945	1557.6008	1557.3557	1537
Cota mayor río (m)	N/A	1577.9	N/A	N/A	1577.9
Cota menor río (m)	N/A	1560.5	N/A	N/A	1537.9
Longitud Cuenca (km)	0.129	0.155	0.146	0.146	0.3
Coefficiente de compacidad	1.736	1.498	1.379	1.630	1.592
Factor de forma	0.255	0.288	1.022	1.231	0.436
Punto de control (m)	831624.092	831611.056	831625.126	831625.126	831690.147
	1177733.712	1177681.746	1177681.589	1177681.589	1177570.588

2.2.2. Duración de la lluvia (tiempo de concentración)

El tiempo de concentración (T_c) se define como el tiempo que le tarda en promedio a una gota de agua en trasladarse desde el extremo más lejano de la cuenca hasta el punto de control definido; Es así como este parámetro es uno de los más importantes e influyentes dentro del capítulo; por consiguiente, se consultan diferentes autores y sus propuestas, tomando como insumo básico de cálculo los parámetros Morfométricos. Ver Tabla 3 con las ecuaciones para el cálculo del tiempo de concentración y la Tabla 4 donde se observan los resultados obtenidos de las ecuaciones utilizadas posterior a un tratamiento estadístico donde se desprecian los valores extremos y se promedian los demás.



Alcaldía de Medellín

Tabla 3. Ecuaciones para el cálculo del tiempo de concentración

Método	Ecuación	Variables
Témez	$T_c = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.75}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud del cauce principal, en [km] So: Pendiente media del canal principal, en [%]
Kirpich	$T_c = 0.066 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud desde la estación de aforo hasta la divisoria, siguiendo el cauce principal, en [km] S: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L, en [m/m]
California Culverts Practice	$T_c = \left(\frac{11.9 \cdot L^3}{H} \right)^{0.385}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud del cauce principal hasta la divisoria, en [millas] H: Diferencia de cotas entre el punto de interés y la divisoria, en [ft]
Giandotti	$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{25.3 \cdot \sqrt{L} \cdot S_o}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] A: Área de la cuenca, en [km2] L: Longitud del cauce principal, en [km] So: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente sobre L, en [m/m]
SCS-Ranser	$T_c = 0.947 \cdot \left(\frac{Lc^3}{H} \right)^{0.385}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] Lc: Longitud desde la estación de aforo hasta la divisoria, siguiendo el cauce principal, en [km] H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente, en [ft]
Williams	$T_c = \frac{L \cdot A^{0.4}}{D \cdot S_o^{0.385}}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Distancia en línea recta desde el sitio de interés al punto más alto de la cuenca, en [millas] A: Área de la cuenca, en [millas2] D: Diámetro de una cuenca circular con área A, en [millas] So: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la cuenca dividida por L, en [%]
Johnstone y Cross	$T_c = 5 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S_o}} \right)^{0.5}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud del cauce principal, en [millas] So: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L, en [ft/millas]
Linsey	$T_c = Ct \cdot \left(\frac{L \cdot L'}{S_o^{0.5}} \right)^{0.35}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud de la cuenca, en [millas] L': Distancia desde el punto de interés al centro de gravedad de la cuenca, en [millas] Ct: Constante. Áreas montañosas Ct = 1.2, Zonas de pie de ladera Ct = 0.72, Valles Ct = 0.35 So: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente dividida por L, en [%]
Snyder	$T_c = Ct \cdot (L \cdot L')^{0.3}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud de la cuenca, en [millas] L': Distancia desde el punto de interés al centro de gravedad de la cuenca, en [millas] Ct: Constante. Áreas montañosas Ct = 1.2, Zonas de pie de ladera Ct = 0.72, Valles Ct = 0.35
Ventura Heron	$T_c = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.75}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud del cauce principal, en [km] So: Pendiente del cauce principal, en [%]
Pérez Monteagudo	$T_c = \frac{L}{72 \cdot \left(\frac{AE}{L} \right)^{0.6}}$	Tc: Tiempo de concentración, en [h] L: Longitud del cauce principal, en [km] AE: Diferencia de cotas en el cauce principal, desde el punto más alto al más bajo, en [km]

Tabla 4. Tiempos de concentración asociados al ramal izquierdo de la quebrada el Bolo A1 y sus cuencas antrópicas asociadas.

TC	CUENCA				
	A1	A2	A1 Micro	C. Derecha	Colectora
Horas	0.10	0.057	0.045	0.059	0.099
Minutos	6.26	3.42	2.68	3.5	5.989

Debido a que las cuencas a analizar son demasiado pequeñas, inferiores a 0.04 km², el cálculo del tiempo de concentración tendería a valores ínfimos y las intensidades a valores infinitos, los caudales resultantes estarían sobre dimensionados y no sería representativos. Se siguen las recomendaciones dadas por el INVIAS donde se propone utilizar un tiempo de concentración (Tc) “Mínimo” de 5 minutos.



Alcaldía de Medellín

2.2.3. Caudales calculados

Se estimaron los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno: 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años; dado que en el ramal Izquierdo de la quebrada El Bolo, no existe una historia de registro de caudales continuos confiables y dado el tamaño de la cuenca, en este caso; apoyados en lo enunciado por el INVIAS, para cuencas con áreas inferiores a 2.5 Km², solo se estimará el caudal mediante el uso del método racional.

El cálculo de los caudales realizado por la consultoría encargada fue desarrollado mediante la implementación del método racional. El cual parte del área aportante, en este caso el área de cada cuenca trazada, de la intensidad de lluvia y del coeficiente de escorrentía de la superficie aportante.

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Dónde:

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de la lluvia, en mm/h

A: Área de drenaje km²

2.2.4. Coeficiente de escorrentía

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía, se utilizan los valores presentados en la Tabla 5. Los valores más elevados para cada tipo de superficie corresponden a las pendientes más fuertes y a los suelos más impermeables. A cada suma de índices k, para las cuatro (4) condiciones generales señaladas en la tabla, corresponderá un valor de C, de acuerdo con los límites que en la misma se establecen.





Alcaldía de Medellín

Tabla 5. Para el cálculo del coeficiente ponderado de escorrentía.

DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C			
1. Relieve del terreno	40 Muy accidentado: pendientes superiores al 30 %	30 Accidentado: pendientes entre el 10% y el 30 %	20 Ondulado: pendientes entre el 5% y el 10 %	10 Llano: pendientes inferiores al 5 %
2. Permeabilidad del suelo	20 Muy impermeable: Roca	15 Bastante impermeable: Arcilla	10 Bastante permeable: Normal	5 Muy permeable: Arena
3. Vegetación	20 Ninguna	15 Poca: Menos del 10% de la superficie	10 Bastante: Hasta el 50% de la superficie	5 Mucha: Hasta el 90% de la superficie
4. Capacidad de almacenaje de agua.	20 Ninguna	15 Poca	10 Bastante	5 Mucha
A partir de valores anteriores obtenemos				
Valor de K comprendido entre	75-100	50-75	30-50	25-30
Valor de ponderado de C	0.65-0.80	0.50-0.65	0.35-0.50	0.20-0.35

A continuación, en la Tabla 6 se presentan los valores seleccionados según la descripción de las cuatro características evaluadas de cada cuenca.

Tabla 6. Valores C de escorrentía.

C	Coeficiente C de Escorrentia				
	0.80	0.80	0.65	0.65	0.65

2.2.5. Intensidad de diseño

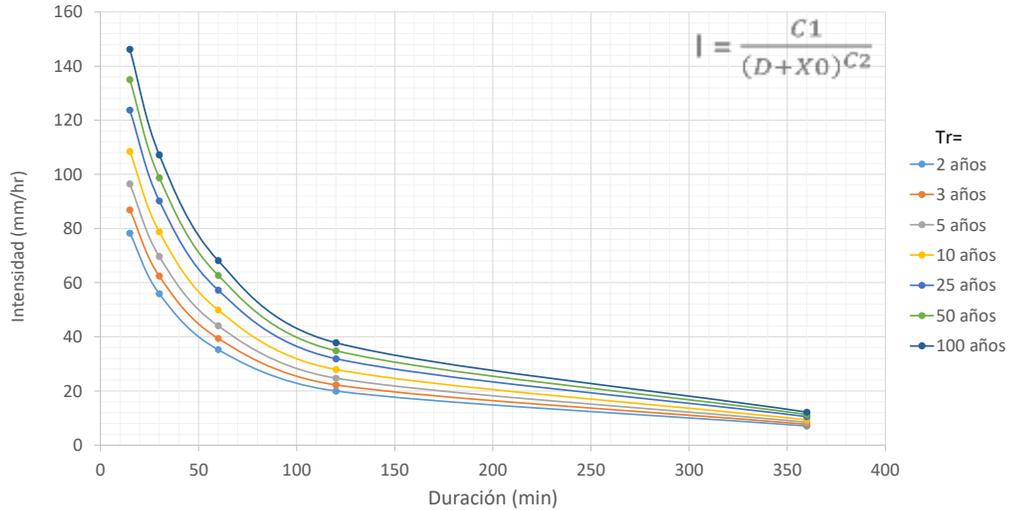
La intensidad de diseño para el cálculo de los caudales máximos, se calculó a partir de la curva IDF de la estación pluviométrica con influencia en la zona, OLAYA HERRERA - AUT [27015330] descargadas del IDEAM. De igual manera, a todos los manejos de aguas de escorrentía (cuencas antrópicas asociadas). Ver Ilustración 14.



Alcaldía de Medellín



CURVAS INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA - IDF
 ESTACIÓN: A.OLAYA HERRERA (MEDELLÍN)
 CODIGO: 2701507



TR (años)	C1	X0	C2
2	4084.019	25.519	1.068
3	5374.593	27.721	1.099
5	7004.684	29.802	1.127
10	9316.661	31.987	1.157
25	12611.921	34.232	1.187
50	15294.065	35.616	1.205
100	18132.770	36.805	1.221

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	78.2	86.7	96.2	108.1	123.2	134.4	145.5
30	56.4	63.1	70.5	79.9	91.8	100.6	109.3
60	35.0	39.0	43.5	49.0	56.1	61.3	66.5
120	19.6	21.9	24.3	27.5	31.4	34.3	37.2
360	7.5	8.3	9.2	10.3	11.6	12.6	13.6

Datos Técnicos

Ventana de información:

Datos de intensidades ajustados a:

Parámetros estimados con el método de:

Fecha de Actualización:

1971 a 2010

Distribución de probabilidad Gumbel

L-Momentos

Diciembre de 2016

Años empleados

40

Abreviaturas y Unidades

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (minutos)

I: Intensidad de Precipitación (mm/h)

Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017

Actualizado por:

Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Ilustración 14. Curva IDF - OLAYA HERRERA - AUT [27015330]

Gracias a estas bases de datos, se logró estimar las intensidades de la lluvia para la estación de medición, para los diferentes periodos de retorno con un tiempo de concentración de 5 minutos. Seleccionando como intensidad de diseño. ver Tabla 7.





Alcaldía de Medellín

Tabla 7. Valores de la intensidad.

TR	C1	X0	C2	I (mm/h)
2	4084.019	25.519	1.068	106.1
3	5374.593	27.721	1.099	116.3
5	7004.684	29.802	1.127	128.2
10	9316.661	31.987	1.157	142.9
25	12611.921	34.232	1.187	161.9
50	15294.065	35.616	1.205	176.2
100	18132.77	36.805	1.221	190.1

2.2.6. Resultados

Haciendo uso del método racional, se presenta en la Tabla 8 los valores de caudales máximos calculados para los diferentes periodos de retorno en cada una de las cuencas resultantes de la intervención antrópica esperada, para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 8. Caudales de diseño

Qmax TR	Caudal (m³/S)				
	A1	Colectora	C. Derecha	A1 micro	A2
2	0.75	0.42	0.28	0.16	0.10
5	0.91	0.50	0.34	0.20	0.12
10	1.01	0.56	0.38	0.22	0.13
25	1.15	0.64	0.43	0.25	0.15
50	1.25	0.69	0.47	0.27	0.17
100	1.35	0.75	0.51	0.29	0.18

2.3. ZONA DE RECARGA DE ACUÍFEROS

El polígono de tratamiento de Desarrollo Z6_D_4, se encuentra en zona de recarga del Acuífero del Valle de Aburrá, tal como se evidencia en la Ilustración 15, elaborada por la autoridad ambiental en informe técnico mediante el cual evalúan los estudios de detalle allegados por el Departamento Administrativo de Planeación para la concertación.



Alcaldía de Medellín



Ilustración 15. Polígono Z6_D_4 ubicado en Zona de recarga de Acuífero. (Elaborado por: Área Metropolitana del Valle de Aburrá).

La ubicación estratégica del plan parcial, en cota baja y cerca del eje fluvial al río Aburrá Medellín, convierten el polígono una zona de gran interés para el desarrollo urbanístico en la frontera entre los municipios de Itagüí y Medellín, por lo cual, las medidas de manejo deben encaminarse a la minimización de los impactos sobre las funciones naturales de los cuerpos de agua y el suelo, favoreciendo la infiltración y permeabilización.

Esta característica se presenta, de igual forma, en los suelos catalogados como de renovación urbana, adyacentes al eje del río Aburrá Medellín, donde la apuesta territorial y el modelo de ocupación de la ciudad está motivado por el crecimiento



Alcaldía de Medellín

en altura y densificación hacia el centro, con el fin de reducir la presión urbanística en ladera.

El polígono Z6_D_4 se encuentra catalogado por el Acuerdo 46 de 2006 como un polígono con tratamiento de desarrollo en suelo urbano, para lo cual, existe un Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos –PMAA del año 2019 expedido por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en donde se establecen estrategias concretas para la protección y el uso del agua subterránea que se ve impactada por efectos urbanísticos (AMVA, 2019).

Para las zonas de recarga dispuestas en suelo urbano, como es el caso del polígono del plan parcial “Colinas del Porvenir” se establecen las siguientes estrategias (*Capítulo 3.2.2, AMVA, 2019*):

- a. Recuperar la capacidad de infiltración de los suelos impermeabilizados mediante la regeneración de espacios verdes y el reemplazo de superficies duras por permeables. Para lo cual se podrá, entre otras, realizar las siguientes acciones:
 - Aplicar medidas de recuperación o regeneración de espacios verdes en aquellos sitios donde sea posible el reemplazo de superficies duras, para implementar superficies que permitan la infiltración del agua hacia el subsuelo; tales como los corredores verdes.
 - Recuperación de zonas de espacio público o adquisición de predios para la adecuación de parques y senderos ecológicos; jardines verticales y azoteas verdes, o demás alternativas disponibles
- b. En las adecuaciones y nuevos desarrollos o intervenciones de espacios públicos municipales, utilizar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – SUDS que favorezcan la infiltración de las aguas lluvias y lo establecido en la Política Pública de Construcción Sostenible adoptada por el AMVA.
- c. Los nuevos desarrollos, proyectos o actividades, que durante su fase de construcción y operación realicen una intervención total o parcial del acuífero y requieran del abatimiento del nivel freático, en los cual no se proyecte el aprovechamiento del recurso extraído, el agua extraída deberá ser retornada al acuífero, evitando afectaciones sobre su calidad y pérdidas del recurso.





Alcaldía de Medellín

- d. Incentivar, en áreas industriales o industriales en transición u otras actividades productivas o de servicios, la implementación del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua -PUEAA, el manejo adecuado de las aguas residuales generadas en la actividad.
- e. No estarán permitidos los llenos antrópicos con material ajeno a las condiciones y características del medio (suelo-acuífero) presente en el lugar de la intervención, actividad o proyecto.
- f. Los usos sanitarios de alto impacto (PTAR y rellenos sanitarios según Decreto 2041 de 2014), no podrán ubicarse en zonas de recarga (Artículo 2.3.2.3.2.2.5 del Decreto 1077 de 2015). Para el caso de los demás usos de alto impacto, tales como Industrias, Estaciones de Servicio, cementerios y otros; deberán cumplir con los criterios técnicos necesarios para impedir la afectación del acuífero por contaminación cruzada proveniente de infiltraciones o derrames de agua residual, lodos, lixiviados o residuos potencialmente contaminantes.
- g. Optimizar o reemplazar las redes de alcantarillado para evitar la contaminación cruzada por fugas del sistema.

De igual manera, las medidas para la función de recarga de acuíferos contemplan lo señalado en el numeral 3.3. *Acciones que soportan la implementación de las medidas de manejo de las zonas de recarga del acuífero del Valle de Aburrá* y fueron tenidas en cuenta para la proyección de las medidas de manejo para las líneas de escorrentía por donde se evacúa el agua durante los eventos de precipitación (Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles).

Con base en lo anterior, el capítulo de formulación establecerá medidas de manejo para la minimización de los impactos en el recurso hídrico subterráneo y la protección del acuífero del Valle de Aburrá, que sean consecuentes con las pretensiones del modelo de ocupación territorial y con el diseño de las obras hidráulicas para el manejo de aguas dentro del polígono del plan parcial.

El Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos – PMAA fue adoptado mediante Resolución 2019-003368 del año 2019 por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

2.4. GEOLOGÍA Y SUELOS



Alcaldía de Medellín

Para el diagnóstico de este capítulo, se contó con estudios previos de carácter regional efectuados por parte del Área Metropolitana y el Municipio de Medellín, como son: “Estudio de Microzonificación Sísmica de Medellín (GSM, 1999), y Acuerdo 009 2012 “Directrices y lineamientos para la elaboración de estudios geológico, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos, y geotécnicos para la intervención de zonas de ladera, en el valle de Aburra (Área Metropolitana, 2012) Adicionalmente se tuvieron en cuenta estudios previos en detalle como “Plan Parcial Ciudadela Colinas del Porvenir Polígono Z6-D-4 (2013) ”Zonificación Geológica y Geomorfológica del Plan Parcial Ciudadela Colinas del Porvenir, Municipio de Medellín”, “Estudio de Suelos y Estabilidad 14’043 – Plan Parcial Rodeo de La Montaña” (Vieco Ingeniería de suelos, 2014) y “Líneas de Escorrentía – Cuenca El Bolo Estudio Geológico – Geomorfológico” (GEO2, 2019).

El Plan Parcial Colinas del Porvenir hace parte de la zona denominada suroccidental en la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá establecida en el año 2001 y ratificada en la norma NSR 10, la cual es obligatoria para la implementación de este plan. Las estaciones de monitoreo para este sector están en el Colegio Padre Manyanet y la Universidad de Medellín. Los terrenos de esta zona están constituidos principalmente por suelos residuales de granodiorita del Stock de Altavista y en menor proporción por depósitos no consolidados del Cuaternario.

El relieve es variable, con colinas y lomos de tope redondeado hasta vertientes suaves. Se presentan también lomos amplios, con declives suaves hasta casi planos, modelados sobre depósitos cuaternarios.

Según el Acuerdo 46 de 2006, la zona está incluida dentro de la categoría de “Áreas con restricciones geológicas moderadas, esto implica que son “áreas estables dependientes y utilizables” con las siguientes características:

“Son terrenos que por sus condiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas evidencian manifestaciones de inestabilidad o que presentan problemas debido a la forma como han sido intervenidos por las acciones antrópicas, sin embargo con algunas medidas correctivas y preventivas específicas, tales como: la protección de los taludes de corte y lleno y el drenaje de las zonas de encharcamiento y del agua de escorrentía, se pueden mejorar sus condiciones para ser utilizados en programas urbanísticos. Además, los diseños urbanísticos deben adecuarse a las características específicas de los terrenos utilizando tecnologías constructivas adecuadas. La densificación acelerada y no planificada de estas zonas puede incrementar su deterioro y el de su entorno. También se





Alcaldía de Medellín

hace necesaria la ejecución de estudios específicos para evaluar sus características geomecánicas”.

Para delimitar la zona de estudio se tuvo en cuenta la metodología recomendada para la intervención de laderas en el Valle de Aburra, del Área Metropolitana, que como primera medida establece definir la Unidad Morfodinámica Independiente (UMI), que por definición es “unidad de territorio que enmarca el predio de interés y que presenta un comportamiento independiente de los terrenos adyacentes; es decir, que cualquier proceso morfodinámico que se presente por fuera no afecta su interior y cualquier fenómeno que se presente en el interior no afecta los terrenos vecinos”, dicha unidad se enmarca para adelantar los estudios geológicos, geomorfológicos, y geotécnicos del lote.

El plan parcial Ciudadela Colinas del Porvenir, se encuentra localizado en la cuenca hidrográfica de la quebrada El Bolo, que atraviesa el lote en sentido oeste-este, hasta llegar a su desembocadura en la quebrada La Jabalcona, motivo por el cual, para delimitar la U.M.I se tuvo en cuenta todos los elementos que podrían representar algún grado de amenaza para el proyecto. Por lo tanto, se definieron dos UMI que se describen a continuación:

UMI1: Se considera como límite norte de esta unidad la calle 9 sur, como límite sur, la divisora del cerro donde se localiza el tanque propiedad de EPM, hacia el oeste parte de la unidad residencial Rodeo Campestre y hacia la parte este, el Barrio La Colinita. Esta UMI corresponde a la parte alta de la ladera norte del Proyecto, que drena hacia una cuenca diferente a la de la quebrada El Bolo en sentido de la calle 9BSur; se consideró una UMI diferente por ser una divisoria donde los procesos erosivos que se generen en ella se movilizaran hacia el norte por fuera del proyecto.

UMI2: Para la definición de esta UMI, se consideró como límite de los procesos morfodinámicos una de las divisorias de los afluentes de la quebrada El Bolo, localizada en la parte más sur del lote en estudio, la divisoria del cerro donde se ubica el tanque de EPM en el límite norte, hacia el oeste la unidad residencial Rodeo campestre, y hacia la parte este, el Barrio La Colinita. La delimitación de estas U.M.I se observan en la Ilustración 16. Los procesos morfodinámicos que se generen en esta cuenca se movilizaran hacia la parte baja del proyecto, motivo por el cual se consideró como unidad de análisis diferente.





Alcaldía de Medellín

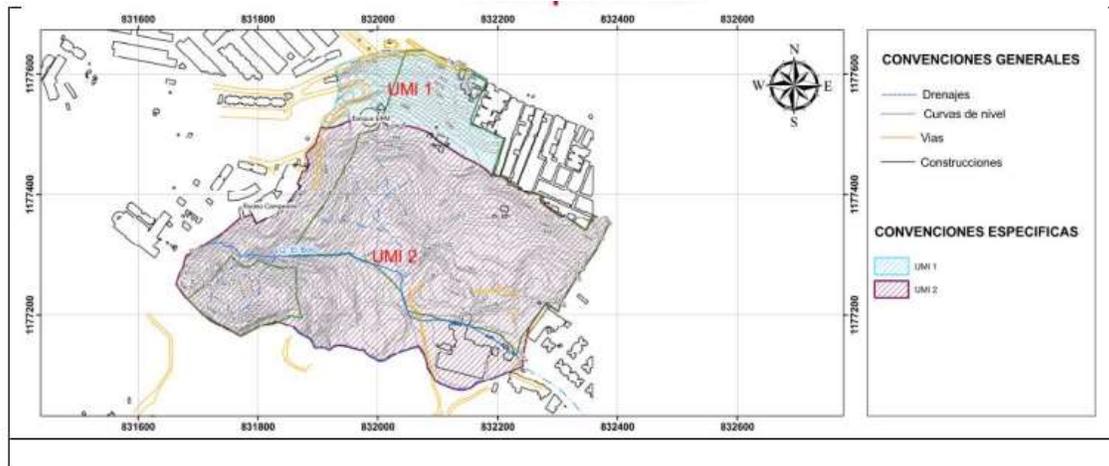


Ilustración 16. Delimitación de las UMIS

Metodología General del Estudio: El objetivo principal de este estudio es la zonificación de la aptitud geológica para las dos U.M.I del Plan Parcial Ciudadela Colinas del Porvenir. En términos generales, las etapas que se siguieron para lograr el objetivo propuesto son las siguientes:

- **Recopilación y análisis de la información existente.**

Se analizó toda la información de tipo local efectuada específicamente para la Ladrillera y para el primer informe del Plan Parcial, la información contenida en "Zonificación Geológica y Geomorfológica del Plan Parcial Ciudadela Colinas del Porvenir, Municipio de Medellín" (Mesa, 2014), "Estudio de Suelos y Estabilidad 14'043 – Plan Parcial Rodeo de La Montaña" (Vieco Ingeniería de suelos, 2014) y "Líneas de Escorrentía – Cuenca El Bolo Estudio Geológico – Geomorfológico" (GEO2, 2019). Adicionalmente, se contó con información de tipo regional, específicamente estudios contratados por el Municipio de Medellín y el Área Metropolitana.

- **Recorridos de campo generales y detallados.**

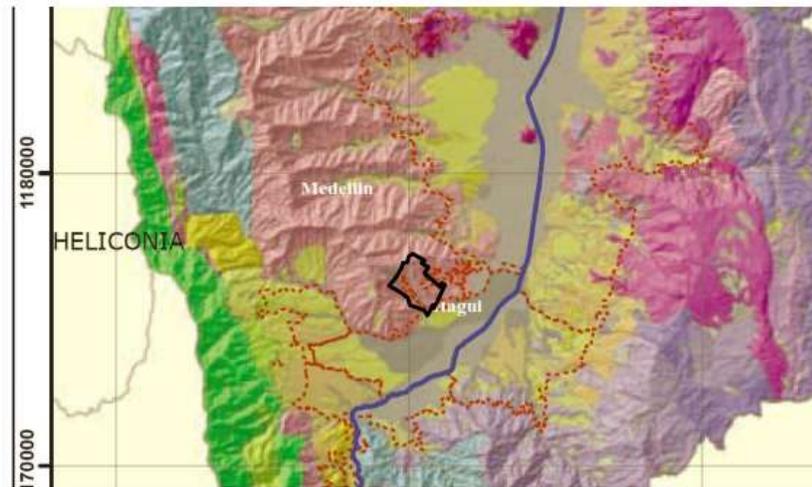
Se realizaron recorridos por el lote donde se desarrolla el plan parcial incluyendo los lotes aledaños y algunos proyectos urbanísticos ya construidos. También se realizaron recorridos por la quebrada La Bolo, y la quebrada La Jabalcona.

Marco Geológico General: Las unidades geológicas regionales presentes en la zona de estudio son la denominada Stock de Altavista y algunos depósitos no



Alcaldía de Medellín

litificados del Cuaternario como se aprecia en la Ilustración 17. A continuación, se realiza una descripción de estas unidades.



■ KdA Stock de Altavista ■ Qd Depósitos de deslizamiento

Ilustración 17. Geología regional de la zona en estudio. En negro el polígono en interés.

Stock de Altavista (KdA): Esta es una unidad de roca ígnea plutónica, que se localiza al centro y sur-occidente del Valle de Aburrá, tiene una forma alargada y una extensión de 83 km², se extiende desde la quebrada Doña María en Itagüí, hasta la quebrada La Iguana al norte en Medellín. El emplazamiento se presentó en varias facies petrográficas, de ahí la variabilidad composicional y petrográfica, coexistiendo una facies autolítica, facies granito- granodiorita, y facies dique; de estas la segunda está ausente en la zona de estudio. La facies autolítica, está compuesta principalmente por dioritas intruidas por granodiorita, de color blanco grisáceo, textura inequigranular, de grano fino, posee como minerales principales el feldespato y la hornblenda, como mineral secundario la biotita y como mineral accesorio el cuarzo. El macizo rocoso no aflora en inmediaciones del lote; solo se observan los suelos tropicales derivados de su avanzada meteorización química (GEO2, 2019). En cercanía al área de interés aflora básicamente la facies autolítica, de gran variedad litológica, que debido a la actividad minera está en exposición la roca fresca. La facies dique es de composición básica.

Gran parte de la zona está constituida por suelos residuales de esta unidad, que se forman por la meteorización “in situ” favorecida por las condiciones topográficas y el clima. Estos suelos son de color rojizo hasta pardo amarillento.





Alcaldía de Medellín

Deposito no Litificados (QD): Sobre la vertiente occidental de la ciudad de Medellín se presenta un recubrimiento de materiales no litificados de diferente origen, que conforman la transición de materiales “in situ” en la parte alta de las vertientes a los depósitos aluviales del fondo del valle.

Depósitos no litificados del Cuaternario (Qfe): Se presentan varios depósitos recientes del tipo flujos de escombros y/o lodos, de deslizamientos, y llenos antrópicos.

Depósito de vertiente: Corresponden a la acumulación de materiales producto de los procesos erosivos y de movimiento en masa ocurridos en la ladera, para este trabajo se incluyen los depósitos de deslizamientos recientes y los depósitos de flujos de escombros y lodos. Afloran en la parte alta de las vertientes, reposando sobre el basamento del Stock de Altavista. Se caracterizan por estar conformados por bloques heterométricos, con un grado de meteorización de moderado a alto, en matriz limo arcillosa, donde se observan coloraciones claras como pargo, gris y amarillo.

Llenos antrópicos: Se agrupan como llenos antrópicos a la acumulación de materia prima, centros de acopio, y botaderos realizados por la industria ladrillera presente en la zona y también a los materiales de desecho de construcción depositados en las laderas por parte de los habitantes de la zona.

Geología Estructural: En cuanto a los rasgos tectónicos regionales, debe mencionarse que la vertiente occidental del Valle de Aburra presenta evidencias geomorfológicas y rocas de la presencia de algunas estructuras asociadas a los sistemas de fallas Iguana-Boquerón y Doña María (del sistema Romeral). Sin embargo, las trazas principales de dichos sistemas transcurren a distancias considerables del área de estudio.

Regionalmente, las familias de diaclasas que predominan en el stock hacia la zona de interés son las que tienen por actitud $N50^{\circ}E/90^{\circ}-85^{\circ}SE$ y existen otras con dirección $N69^{\circ}W/72^{\circ}SW$ que coinciden con algunos alineamientos fotogeológicos y a su vez concuerdan con la dirección de los ramales de las fallas principales que atraviesan la ladera occidental del Valle de Aburrá.

En la zona en estudio, se presentan algunas diaclasas y fracturas en los suelos residuales, heredados de las rocas del stock de Altavista, presentes en el área de la antigua explotación del Galpón Antioquia.





Alcaldía de Medellín

Geomorfología Regional: A nivel regional se puede decir que en las UMI's definidas para el plan parcial Ciudadela Colinas del Porvenir, se desarrolla en una macrounidad geomorfológica de gran importancia regional, como es el bloque Itagüi-San Cristóbal, definido en el estudio de Microzonificación sísmica del Valle de Aburra, 2006. (Ver Ilustración 18), donde según este mismo estudio la unidad geomorfológica presente son los Lomos.

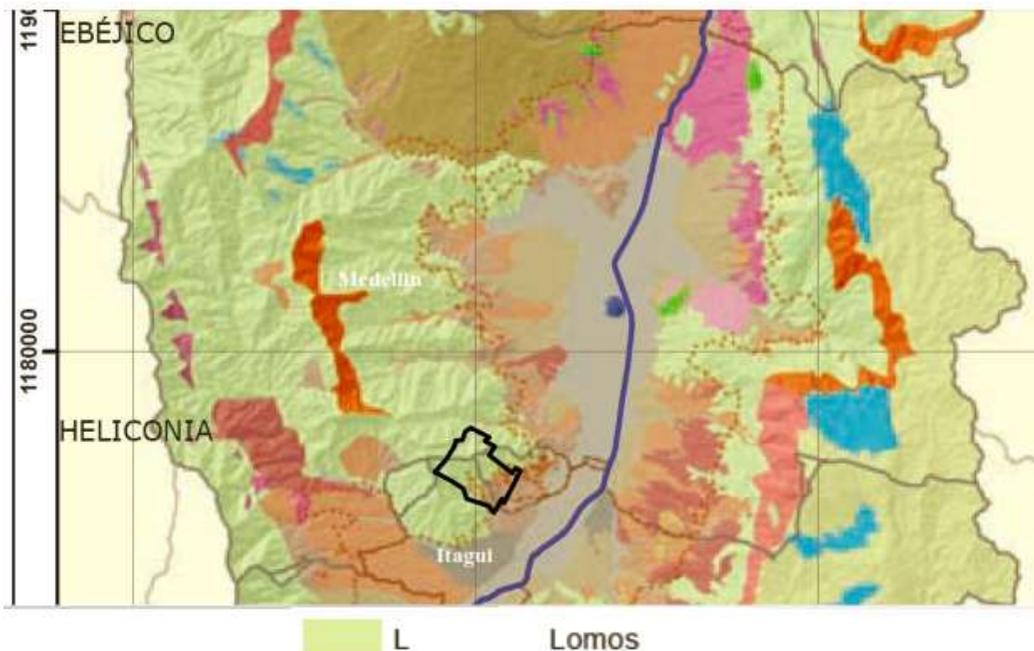


Ilustración 18. Geomorfología regional de la zona en estudio. En negro el polígono en interés.

Bloque Itagüi – San Cristóbal: Corresponde al área localizada al occidente de la ciudad de Medellín, involucrando la totalidad de las quebradas Guayabala, La Picacha, Altavista, Ana Díaz, La Hueso y la Pelahueso; además, de un tramo de la margen derecha de la quebrada La Iguana. Esta macrounidad que se extiende desde los 2700 hasta los 1500 msnm, se desarrolla sobre las rocas del Stock de Altavista, el gneis de la Iguana y Metabasitas, y los depósitos de vertiente generados al interior de la misma. Estos últimos se extienden hacia el fondo del valle donde conforman las típicas geoformas de abanico. La presencia de lomos regionales de tendencia occidente a oriente son la característica fundamental de esta macrounidad. Dichos lomos separan las cuencas de las quebradas mencionadas conformando valles en “V” de fondo estrecho con vertientes largas, rectas a cóncavas y de inclinación moderada a localmente



Alcaldía de Medellín

empinadas. Hacia las cabeceras las laderas rematan en escarpes semicirculares, evidencia del proceso remontante del frente erosivo del río Aburrá Medellín.

El tope de los lomos es en general estrecho y redondeado, con pendientes longitudinales suaves a moderadas. A partir de un análisis de perfiles topográficos sistemáticos sobre la línea de estos lomos, se identificó al menos tres niveles de lomos recurrentes dentro de este polígono, con los siguientes niveles: 2.200, 2.000, y 1.850-1.900 msnm. Así mismo se observó un marcado descenso topográfico hacia la parte frontal de los lomos regionales, por debajo de los 1.600 msnm. A partir del punto mencionado se presentan en general relieves menores y se conforman sistemas de colinas medias a altas con base circular y laderas empinadas. Un rasgo interesante es la coincidencia del inicio de todos estos sistemas de colinas con el trazo de la falla Iguaña- Boquerón.

Lomos: Son filos alargados y estrechos con orientación hacia el eje fluvial principal. Son las unidades geomorfológicas dominantes y de mayor cobertura dentro del municipio de Medellín.

Geología de las Unidades Geomorfológicas Independientes: A continuación, se presentará la geología para cada UMI que conforman el predio del Plan Parcial con identificación del polígono Z6_D_4.

Con la información disponible de la zona y con los recorridos de campo se determinó que para la UMI 1, se observa una unidad litológica que corresponde a suelos residuales del Stock de AltaVista, y para la UMI2, se tienen 4 unidades: Suelos residuales del Stock de Altavista, depósitos cuaternarios de vertiente, depósitos cuaternarios de flujo y un lleno antrópico. En la Ilustración 19, Geología de las UMIS se presenta la geología de ambas.

A continuación, se describen las unidades geológicas observadas en ambas UMIS y la descripción de los horizontes de los perfiles de meteorización de acuerdo con la clasificación de Deere y Patton (1971). (Suelo residual Horizontes IA o IB, saprolito Horizonte IC, roca meteorizada Horizontes IIA o IIB y roca sana u Horizonte III.)





Alcaldía de Medellín

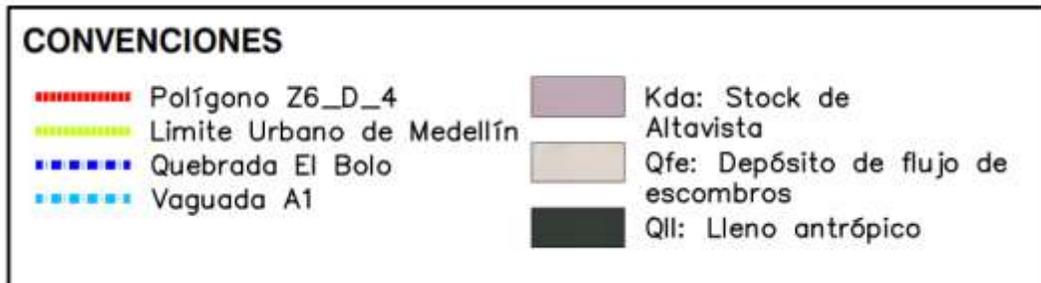


Ilustración 19. Geología de las UMIS. En color rosado el stock de Altavista, en gris claro depósito de vertiente, y en gris depósito de flujo de escombros, y en gris oscuro lleno antrópico.

La exploración realizada por Geo2 incluyó la realización de cinco (5) apiques y dieciocho (18) ensayos de penetración estándar SPT (Ver Anexo), como se muestra en la Ilustración 20 las penetraciones se realizaron detrás de los apiques, es decir, el apique 1, está en inmediaciones del SPT-1 y así sucesivamente. Todos los sondeos se ejecutaron dentro del rasgo de “vaguada” y en cada una de ellas se les instaló un piezómetro para la recolección de datos acerca del nivel freático y su eventual fluctuación (Ver Tabla 9).



Alcaldía de Medellín

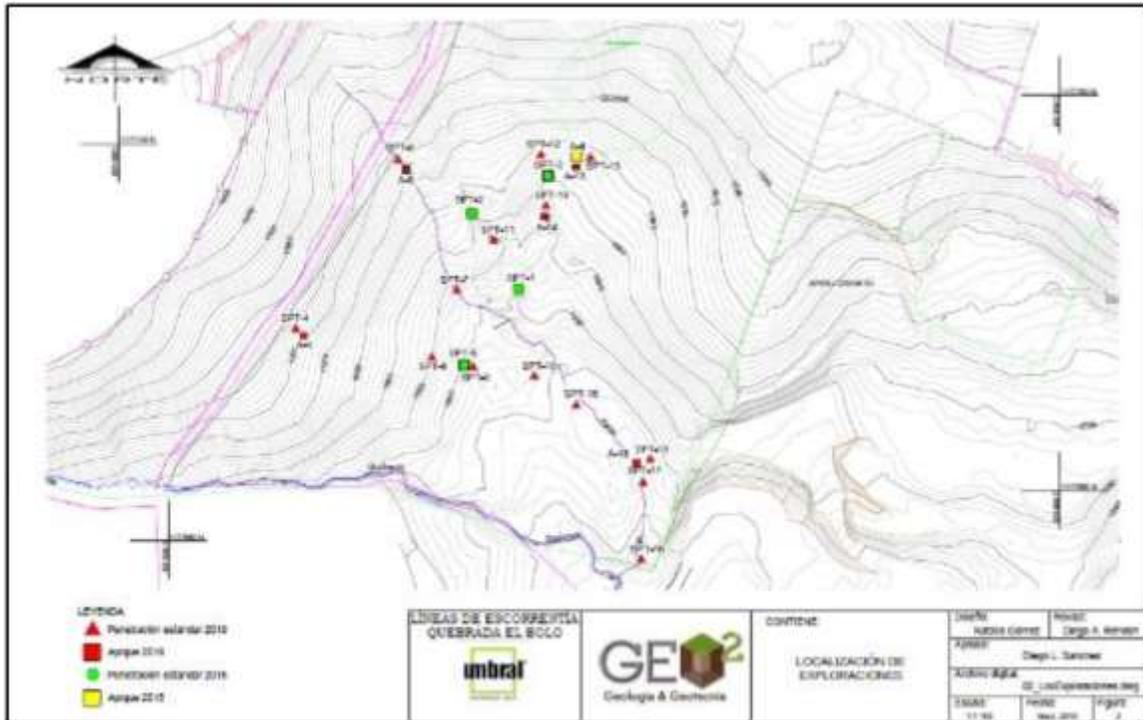


Ilustración 20. Ubicación de los sondeos exploratorios (Geo2)





Alcaldía de Medellín

Tabla 9. Sondeos realizados por Geo2 en el año 2019.

Sondeo	Año	Coordenadas			Prof. (m)	Nivel Freático (m)	Instalación piezómetro
		N	E	cota			
Ap-1	2015	1177681	831641	1550	2,00	1,30	N. A**
Ap-2	2015	1177712	831622	1560	2,00	Seco*	N. A**
Ap-3	2015	1177727	831653	1560	2,10	Seco*	N. A**
Ap-4	2015	1177736	831665	1563	2.00	Seco*	N. A**
Ap-4	2019	1177662	831555	1575	1.55	Seco	N. A**
Ap-6	2019	1177730	831596	1572	1.50	Seco	N. A**
Ap-13	2019	1177730	831665	1562	1.50	Seco	N. A**
Ap-14	2019	1177711	831652	1556	1.50	Seco	N. A**
Ap-18	2019	1177611	831689	1542	1.50	0.60	N. A**
Ap-5	2015	1177651	831620	1550	2.00	Seco*	N. A**
SPT-1	2015	1177681	831641	1550	6.30	Seco*	Si
SPT-2	2015	1177712	831622	1560	6.30	Seco*	Si
SPT-3	2015	1177727	831653	1560	6.30	Seco*	Si
SPT-4	2019	11776653	831551	1577	6.30	Seco*	Si
SPT-5	2015	1177651	831620	1550	5.40	Seco*	Si
SPT-6	2019	1177733	831592	1574	6.30	Seco*	Si
SPT-7	2019	1177681	831616	1553	6.30	Seco*	Si
SPT-8	2019	1177653	831606	1553	6.30	Seco*	Si
SPT-9	2019	1177649	831623	1548	6.30	1.35	Si
SPT-10	2019	1177646	831647	1546	5.40	0.00	Si
SPT-11	2019	1177701	831631	1555	6.30	Seco*	Si
SPT-12	2019	1177735	831650	1563	5.25	Seco*	Si
SPT-13	2019	1177734	831670	1563	6.30	Seco*	Si
SPT-14	2019	1177715	831652	1557	6.30	Seco*	Si
SPT-15	2019	1177634	831664	1544	6.30	0.00	Si
SPT-16	2019	1177571	831691	1538	4.95	0.00	Si
SPT-17	2019	1177602	831691	1542	6.30	0.00	Si
SPT-18	2019	1177612	831694	1543	6.30	1.80	Si

Stock de Altavista (KDA). El basamento rocoso del lote está constituido por una unidad ígnea plutónica, correspondiente a una compleja intercalación de facies graníticas, intermedias e incluso subvolcánicas. Este cuerpo, llamado Stock de Altavista, ha sido tradicionalmente explotado para la obtención de materiales de construcción (roca triturada, arenas, limos y arcillas).



Alcaldía de Medellín

Sin embargo, como ya se mencionó, la roca no aflora en el lote. Por el contrario, el proceso dominante es la meteorización química, dadas las condiciones de alta humedad y precipitación del Valle de Aburrá. Dicho proceso ha permitido en toda la ladera occidental de este valle el desarrollo de un espeso perfil de suelos tropicales, con espesores superiores a los 30 m.

Específicamente en el lote, según las penetraciones, estos suelos se identificaron por debajo de un depósito coluvial sensu stricto. Inicia con un horizonte residual (IB según Deere & Patton, 1971) de espesor variable, alcanzando su máximo en las partes altas (suaves) y disminuyendo hacia las laderas, en el SPT-8 y SPT-13 se registran los mayores espesores hasta 2,65 m. Se describe como un suelo limo-arcilloso de color gris claro a pardo grisáceo con motas pardas y negras de óxidos de manganeso, no se reconoce textura ni estructura de la roca parental. En algunas ocasiones toma color pardo rojizo con abundantes óxidos de hierro. En general tiene una plasticidad media a alta, humedad media, consistencia media. Su existencia es prueba inequívoca de la no actuación de erosión fluvial alguna, puesto que hubiese sido arrastrado (Ver Ilustración 21),

Por debajo de este IB y de manera transicional se reconoce el horizonte saprolítico (IC) inicialmente limoso, de color pardo rojizo a pardo amarillento con tramos blancos y negros (óxidos de manganeso) donde se reconoce levemente la textura de la roca, su humedad, consistencia y plasticidad son medias. A medida que se avanza en profundidad se torna más duro (mayor consistencia) con un aumento en el contenido de arenas y textura heredada más clara. En estudios anteriores se reportan variaciones en las facies de la roca, se describen dioritas, microdioritas e incluso facies aplíticas. Para estos sondeos, predominan las facies de diorita y en menor proporción saprolito de microdiorita, nombrada así por el tamaño de grano fino que la constituye (Ver Ilustración 22).





Alcaldía de Medellín



Ilustración 21. Suelo residual (IB), descrito en SPT-7 y SPT-6 respectivamente.



Ilustración 22. Detalle de saprolito. Izquierda microdiorita descrita en SPT-3. Derecha: Diorita descrita en SPT-9.

Depósitos aluviales (Qal): Estos depósitos son el producto de la sedimentación de la corriente que los transporta, su tamaño granulométrico habla de la energía de dicha corriente. Según esto se pueden distinguir acumulaciones de sedimentos finos (limos y arcillas), medios (arenas) y gruesos (gravas).

Este tipo de materiales fueron identificados en los sondeos localizados en la cuenca de la denominada línea El Ramal, específicamente en los sondeos SPT-10, 15, 16, 17 y 18).



Alcaldía de Medellín

Mediante los citados sondeos se pudo distinguir un depósito aluvial fino compuesto predominantemente por arcillas y limos de color gris con tonalidades verdes, con esporádicos lentes de arenas finas y medias. Adicionalmente se identifican lentes de color pardo oscuro con abundante contenido de materia orgánica. Su espesor es variable, desde 0.90 m (SPT- 10) hasta superar incluso los 5.85 m en SPT-18. Este suelo tiene una plasticidad alta, humedad media a alta y consistencia baja (Ver Ilustración 23)



Ilustración 23. Detalle de depósitos aluviales. Izquierda: depósito aluvial fino (SPT-17). Derecha: Depósito aluvial medio- fino (SPT-17).

Estos depósitos son el producto del lavado, por parte de la lámina de agua de escorrentía, del material suelto que se encuentra sobre las laderas. Se caracterizan como materiales finos, tipo limos, arcillas y arenas que se depositan en la base de las laderas, formando capas caóticas. Su identificación y delimitación se facilita porque generalmente están asociados a los lugares de las vertientes donde se observan cambio de inclinación.

Dentro del área de estudio se tiene este material como una capa de hasta 3,15 m de espesor (en la SPT-8) sobre el saprolito. Este depósito es variable en cuanto a composición. Se describen tramos orgánicos limo- arcillosos a arcillo-arenosos con bioturbación, al cual se le asocia un color pardo a gris oscuro homogéneo con algún contenido de raicillas, de densidad media a baja, humedad alta, plasticidad media y consistencia baja (en SPT-1, 3, 5, 13, 14 y 18). Se identifica adicionalmente un depósito coluvial de color gris con motas naranja y negras, limo-arcilloso a limoso con esporádico contenido de arenas finas. En general su consistencia, humedad y plasticidad son medias. Adicionalmente en SPT-5 y SPT-8, se identificó un depósito coluvial de color pardo a beige con motas negras, predominantemente limo-arcilloso. En él se identifican esporádicas



Alcaldía de Medellín

arenas y óxidos de manganeso. En general su plasticidad es media, consistencia media y humedad media a baja (Ver Ilustración 25).

En la quebrada El Bolo se observa un depósito aluvial menor a 1m de espesor, con bloques y clastos de composición granítica de unos 0.40m, redondeados y mal seleccionados, no cartografiable, que cubre el saprolito.



Ilustración 24. Detalle apique 2 sobre insinuación de vaguada, con su relación estratigráfica.

Nuevamente, se debe mencionar que este material no soportaría la acción de un caudal continuo de agua. Su presencia en el fondo de las líneas de escorrentía, tal como lo reflejan los apiques, es prueba de que los mencionados rasgos no constituyen corrientes que presenten condiciones de humedad o madurez geomorfológica asimilable a una fuente hídrica.



Alcaldía de Medellín



Ilustración 25. Detalle depósito coluvial sensu stricto, De izquierda a derecha: depósito coluvial orgánico en SPT-3, depósito coluvial gris SPT-6 y depósito coluvial pardo en SPT-8.

Se observan dos depósitos de vertiente en la zona en estudio o coluviales, uno localizado hacia la parte este del lote, de unos 100m longitudinales, en sentido norte-sur, con pendiente del orden de 20°. El otro se observa hacia el costado norte del terreno de interés, corresponde a un depósito de flujo de escombros de poco espesor y como resultado de un deslizamiento reciente. Presenta matriz de color pardo y de carácter limoso, con clastos angulares de rocas graníticas. Comprende unos 5 m a 6 m de espesor (Ver Ilustración 26).



Alcaldía de Medellín



Ilustración 26. Vista panorámica del depósito de flujo de escombros, (depósito en amarillo) desde el parqueadero de la unidad residencial Rodeo Campestre.

Hacia la parte sur, en cercanías a la industria de las ladrilleras, se observa un depósito de flujo de escombros con clastos de roca granítica de unos 0.20 m de espesor en una matriz limosa.

Llenos Antrópicos (QLL): Hacia la parte sur del lote, se observa un lleno antrópico dejado por la actividad minera de las ladrilleras en el desarrollo de sus labores como (depósitos de material estéril, adecuación de vías, acumulación de materia prima, etc.), en los recorridos de campo, parte de este lleno ya se encuentra revegetalizado con algunas cicatrices de deslizamientos (Ver Ilustración 27 e Ilustración 28).



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín



Ilustración 27. Lleno antrópico de la acumulación de materiales de la ladrillera. (Tomado de Google Earth, 2008.)

ME
DE
LLIN



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín



Ilustración 28. Visual de lleno antrópico cercanía a la Vaguada A1.

Además del lleno mencionado de dimensiones considerables, también hacia el costado occidental de la zona de estudio, en cercanías a la unidad Rodeo Campestre se observa un pequeño lleno antrópico, bien conformado, al parecer por la reconfiguración del terreno para la construcción de esta unidad, y de la ampliación y adecuación de vías.

2.4.1. Geomorfología de las Unidades Morfodinámicas Independientes.

En este aparte se realiza el análisis para la definición de las unidades geomorfológicas de las UMIS, a partir de las geoformas levantadas en campo, el análisis de los mapas de pendientes, y de los procesos morfodinámicos que se observan en ellas.



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia



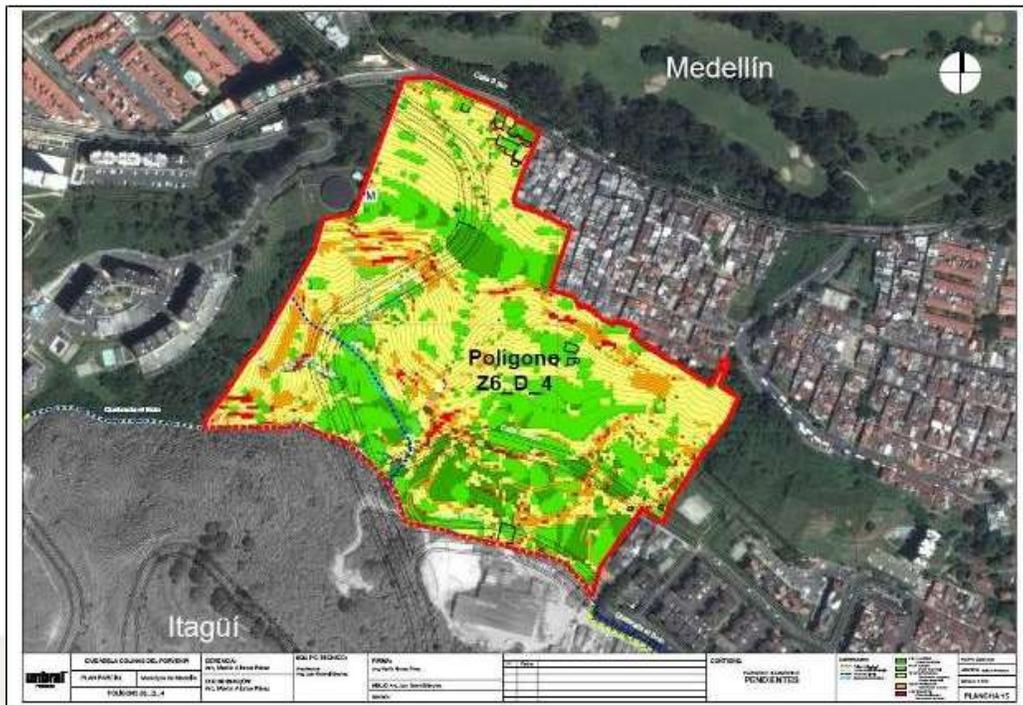


Alcaldía de Medellín

Para obtener una clasificación del relieve se realizó un mapa de pendientes y un estudio de la red de drenaje.

- **Morfometría.**

Los rangos de pendientes para las UMIS, se clasificaron de acuerdo al ángulo de inclinación natural que presente el terreno, y este valor es expresado tal como se relaciona en la Ilustración 29 según lo reportado por el acuerdo Metropolitano N°9 de 2012.



CONVENCIONES	
----- Polígono Z6_D_4	0°-5° PLANICIES Erosión Superficial
----- Limite Urbano de Medellín	5°-15° SUAVES Erosión Superficial
----- Quebrada El Bolo	15°-30° MODERADAS Movimientos en masa y Erosión Superficial
----- Vaguada A1	30°-45° EMPINADOS Movimientos en masa
	> 45° ESCARPES Caída de bloques y Movimientos en masa

Ilustración 29. Mapa de Pendientes, en color verde oscuro las planicies, en verde claro las pendientes suaves, en amarillo las pendientes moderadas, en naranja las pendientes empinadas y en color rojo los escarpes.



Alcaldía de Medellín

- **Red de Drenaje.**

El cauce principal de la quebrada El Bolo, se encuentra bien definido, y corresponde a un drenaje tipo dendrítico en relación con sus afluentes, en el caso puntual del sitio de estudio se identifica un afluente de la quebrada El Bolo denominado “Vaguada A1”. Este patrón de drenaje está formado por una corriente principal que este caso es la quebrada El Bolo y sus afluentes que se unen libremente en todas las direcciones, indicando que los materiales en la zona son uniformes, para este caso que se tiene que la unidad geológica principal es el Stock de Altavista.

Según la Ilustración 29 , en la UMI 1 se tienen pendientes moderadas del orden de 15°-30° y para la UMI 2 se presenta un porcentaje bajo de planicies y pendientes suaves, localizadas en la parte sureste de ésta, que corresponde en gran parte a la zona intervenida por la actividad minera donde se ha realizado remoción de material y construcción de terraplenes, en la parte media y suroeste; la UMI también presenta pendientes moderadas, de 15-30°. Las zonas empinadas y escarpadas, colores rojo y naranja, sólo se presentan en cambios bruscos de pendientes hacia la parte oeste del lote en estudio en dirección al este hacia el cauce de la quebrada El Bolo.

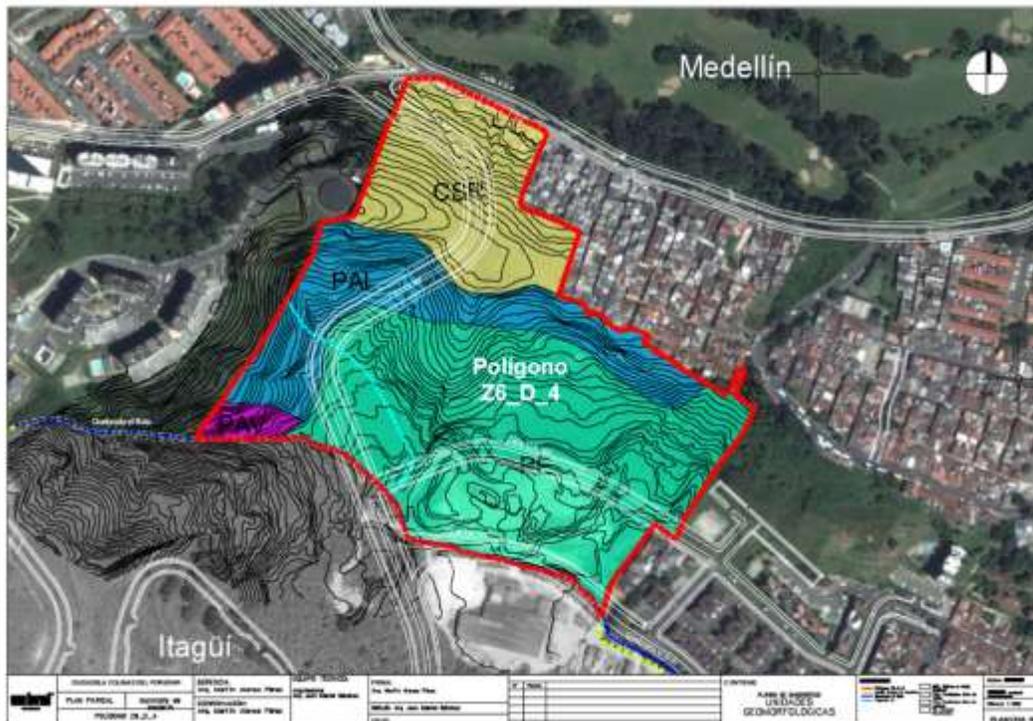
2.4.2. Unidades Geomorfológicas.

Teniendo en cuenta el anterior análisis, la UMI 1 presenta una unidad geomorfológica que corresponde a colinas en suelo residual, mientras que para la UMI 2 se tienen 4 unidades geomorfológicas diferentes, de acuerdo a características similares en relieve. Ver la Ilustración 30 a continuación:





Alcaldía de Medellín



CONVENCIONES	
	Polígono Z6_D_4
	Límite Urbano de Medellín
	Quebrada El Bolo
	Vaguada A1
	CSR: Colinas en Suelo Residual
	PAV: Pendientes Altas de Valles
	PAL: Pendientes Altas de Laderas
	PE: Planicies Escalonadas

Ilustración 30. Mapa de Unidades geomorfológicas de la UMI, en color naranja, unidad de colinas en suelo residual, en rosado unidad de pendientes altas de valle, y en verde planicies escalonadas.

- **Unidad de Colinas en suelo Residual (CSR).**

Esta unidad cubre toda el área de la UMI 1, y se encuentra en la parte norte de la UMI2. Esta colina se caracteriza por tener un tope ondulado de bajas pendientes y laderas que oscilan entre 15- -30°. En esta unidad se encuentran en la parte de mayor altura de la cuenca, no se observan cicatrices de deslizamiento, ni procesos



Alcaldía de Medellín

activos. El drenaje es de tipo dendrítico en el sector correspondiente a la UMI 2, puesto que en la UMI 1 no se observan drenajes. La cobertura vegetal es escasa, ya que en ella se encuentran alojadas aproximadamente tres unidades residenciales. Litológicamente esta unidad está compuesta por suelos del stock de Altavista, de composición limo-arcillosa de coloración rojiza.

- **Unidad de Pendientes altas de ladera (PAL).**

Esta unidad se caracteriza por la presencia de zonas escarpadas con pendientes mayores a 45° , la cual hace que la unidad sea reconocible a simple vista en la zona. Las pendientes tienen una dirección oeste-este, hacia la quebrada El Bolo. En esta unidad es donde ocurren la gran mayoría de procesos de remoción en masa en la UMI 2. Los drenajes son rectos, de una incisión aproximada de 1 m. La cobertura vegetal es abundante producto de la reforestación que se ha realizado en la zona debido a que el área ha sido intervenida tanto para labores mineras como para la construcción de unidades residenciales. Esta unidad se encuentra compuesta por suelo residual perteneciente a rocas graníticas del Stock de AltaVista.

- **Unidad de Pendientes altas de Valle (PAV).**

Esta unidad se encuentra ubicada en la parte suroccidental de la UMI 2, se caracteriza por un relieve de lomas con topes ondulados y con altas pendientes, las cuales tienen una dirección al Este, está compuesta por lo que se denominó como un depósito de flujo de escombros, presenta cicatrices de deslizamiento antiguos, según el análisis multitemporal de las fotografías aéreas. El drenaje es de tipo dendrítico y atraviesa toda la unidad de depósitos de oeste a este. La cobertura vegetal es escasa con pastos de una altura máxima de 2 m.

- **Unidades de Planicies escalonadas (PE).**

Esta unida se encuentra ubicada en la parte sur de la zona, más específicamente donde se encuentran ubicadas las canteras. Está conformada generalmente por zonas planas de bajas pendientes que varían de 0 a 15° y en algunos lugares se observan con zonas con pendientes altas $>45^\circ$, que forman un escalonamiento en la topografía del sector. La altura aproximada de estos escalones es de máximo 10 m. Es producto de las labores minería que se desarrollan en la zona. Litológicamente está compuesta por suelo residual de composición limo arcillosa de coloración rojiza perteneciente al Stock de Altavista, y algunos deslizamientos de flujo de escombros La zona se encuentra



Alcaldía de Medellín

intervenida por procesos antrópicos, la red de drenaje está compuesta por la quebrada El Bolo, que atraviesan la unidad en la parte sur occidental. La cobertura vegetal es escasa ya que en ella se asientan los trabajos mineros que se han desarrollado por años en el sector.

2.4.3. Zonificación Geológica y Geomorfológica en cuanto a la Aptitud de Uso del Suelo.

Las siguientes son definiciones del Acuerdo Metropolitano No. 9 del 25 de mayo de 2012: *Lineamientos Metropolitanos para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidráulicos, hidrológicos y geotécnicos y se dictan otras disposiciones para la prevención del riesgo en construcciones en laderas*”.

- **Zonas Aptas (Za).**

Según la definición del Acuerdo Metropolitano “Corresponden a zonas que presentan alto grado de estabilidad, no se aprecia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos e inactivos, tales como socavación de márgenes y movimientos en masa que afecten la estabilidad global del predio de interés y de la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas está condicionada al tipo de intervención que se proyecte y al uso y manejo que se dé a estas, además a la UMI asociada.” Son áreas estables independientes donde es posible emplazar cualquier obra de ingeniería o de otra índole. Tiene pendientes de planicies y suaves, sólo presenta erosión superficial que se controla con cobertura vegetal y las formaciones geológicas del subsuelo requieren los estudios solicitados por la NSR – 10. En estos terrenos se considera que los cortes del terreno no sobrepasaran los 2 m y en caso de requerir mayor excavación se debe adelantar un estudio de estabilidad de laderas.

- **Zonas Aptas con Restricción Moderada (Zarm).**

Según el Acuerdo Metropolitano se define como “zonas estables dentro del predio de interés; sin embargo, su estabilidad está condicionada por la incidencia directa que presentan procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa identificados en la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte. Se considera que las obras de estabilización proyectadas son técnica y económicamente viables.”: Se considera aquellas áreas de terreno donde es posible emplazar cualquier obra de ingeniería o de otra índole, pero donde se debe tener presente que existes





Alcaldía de Medellín

condiciones geológicas o geomorfológicas que requieren estudios especiales y obras de estabilización. Las pendientes son variables predominando las moderadas, donde es posible que se generen movimientos en masa, existen cicatrices de deslizamientos que deben ser tratadas con estudios en caso de quedar involucradas en alguna obra. Las formaciones geológicas del subsuelo requieren los estudios solicitados por la NSR – 10, además se debe adelantar estudios de estabilidad de laderas.

- **Zonas Aptas con Restricción Alta (Zara).**

Según el Acuerdo Metropolitano se define como “las cuales se evidencia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa localizados en el predio de interés y en la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte sobre estas. El estudio debe evaluar la viabilidad técnica y económica de las obras de estabilización proyectadas dentro del lote y la UMI asociada.” Se considera aquellas áreas de terreno donde es posible emplazar algunas obras de ingeniería, pero obligatoriamente se debe adelantar estudios especiales de geotecnia de estabilización y de manejo del terreno. Las pendientes son fuertes, es posible que se genere movimientos en masa, existen cicatrices de deslizamientos que deben ser tratadas con estudios en caso de quedar involucradas en alguna obra y en época invernal escurre agua. Las formaciones geológicas del subsuelo requieren los estudios solicitados por la NSR – 10, además se debe adelantar estudios de estabilidad de laderas y en algunos casos drenes.

- **Zonas No Aptas (ZNa).**

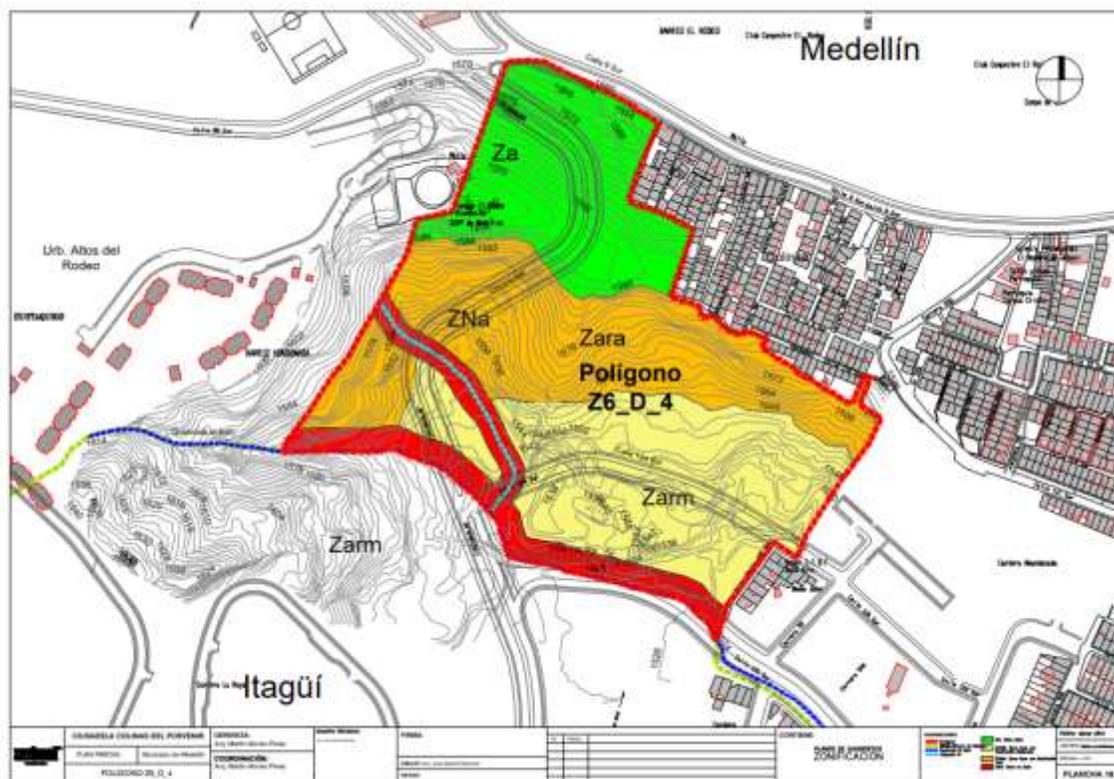
Según el Acuerdo Metropolitano se define como “aquellas con evidente inestabilidad por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa dentro del lote de interés y la UMI asociada; el estudio considera que las obras de estabilización proyectadas son técnicamente complejas y de alto costo con respecto a las inversiones proyectadas en la zona o predio de interés. Las zonas con restricciones normativas se consideran como No Aptas” En esta categoría se considera aquellas zonas que corresponden a retiros de quebradas. El retiro de las quebradas son restricciones impuestas por las autoridades ambientales, donde gráficamente se consideró una franja de mínimo 10 m, pero que se debe ajustar a la legislación vigente. En los Planes de Ordenamiento Territorial se considera que zonas con pendientes fuertes tampoco deben ser urbanizadas, por lo que en



Alcaldía de Medellín

este trabajo se incluye todas aquellas áreas que en el mapa de pendientes están clasificadas mayores a los 30°. Además, en esta categoría se incorpora las escorrentías identificadas en el estudio de geomorfología que requieren permisos de ocupación de cauce o manejo de aguas para adelantar cualquier obra de ingeniería sobre ellas.

En la Ilustración 31 se puede apreciar la zonificación de aptitud del suelo:



CONVENCIONES	
	Polígono Z6 D 4
	Límite municipal
	Quebrada El Bolo
	Vaguada A1
	Za (Zonas aptas)
	Zara (Zonas aptas con restricción alta)
	Zara (Zonas aptas con restricción moderada)
	ZNa (Zonas no aptas)

Ilustración 31. Zonificación de aptitud del suelo.



Alcaldía de Medellín

Para la UMI 1, se tiene una clasificación de aptitud del uso como Apta, debido a que no se observan procesos morfodinámicos, y la mayor parte de la zona corresponde a pendientes medias.

Para la UMI 2, las zonas clasificadas como ZARM, zona apta con restricción moderada, se localizan en la mayor parte de la zona del Plan Parcial, hacia la zona centro-oeste donde la geomorfología típica son lomos de pendiente menores a los 30°, conformadas por depósitos de vertientes y pocos procesos erosivos.

Las zonas clasificadas como ZARA, con restricción alta, corresponden a las pendientes más altas del lote, que se localizan hacia la parte oeste-este, estas pendientes están entre 30° y 45° y donde se presenta procesos de reptación.

Las Zonas no aptas corresponden al retiro de la quebrada El Bolo y su ramal de la margen izquierda, de acuerdo a los estudios anteriormente relacionados.

2.4.4. Otros aspectos geológicos

La base geológica para proceder al complemento y verificación de los análisis de estabilidad son los inicialmente realizados en el estudio de Vieco 2014, de María Isabel Mesa y los resultados de la exploración geológica realizada en el año 2015 y 2019 por Geo2 y los resultados de la exploración y caracterización de los materiales del informe de EGEA, del año 2022.

Este estudio considera los cortes inicialmente planteados por Vieco (Ilustración 32) y los actualiza con los resultados de la información de los complementos realizados en la zona del polígono.





Alcaldía de Medellín

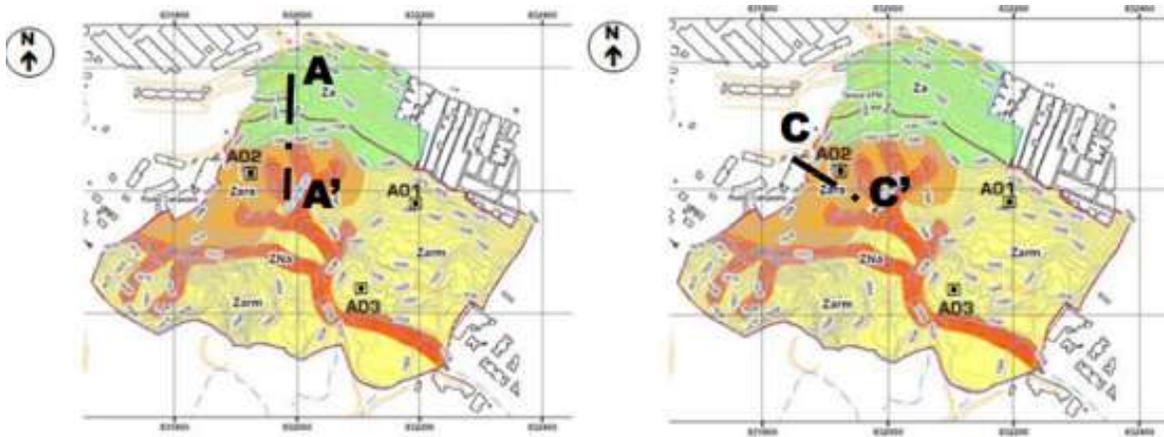


Ilustración 32. Secciones de Análisis iniciales para la estabilidad de taludes. La Ilustración 33 presenta el plano de formaciones superficiales construido a partir de dichos estudios y que retoma la descripción de las unidades presentes, además de presentar los 2 cortes para la verificación de los análisis para la estabilidad.

El basamento de la zona de estudio está constituido por suelos residuales y saprolíticos del Stock de Altavista que es una roca ígnea plutónica, que se extiende 83 km², abarcando el centro y suroccidente del Valle de Aburra.

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, desarrollando suelos residuales, que en la zona alcanzan espesores mayores a 21m que fue la profundidad explorada. Las características físicas de este suelo residual y saprolítico muestran que corresponde a un suelo arcilloso a limo arcilloso, algunas veces con granulometría más arenosa; de colores moteados que varían entre color rojizo a pardo amarillo ocre.

El emplazamiento del stock se presentó en varias facies petrográficas, por lo que la unidad se caracteriza por una variabilidad composicional y petrográfica. La facies autolítica, predominante en la zona está compuesta principalmente por dioritas intruidas por granodiorita, de color blanco grisáceo, textura inequigranular, de grano fino, posee como minerales principales el feldespato y la hornblenda, como mineral secundario la biotita y como mineral accesorio el cuarzo (Mesa, 2014).



Alcaldía de Medellín

Los depósitos de vertiente corresponden a la acumulación de materiales producto de los procesos erosivos ocurridos en la ladera, para este trabajo se incluyen aquí los depósitos de deslizamientos recientes, los depósitos de flujos de escombros y lodos, los depósitos de escorrentía y los depósitos sensu stricto bioturbado.

Los llenos antrópicos corresponden a acumulaciones de materia prima, centros de acopio, y botaderos realizados por la ladrillera presente en la zona y también a los materiales de desecho de construcción depositados en las laderas por parte de los habitantes de la zona.

En el área del polígono la diorita (KdA) se evidencia que están suprayacidos por depósitos de vertiente (Qdv), por materiales de lleno (Qll), producto de las actividades extractivas que se desarrollaban en la zona y hacia la parte baja por los depósitos aluviales (Qal) asociados a los drenajes de la quebrada El Bolo y afluente.

La Ilustración 33 presenta la distribución espacial de estas unidades e Ilustración 34 e Ilustración 35 las secciones estratigráficas respectivas.





Alcaldía de Medellín

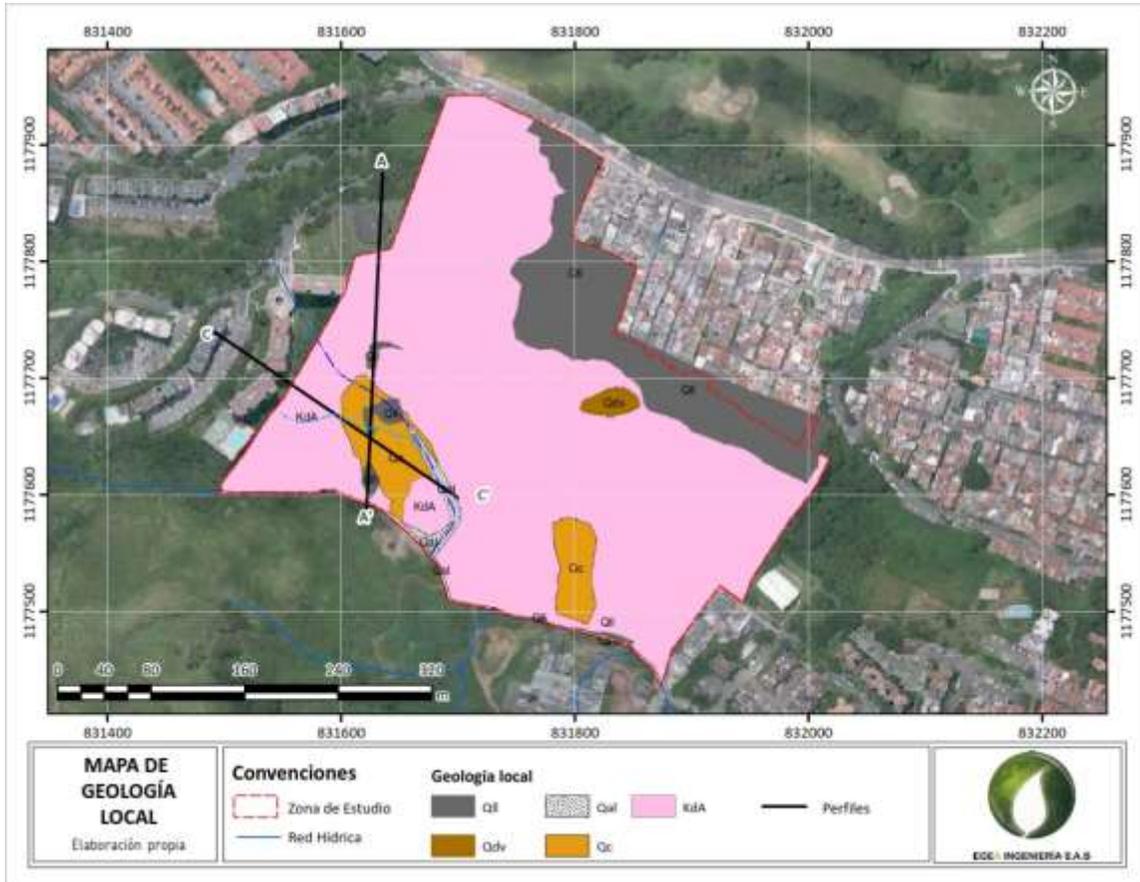


Ilustración 33. Geología local. Modificado por Egea Ingeniería, 2022.

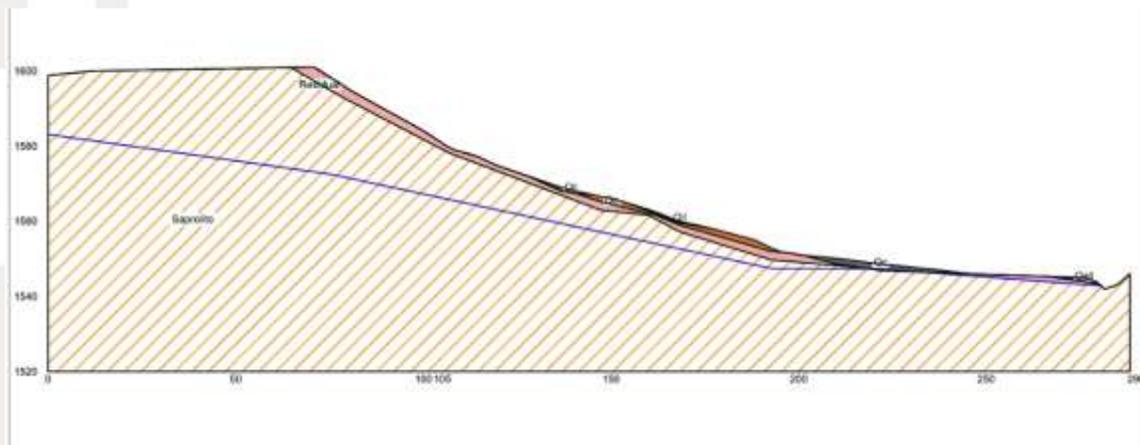


Ilustración 34. Perfil Estratigráfico sección AA.



Alcaldía de Medellín

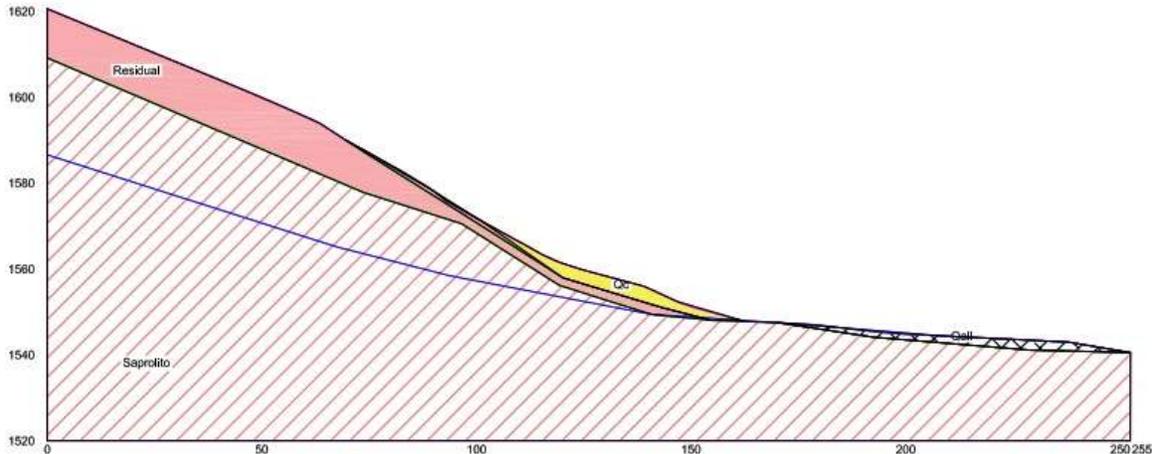


Ilustración 35. Perfil Estratigráfico sección CC.

2.4.5. Aspectos geotécnicos

- **Sondeos exploratorios**

En la Ilustración 36 se presenta la localización de los sondeos de dichos estudios, las cuales fueron consultadas para la elaboración del modelo geológico y fueron la base para la elaboración del mapa geológico y de los perfiles estratigráficos para la respectiva evaluación de las condiciones de estabilidad.

Se retoman los resultados de la investigación de Vieco, que consistió en la ejecución de 3 pilas exploratoria con profundidades Pila A01 de 19m, pila A02 de 20.5 m y pila A03 de 10 m. de profundidad, localizadas tal como lo muestra la Ilustración 36.



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

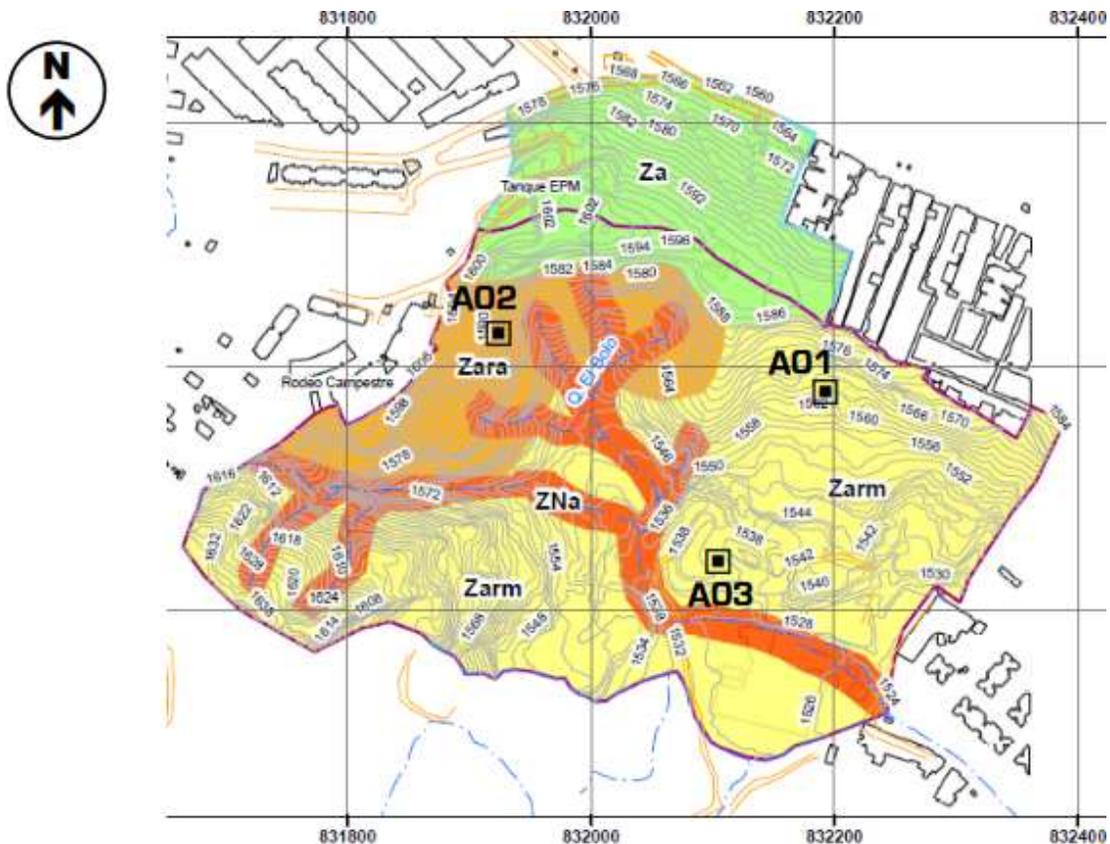


Ilustración 36. Localización sondeos estudio Vieco (Tomado de Vieco, 2014).

Todas las pilas mostraron suelos residuales de distintos grados de meteorización, sin embargo, A3 localizado en zona de antigua explotación mostro un lleno de 5.5 m.

En cuanto al nivel freático este solo fue reportado para la pila A03 a una profundidad de 8 m. bajo la superficie del terreno.

En la Ilustración 37 e Ilustración 38 se presenta la localización de sondeos, con su respectiva profundidad y posición del nivel freático tomada del informe según investigación de GEO2 y la Tabla 10 el resumen de profundidad de los sondeos y la posición de nivel freático.

En la Ilustración 39, en el informe realizado por (EGEA Ingeniería S.A.S., 2021) se presenta la localización de los sondeos y en dicha investigación no fue reportado el nivel freático en ningún sondeo.



Alcaldía de Medellín

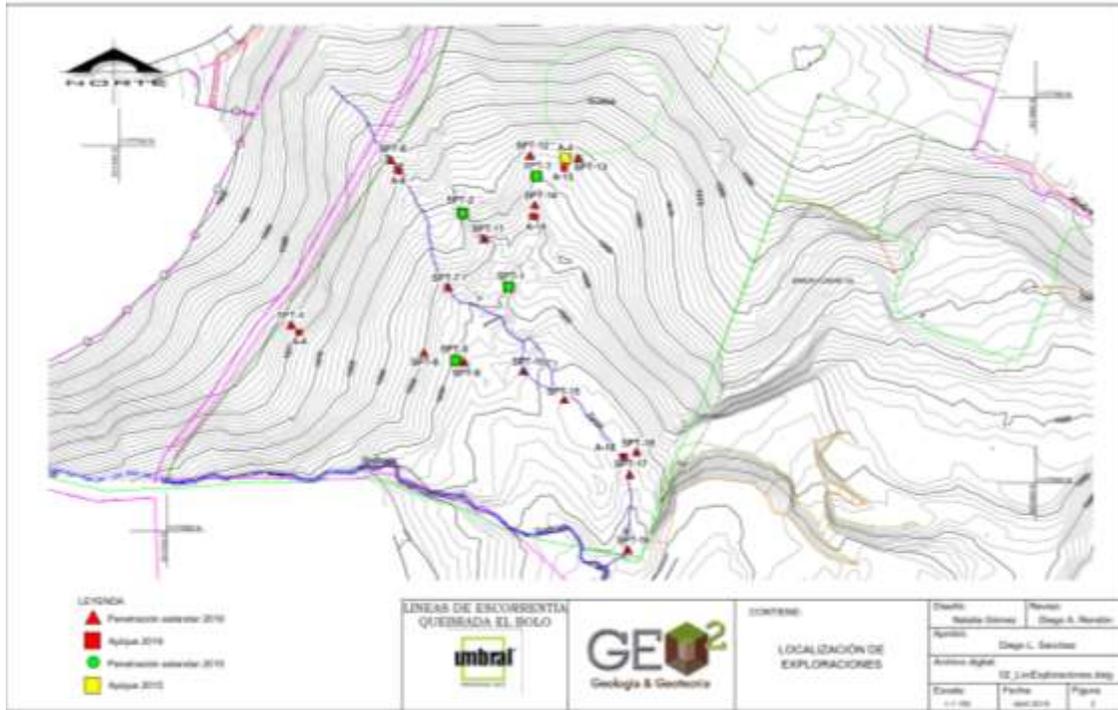


Ilustración 37. Localización sondeos Geo2, 2015 y 2019 (Geo2, 2019)





Alcaldía de Medellín



Ilustración 38. Localización sondeos Geo2, 2015 y 2019 (Ilustración elaborada por Egea Ingeniería)





Alcaldía de Medellín

Tabla 10. Resumen exploración Geo2, 2015 y 2019 y posición nivel freático.

SONDEO	AÑO	NORTE	ESTE	COTA	PROF. (M)	NIVEL FREÁTICO (M)	INSTALACIÓN PIEZÓMETRO
Ap-1	2015	1177681	831641	1550	2.0	1,30	N.A**
Ap-2	2015	1177712	831622	1560	2.0	Seco*	N.A**
Ap-3	2015	1177727	831653	1560	2.1	Seco*	N.A**
Ap-4	2015	1177736	831665	1563	2.0	Seco*	N.A**
Ap-4	2019	1177662	831555	1575	1.6	Seco	N.A**
Ap-5	2015	1177651	831620	1550	2.0	Seco*	N.A**
Ap-6	2019	1177730	831596	1572	1.5	Seco	N.A**
Ap-13	2019	1177730	831665	1562	1.5	Seco	N.A**
Ap-14	2019	1177711	831652	1556	1.5	Seco	N.A**
Ap-18	2019	1177611	831689	1542	1.5	0.6	N.A**
SPT-1	2015	1177681	831641	1550	6.3	Seco*	Si
SPT-2	2015	1177712	831622	1560	6.3	Seco*	Si
SPT-3	2015	1177727	831653	1560	6.3	Seco*	Si
SPT-4	2019	1177665	831551	1577	6.3	Seco*	Si
SPT-5	2015	1177651	831620	1550	5.4	Seco*	Si
SPT-6	2019	1177733	831592	1574	6.3	Seco*	Si
SPT-7	2019	1177681	831616	1553	6.3	Seco*	Si
SPT-8	2019	1177653	831606	1553	6.3	Seco*	Si
SPT-9	2019	1177649	831623	1548	6.3	1.35	Si
SPT-10	2019	1177646	831647	1546	5.4	0	Si
SPT-11	2019	1177701	831631	1555	6.3	Seco*	Si
SPT-12	2019	1177735	831650	1563	5.3	Seco*	Si
SPT-13	2019	1177734	831670	1563	6.3	Seco*	Si
SPT-14	2019	1177715	831652	1557	6.3	Seco*	Si
SPT-15	2019	1177634	831664	1544	6.3	0	Si
SPT-16	2019	1177571	831691	1538	5.0	0	Si
SPT-17	2019	1177602	831691	1542	6.3	0	Si
SPT-18	2019	1177612	831694	1543	6.3	1.8	Si





Alcaldía de Medellín



Ilustración 39. Localización sondeos tomada de (EGEA Ingeniería S.A.S., 2021)

- **Estratigrafía y estimación de parámetros geo-mecánicos**

En las siguientes Ilustraciones se presenta el resumen de la estratigrafía de los diferentes informes:



Alcaldía de Medellín

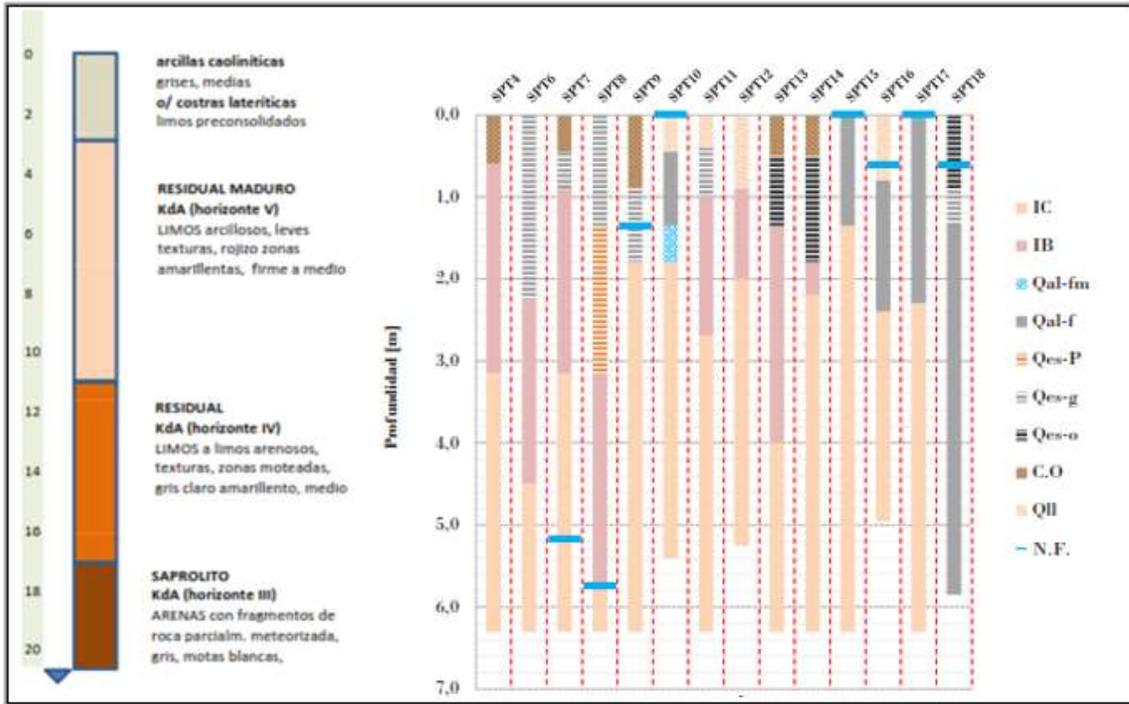


Ilustración 40. Estratigrafía informe de Vieco y Geo2, respectivamente.



Ilustración 41. Estratigrafía reportada en perforaciones y apiques informe (EGEA Ingeniería S.A.S., 2021)

A partir de los anterior se definió la estratigrafía así:

Estrato 1 Llano Antrópico: se encuentran depósitos antrópicos de espesor variable, cuyo máximo espesor fue encontrado en la P-1 de 8,0m, en el estudio de (EGEA Ingeniería S.A.S., 2021) y de 5.50 m en el informe de Vieco generadas en la actividad de la ladrillera.



Alcaldía de Medellín

Estrato 2 Depósito de vertiente: Este material agrupa varios depósitos reportados en la zona.

El depósito Coluvial sensu stricto (Qdv-c) que son el producto del lavado, por parte de la lámina de agua de escorrentía, del material suelto que se encuentra sobre las laderas. Son materiales finos, tipo limos, arcillas y arenas que se depositan en la base de las laderas, formando capas caóticas. Dentro del área de estudio se tiene este material como una capa de hasta 3,15 m de espesor (en la SPT-8) sobre el saprolito. Este depósito es variable en cuanto a composición.

Se describen depósitos orgánicos limoarcillosos a arcillo-arenosos con bioturbación, al cual se le asocia un color pardo a gris oscuro homogéneo con algún contenido de raicillas, de densidad media a baja, humedad alta, plasticidad media y consistencia baja (en SPT-1, 3, 5, 13, 14 y 18). Se identifica adicionalmente un depósito coluvial de color gris con motas naranja y negras, limoarcilloso a limoso con esporádico contenido de arenas finas.

Se tienen depósito de escorrentía gris que son suelos limo-arcilloso a limoso, esporádicamente con arenas, de consistencia es media, humedad y plasticidad medias.

Estrato 3 Depósito Aluvial: asociados a la quebrada El Bolo y su afluente, son depósitos asociados a la sedimentación de la corriente que los transporta. El espesor máximo registrado por GEO 2 (GEO2, 2019) para este depósito es de 5.85m en la SPT-18.

Estrato 4 Suelo Residual Stock de Altavista: color pardo rojizo, altamente oxidado, matriz limo-arcillosa, manchas beige arcillosas producto de la plagioclasa argilizada. El espesor de este estrato es variable desde 2.65 m hasta 10 m.:

Estrato 5 Saprolito de Stock de Altavista: medianamente meteorizado, de color beige correspondiente a plagioclasa con motas negras correspondientes a minerales ferromagnesianos (anfíbol), en algunas muestras se ven orientado. El máximo espesor registrado en el informe de Vieco es de 13m.





Alcaldía de Medellín

- **Ensayos de laboratorio**

En las diferentes exploraciones realizadas por (Vieco, 2014) y (EGEA Ingeniería S.A.S., 2021) se encuentran resultados de laboratorio de granulometría con lavado sobre la malla 200, límites de consistencia (límites de Atterberg), humedad, gravedad específica, pesos unitarios, y ensayos de corte directo y de compresión inconfiada.

El informe de Vieco además de los resultados in situ, correlaciona con resultados de otros estudios de su propiedad y define para su análisis los valores presentados en la tabla siguiente:

Tabla 11. Parámetros geo mecánicos informe de Vieco y valores utilizados en la modelación.

estudio	sondeo	prof	Clas USCS	fi,"	C, kPa	γd	w	eo	Gs	LL	IP	LP	Cv	D	k	Descripción visual
12'026	P1	5.2	ML	16.2	36	13	38	1.092	2.710	44	8	36	331	6.686	1.30E-08	limo verdoso motas blancas con discontinuidades
9'009	P9	4.2	MH	23.6	56	15.8	23	0.700	2.681							arcilla arenosa café
9'009	P11	3	ML	38.9	31	17.2	17	0.620	2.774							limo arenoso verde claro moteado
9'009	P11	6.8	SM	34.6	63	17.5	14	0.640	2.858							limo arenoso café claro
9'009	P14	1.15	ML	31.6	40	19.7	26	0.710	2.828							arena fina verde clara
9'009	P14	6.5	SM	37.6	19	18.9	7.6	0.870	2.828							arena café con motas
9'009	P12A	3	SM	40.2	25	19.0	19	0.690	2.845							arena fina verde clara moteada
9'009	P12B	1.5	MH	28.8	24	15.8	6.6	0.700	2.700							arcilla arenosa gris y negra
9'009	P12B	3	SM	40.1	27	16.8	19	0.690	2.846							arenas café
9'009	P12B	4	SM	32.5	22	17.2	6.2	0.600	2.748							arenas gris a café clara
9'009	P12C	3.5	SM	49.7	10	19.4	6.9	0.460	2.764							arena café y gris
9'009	PH	3	SM	33.5	18	18.7	28	0.890	2.777							arena fina gris clara
6'071	A1	1	MH	21.1	52	12.0	39	1.190	2.620							limo algo plástico sin textura
6'071	A1	2.2	ML	25.6	27	12.1	41	1.180	2.610							limos rojizos, leves textura
6'071	A3	4.8	ML	27.3	21	12.5	28	1.120	2.650							limos rojizos, leves textura
6'071	A4	1.2	MH	17.6	26	12.4	34	1.150	2.590							limos algo arcilloso, café amarillento
6'071	A4	2.2	MH	19.3	22	13.8	28	0.970	2.720							limos algo arcilloso, café amarillento
14'043	a01	5.45	MH	24.6	28	12.2	39	1.271	2.770	51	14	37	297	10.3	7.80E-09	limo arcillosos, sin texturas, rojizo
14'043	a02	17	MH	18.5	46	12.1	44	1.365	2.850	57	20	36	190	18.1	2.90E-09	limo arcilloso moteado verdoso claro

Material Properties - Mohr-Coulomb

Class Name	Density Mg/m ³	Cohesion kPa	Tension kPa	Friction Deg.	Dilation Deg.
User Suelo Residual Maduro	1.6	13.0	0.0	29.5	0.0
User Sapolito	1.8	25.0	0.0	32.0	0.0



Alcaldía de Medellín

El informe de Egea Ingeniería en el 2021 realiza un análisis detallado de los parámetros geomecánicos para los diferentes sondeos considerando métodos directos e indirectos y al final define unos parámetros conservadores con el fin de aumentar el factor de seguridad.

Tabla 12. Parámetros geo mecánicos informe de EGEA y valores utilizados en la modelación.

MUE.	PROF. (M)	LL	LP	IP	Ω %	Γ_h (mg/m ³)	Γ_d (mg/m ³)	C (KPA)	Φ (°)	200%	SCUS	CBR (%)	QU (KPA)	E (KPA(M))	VS (M/S)	POISSON (V)
P1-M5	1,80	29,00	26,00	3,00	13,80						SM					
P1-M20	20,00				29,72											
P2-M4	1,85	47,00	31,00	16,00	25,70						ML					
P2-M7	2,70	51,00	29,00	22,00	22,60	2,05	1,67	15,00	29,00		MH	627,20				
P2-M16	6,75	41,00	32,00	9,00	29,90						ML					
P3-M3	3,00	73,00	41,00	32,00	36,20			3,00	24,00		MH					
P3-M6	6,00				30,10											
P4-M4	4,00	48,00	31,00	17,00	34,80			67,00	28,00		ML					
P4-M7	7,00				28,66											
P5-M3	3,00				38,77											
P5-M6	6,00	40,00	34,00	6,00	32,30			40,00	26,00		ML					
AP4	1,00	59,00	38,00	21,00	30,30						MH					
AP5	1,00	47,20	27,10	20,10	25,00						CL					
AP8	1,00	42,00	30,00	12,00	33,10						ML					
PDC-1	0,26											5,00				
PDC-2	0,32											8,60				
PDC-3	0,43											4,34				
PDC-4	1,00											15,19				
PDC-5	1,20											3,20				
PDC-6	1,00											2,70				
PDC-7	0,85											3,49				
PDC-8	0,80											2,15				
ECH-1	0,65							62,50				125,00	511,51			
ECH-2	0,70							85,00				170,00	1578,95			
ECH-3	0,70							62,50				125,00	1111,10			
ECH-4	0,70							37,50				75,00	3076,92			
ECH-5	1,20							60,00				120,00	1030,93			
ECH-6	1,00							62,50				125,00	1666,67			
ECH-7	0,85							30,00				60,00	443,79			
ECH-8	0,80							40,00				80,00	892,86			
SPT-1 M-1	0,45								21,00				1532,00			
SPT-1 M-2	0,90								34,00				14554,00			
SPT-1 M-2	1,35								35,00				15320,00			
SPT-1 M-3	1,80								35,00				15320,00			
SPT-1 M-4	2,25								35,00				16086,00			
SPT-1 M-5	2,70								38,00				19916,00			
SPT-1 M-6	3,15								41,00				25278,00			
SPT-1 M-7	3,60								40,00				23746,00			
SPT-1 M-8	4,05								41,00				26044,00			
SPT-1 M-9	4,50								43,00				30640,00			
SPT-1 M-10	4,95								44,00				32938,00			
SPT-1 M-11	5,40								44,00				32938,00			
SPT-1 M-12	5,85								46,00				36002,00			
SPT-1 M-13	6,30								45,00				33704,00			
SPT-1 M-14	6,75								42,00				27576,00			
SPT-1 M-15	7,20								47,00				39832,00			
SPT-1 M-16	7,65								50,00				46726,00			
SPT-1 M-17	8,10								56,00				63578,00			
SPT-2 M-1	0,45								21,00				1532,00			
SPT-2 M-2	0,90								24,00				3064,00			
SPT-2 M-3	1,35								24,00				3064,00			
SPT-2 M-4	1,80								24,00				3064,00			



Alcaldía de Medellín

MUE.	PROF. (M)	LL	LP	IP	Ω %	Γh (mg/m³)	Γd (mg/m³)	C (KPA)	Φ (°)	200%	SCUS	CBR (%)	QU (KPA)	E (KPA(M)	VS (M/S)	POISSON (V)
SPT-2 M-5	2,25								34,00					14554,00		
SPT-2 M-6	2,70								30,00					9192,00		
SPT-2 M-7	3,15								31,00					9958,00		
SPT-2 M-8	3,60								32,00					10724,00		
SPT-2 M-9	4,05								32,00					11490,00		
SPT-2 M-10	4,50								32,00					10724,00		
SPT-2 M-11	4,95								35,00					16086,00		
SPT-2 M-12	5,40								35,00					16086,00		
SPT-2 M-13	5,85								37,00					19150,00		
SPT-2 M-14	6,30								38,00					19916,00		
SPT-2 M-15	6,75								39,00					22980,00		
SPT-2 M-16	7,20								40,00					23746,00		
SPT-2 M-17	7,65								43,00					29874,00		
SPT-2 M-18	8,10								45,00					33704,00		
SPT-2 M-19	9,45								49,00					44428,00		
SPT-2 M-20	10,45								53,00					56684,00		
SPT-3 M-1	0,45								21,00					1532,00		
SPT-3 M-2	1,45								36,00					17618,00		
SPT-3 M-3	2,45								38,00					20682,00		
SPT-3 M-4	3,45								41,00					26810,00		
SPT-3 M-5	4,45								46,00					36768,00		
SPT-3 M-6	5,45								49,00					45194,00		
SPT-3 M-7	6,45								51,00					49024,00		
SPT-4 M-1	0,45								21,00					1532,00		
SPT-4 M-2	1,45								35,00					15320,00		
SPT-4 M-3	2,45								38,00					19916,00		
SPT-4 M-4	3,45								40,00					23746,00		
SPT-4 M-5	4,45								41,00					26044,00		
SPT-4 M-6	5,45								41,00					26044,00		
SPT-4 M-7	6,45								44,00					31406,00		
SPT-4 M-8	7,45								44,00					32172,00		
SPT-4 M-9	8,45								45,00					34470,00		
SPT-5 M-1	0,45								21,00					1532,00		
SPT-5 M-2	1,45								32,00					11490,00		
SPT-5 M-3	2,45								36,00					16852,00		
SPT-5 M-4	3,45								41,00					25278,00		
SPT-5 M-5	4,45								39,00					21448,00		
SPT-5 M-6	5,45								39,00					22214,00		
SPT-5 M-7	6,45								38,00					19916,00		
SPT-5 M-8	7,45								36,00					16852,00		
SPT-5 M-9	8,45								39,00					21448,00		
Ls-1 M-1	4,20					1,82								1872,00	189,00	0,44
Ls-1 M-2	10,80					2,07								8281,00	374,00	0,43
Ls-1 M-3	30,00					2,14								12886,00	474,00	0,34
Ls-2 M-1	6,30					1,77								1319,00	162,00	0,42
Ls-2 M-2	10,70					2,01								5691,00	318,00	0,40
Ls-2 M-3	15,40					2,07								10810,00	435,00	0,38
Ls-2 M-4	30,00					2,19								34820,00	782,00	0,30

MATERIAL	PESO UNITARIO HÚMEDO (KN/m³)	COHESIÓN KPa	φ EN °	VS (m/s)	Poisson (ν)	E (KN/m²)	CBR
Lleno (QI)	17	10	25	189	0.4	1200	2.15
Depósito de deslizamiento	16	0	28			1000	3.2
Suelo Residual de Granito	18	40	28	318	0.38	5000	15
Saprolito de Granito	20	20	36	474	0.34	13000	



Alcaldía de Medellín

- **Parámetros geotécnicos elegidos para la presente modelación**

Con base en la discusión y elección de parámetros a partir de los estudios realizados por (Vieco Ingeniería de suelos, 2014) y la exploración y caracterizaciones geológicas adicionales presentada por (Mesa, 2014), (GEO2, 2019) y (EGEA Ingeniería S.A.S., 2021), se eligen los parámetros presentados en la Tabla 13. Parámetros elegidos para modelo de estabilidad de taludes. para la realización de los análisis de estabilidad de taludes.

Tabla 13. Parámetros elegidos para modelo de estabilidad de taludes.

UNIDAD	PHI (°)	cohesión (kN/m ²)	peso unitario (kN/m ³)
Lleno Antrópico (Qll)	25	10	17
Depósito Aluvial (Qal)	29	0	16
Depósito Coluvial (Qc)	29,5	10,5	16
Suelo residual	29,5	13	16
Saprolito	32	25	18

2.4.6. Análisis de estabilidad de taludes en condiciones actuales

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, 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) de la Tabla 14 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 15 que presenta una recopilación de las recomendaciones de varios investigadores tanto para el factor de seguridad estático como pseudo-estático y la Tabla 16 presenta los factores mínimos estipulados por la NSR-10.



Alcaldía de Medellín

Tabla 14. Factor de seguridad en condiciones estáticas.

Riesgo por pérdidas económicas	Factores 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 15. Factor de seguridad en condiciones estáticas y dinámicas.

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

Tabla 16. Factores de seguridad básicos mínimos directos.

Condición	F _{SBM}		F _{SBUM}	
	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 Acuerdo 009 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá se adoptan como factores de seguridad de diseño los siguientes:

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.

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



Alcaldía de Medellín

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 del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007; Grupo de sismología de Medellín, 1999). Se usó de forma simultánea con el sismo horizontal un coeficiente de aceleración vertical de 0.08 g.

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 para los lotes ya conformados, los perfiles evaluados se presentan en la Ilustración 42.

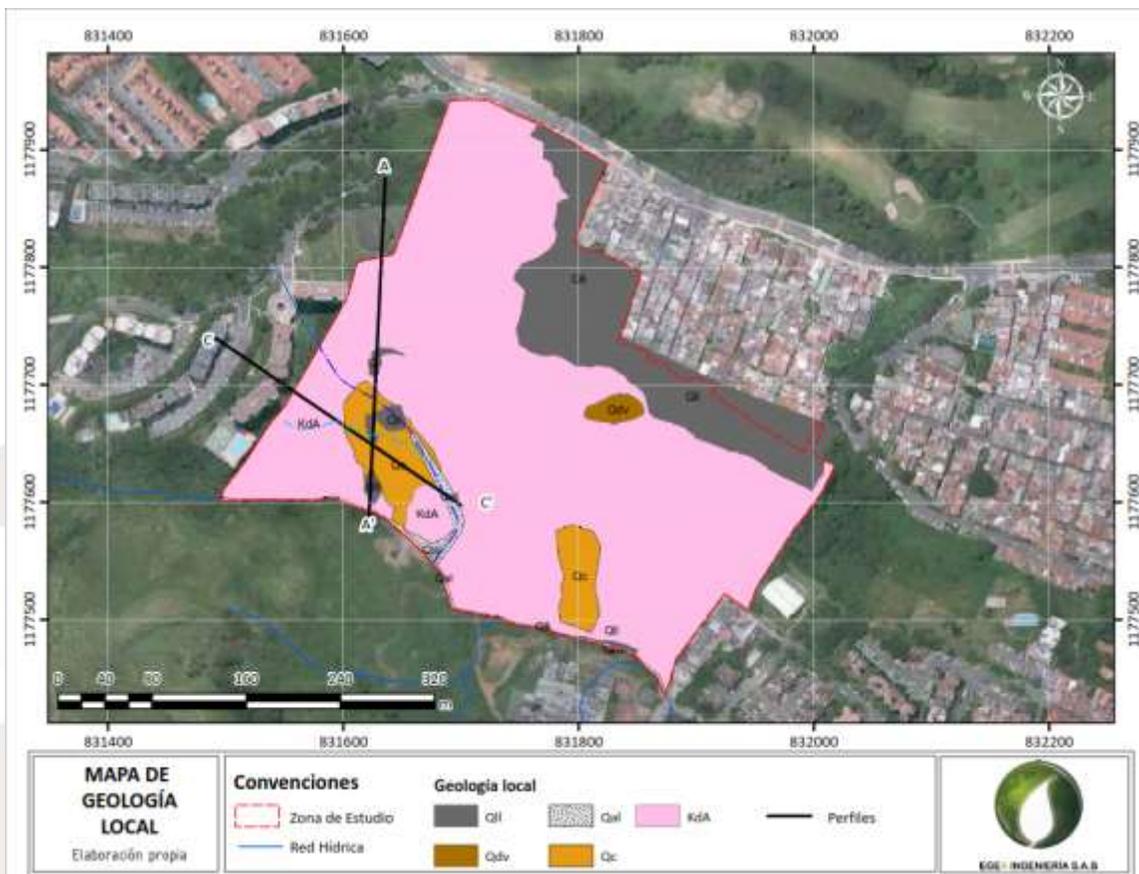


Ilustración 42. Localización de perfiles.



Alcaldía de Medellín

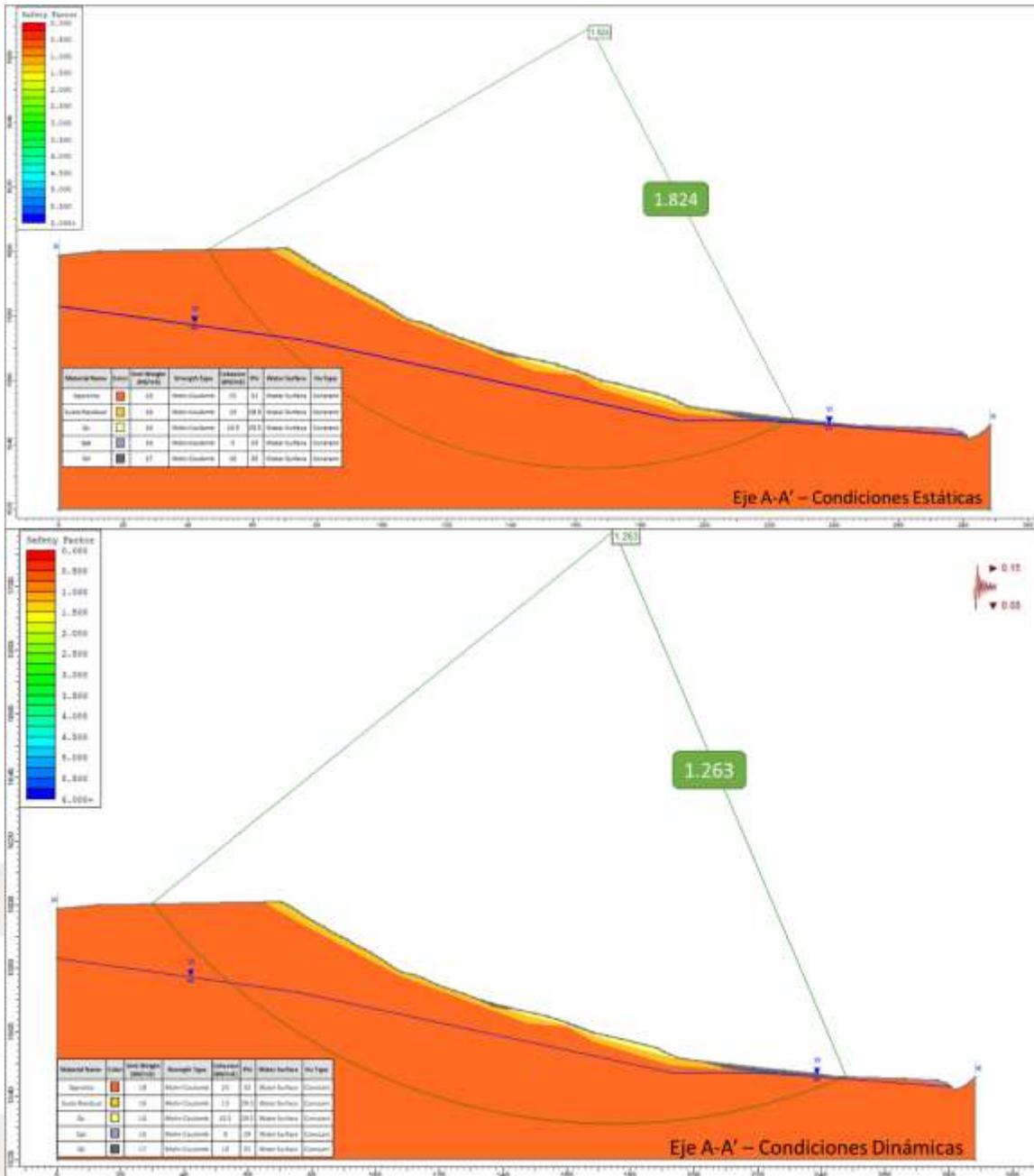


Ilustración 43. Modelo geotécnico establecido eje A-A' condiciones estáticas y dinámicas actuales.

En la ilustración anterior se presenta la superficie de falla con menor valor del factor de seguridad tanto para las condiciones estáticas como dinámicas, en este



Alcaldía de Medellín

caso 1.824 que se encuentra en el rango ideal para condiciones estáticas, y 1.263 que se encuentra en el rango ideal para condiciones dinámicas.

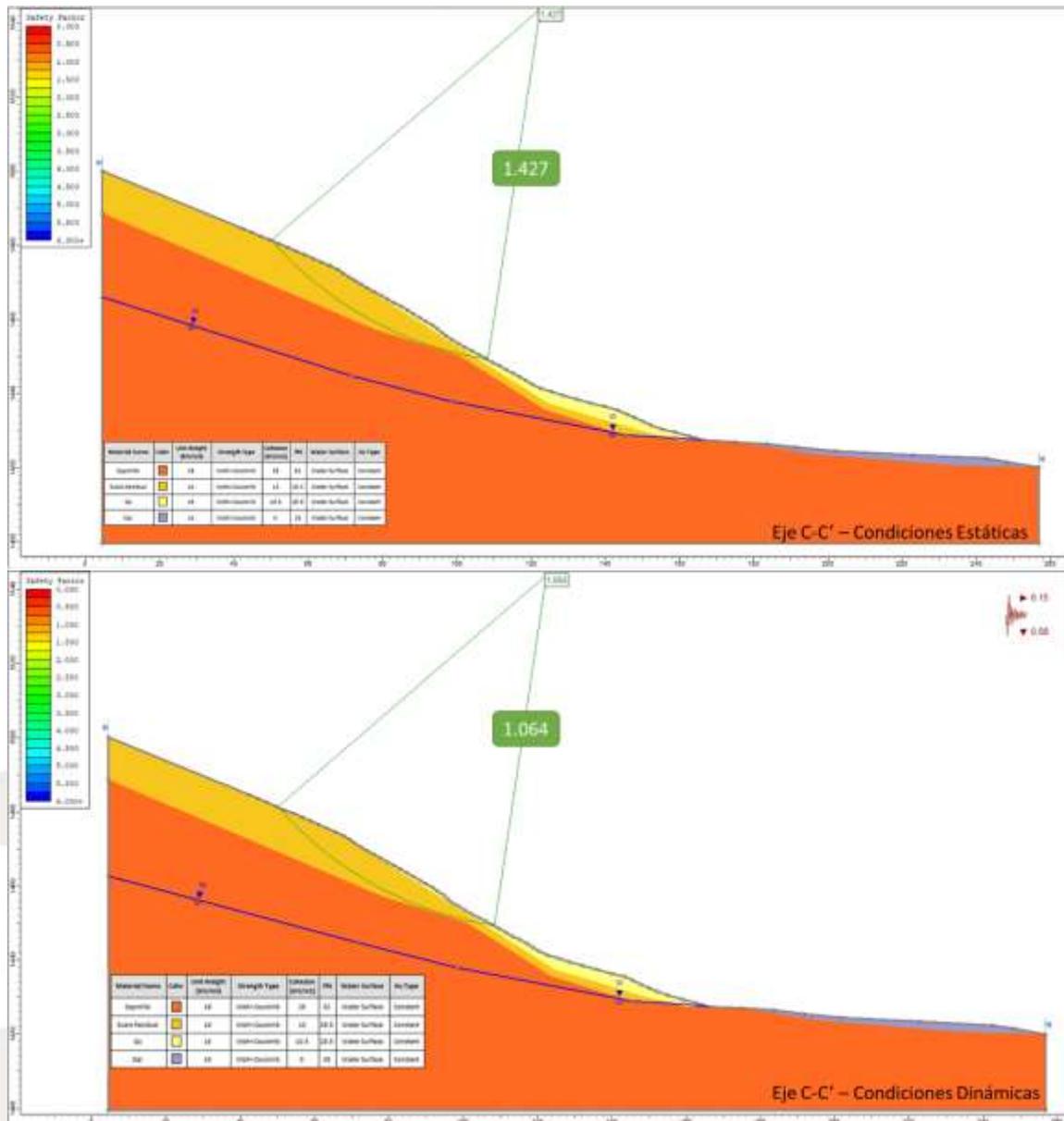


Ilustración 44. Modelo geotécnico establecido eje C-C' condiciones estáticas y dinámicas actuales.



Alcaldía de Medellín

En la ilustración anterior se presenta la superficie de falla con menor valor del factor de seguridad tanto para las condiciones estáticas como dinámicas, en este caso 1.427 que se encuentra en el rango aceptable para condiciones estáticas y 1.064 que se encuentra en el rango aceptable para condiciones dinámicas.

A partir de lo anterior, se concluye que a pesar de realizar la actualización y complemento a los perfiles presentados en el informe de Vieco de 2014, en aspectos como los niveles freáticos y la inclusión de unidades geológicas superficiales, **LOS RESULTADOS OBTENIDOS SON COHERENTES CON LOS PRESENTADOS EN DICHO ESTUDIO AL IGUAL QUE LOS RANGOS DE ESTABILIDAD OBTENIDOS.**





Alcaldía de Medellín

3. CONCLUSIONES DE LA ACTUALIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO

- Tanto el Acuerdo 46 de 2006 que sirvió de base para la adopción del instrumento de planificación denominado plan parcial “Colinas del Porvenir” polígono Z6_D_4, como el Acuerdo 48 de 2014, Plan de Ordenamiento Territorial actual, reconocen en el territorio solo dos cuerpos hídricos, quebrada El Bolo y un denominado Ramal, que discurre por la margen izquierda de este.
- Geomorfológicamente está claro que en la zona se presentan líneas de escorrentía por donde se evacúa el agua durante los eventos de precipitación; sin embargo, no existe un cauce como tal, con materiales erodados, destapados y/o acumulados por la acción del agua corriente.
- No existen condiciones geológicas ni de vegetación particular que permitan afirmar que los rasgos lineales de las líneas de escorrentía se asocien a una dinámica fluvial, no tienen las características típicas que lo asocien con un elemento de este tipo.
- El único elemento hídrico con caudal permanente y una geoforma definida, tipo vaguada profunda, es la quebrada El Bolo. El nivel freático en El Ramal y en la parte baja del lote es superficial con variaciones asociadas a la dinámica pluviométrica del lugar, sin embargo, en la parte más alta del predio, el nivel freático en las líneas de escorrentía es incluso mayor a 6.0 metros de profundidad.
- De acuerdo al análisis multitemporal, solo se puede observar la quebrada El Bolo, junto con una vaguada de poca incisión por su margen izquierda (El Ramal). No es posible observar más afluentes tributarios.
- El polígono de interés se encuentra ubicado en la zona de recarga de acuíferos del Valle del Aburrá, por lo cual, se deberán tomar las medidas necesarias con base en el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos propendiendo por la protección del recurso hídrico en todas las etapas del desarrollo del plan parcial.
- El territorio donde actualmente se está desarrollando el plan parcial, presenta gran intervención por factores antrópicos. Es necesario recuperar el cauce del Ramal de la quebrada El Bolo mediante acciones acordes a los criterios de intervención de dichos cuerpos de agua.



Alcaldía de Medellín

- De acuerdo a la zonificación, la zona apta se ubica principalmente en la UMI 1, norte del polígono donde la pendiente es suave – moderada, las zonas no aptas corresponden al retiro de la quebrada El Bolo y el ramal izquierdo, por ser suelo de protección.
- La evaluación de la estabilidad incluye las secciones establecidas por Vieco (Vieco Ingeniería de suelos, 2014) y valora la estabilidad en la misma dirección, pero abarcando más longitud. Valora condiciones estáticas y dinámicas y realiza perfil considerando la presencia de agua en el talud para lo cual utiliza la información de Nivel freático reportado en los estudios; y encuentra que los resultados obtenidos son coherentes con los presentados en dicho estudio al igual que los rangos de estabilidad obtenidos.
- Los estudios de detalle aportados (geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, análisis multitemporal, entre otros) han demostrado que las líneas de escorrentía del artículo 16 del Decreto 0473 de 2015 por medio del cual se adoptó el plan parcial, no corresponden a corrientes que deban configurar un suelo de protección asociado. Debido a que dichas líneas de escorrentía son geoformas por donde se evacúa el agua durante los eventos de precipitación, recibirán el respectivo manejo con obras hidráulicas proyectadas en la formulación de acuerdo el análisis hidrológico del documento de diagnóstico.





Alcaldía de Medellín

DOCUMENTO TECNICO DE SOPORTE (MODIFICACIÓN)

FORMULACIÓN

PLAN PARCIAL COLINAS DEL PORVENIR

POLÍGONO Z6_D_4



2022



Alcaldía de Medellín

4. FORMULACIÓN (ANTIGUO CAPÍTULO 8)

4.1. OBJETIVO GENERAL

El plan parcial Ciudadela Colinas del Porvenir, Z6_D_4 pretende, desde los postulados del antiguo POT de Medellín, Acuerdo 046 de 2006 en áreas de desarrollo y de expansión urbana, desarrollar complejos habitacionales como uso principal con alta calidad arquitectónica y urbana que supla el déficit cuantitativo y cualitativo, que articule lo rural y lo urbano incorporando los elementos ambientales tales como corrientes de agua, masas arbóreas y los cerros circundantes, dentro de su configuración en los espacios públicos y privados, contemplando el mayor número de metros cuadrados de lugares ambientalmente sanos y paisajísticamente agradables para el encuentro, que permitan su incorporación al tejido urbano y social.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Teniendo en cuenta que el área de planeamiento Ciudadela Colinas del Porvenir está enmarcada en zona urbana Z6_D_4, se considera necesario asumir objetivos específicos que orienten las intervenciones desde la vivienda, lo ambiental, la accesibilidad, la movilidad y espacios públicos. Así mismo por su ubicación estratégica como frontera entre los Municipios de Medellín e Itagüí. A continuación, se enuncian los objetivos específicos para el área de planeamiento:

- **Vivienda**

Promover desarrollos urbanísticos con vivienda de diferentes tipologías, consecuente con el modelo de ciudad en zonas periféricas, con calidad y variedad, articulados al sistema de espacios públicos existentes y a proyectar vías, parques lineales generados en la faja de retiro de su principal cuerpo de agua, que posibilite a su vez un equilibrio entre lo construido y el espacio libre.

- **Ambiental**

Fortalecer áreas de interés estratégico prestadores de servicios ecosistémicos (parte baja del Alto del Ajizal y Colinita) asumiéndolos como elementos constitutivos del espacio público. De igual manera, se pretende desarrollar el territorio teniendo en cuenta la importancia de las dos corrientes hídricas (ejes estructurantes del modelo de ocupación) presentes dentro del polígono, recuperando sus cauces a partir de medidas de manejo consecuentes con las





Alcaldía de Medellín

descritas en planes de manejo expedidos por la autoridad ambiental y los criterios de intervención de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial.

- **Movilidad**

Generar al interior del área de planeamiento un sistema de movilidad peatonal y vehicular estructurante, a partir de las vías Calle 9Sur y 12Sur y la Circunvalar Occidental, que ordenen y direccionen los desplazamientos internos y externos con el sistema vial existente dentro de la Comuna 15 (de manera especial la Avenida Guayabal).

- **Espacio Público**

Construir un sistema de zonas verdes a escala local que le permita a la comunidad del barrio La Colina en el Municipio de Medellín, y la Vereda El Porvenir en el Municipio de Itagüí, integrarse a través de espacios generosos que permitan el encuentro y la satisfacción de sus necesidades básicas de recreación y esparcimiento.

4.3. MODELO DE OCUPACIÓN Y DESARROLLO TERRITORIAL

La base fundamental del modelo de ocupación y desarrollo territorial parte del reconocimiento del polígono Z6_D_4 como área de Desarrollo donde los elementos naturales: la quebrada el Bolo, la parte baja del Alto del Ajizal, la Colinita y las condiciones del suelo, son determinantes para el diseño que se articularán con el sistema estructurante artificial existente próximo al barrio La Colina en el municipio de Medellín y propuesto para la zona, como la Longitudinal Occidental y las Calles 9 Sur y 12 Sur complementadas con los nuevos equipamientos, áreas de servicios y nuevos desarrollos habitacionales.

En concordancia con el Modelo de Ciudad planteado en el Plan de Ordenamiento Territorial, el presente plan parcial se fundamenta en los componentes del modelo o proyecto de ciudad acordes con el suelo de Desarrollo y del direccionamiento de consolidar y construir una ciudad compacta y densa, con crecimiento hacia dentro, y con un urbanismo de proximidades, definido en el Acuerdo 046 de 2006 y contribuyendo con:

- Unos bordes de protección y cinturones verdes de contención, respecto de la presión que ejerza la expansión urbana sobre los extremos superiores.





Alcaldía de Medellín

- Un sistema de espacio público con incorporación efectiva de elementos naturales destacados, tales como los cerros el Alto del Ajizal (parte baja) y la Colinita y las quebradas afluentes del río Medellín.
- Vivienda de Interés Social (VIS) y Vivienda de Interés Prioritario (VIP), según norma vigente para la adopción del plan parcial en el 2015.

4.4. ESTRUCTURA DEL MODELO DE OCUPACIÓN

4.4.1. Componente Natural

Las problemáticas ambientales en las ciudades cada vez son mayores debido al crecimiento urbanístico no planificado que impacta de manera negativa los factores naturales. Los vertimientos de aguas residuales domésticas en cuerpos de agua, el asentamiento de viviendas en suelos de protección de quebradas, la emisión de material particulado desde fuentes móviles, la deforestación, la inadecuada disposición de residuos sólidos, el ruido excesivo, entre otras, son apenas ejemplos de lo que usualmente trae consigo esta dinámica.

La planificación territorial adecuada en suelo urbano, en este caso, por medio de un instrumento de tercer nivel, tiene la oportunidad de darle valor a los elementos ambientales e incluso fortalecerlos, logrando así un desarrollo sostenible.

El diagnóstico de dichas problemáticas, posibilita además la formulación de medidas de manejo que permitan la adecuada gestión desde el modelo de ocupación propuesto para el territorio: Conexión al alcantarillado, fortalecimiento de redes de conectividad ecológica, protección de cauces, reforestación, disposición de lugares de acopio, entre otras.

El polígono de Desarrollo en suelo urbano Z6_D_4 denominado “Colinas del Porvenir” busca, por medio de medidas de manejo y teniendo en cuenta los criterios de intervención, darles valor a los dos cuerpos hídricos presentes en el territorio de interés, la quebrada El Bolo y su Ramal, en una zona que ha sido alterada constantemente por factores antrópicos.

4.4.2. Componente Hídrico

Criterios generales para la intervención en el Sistema Hidrográfico





Alcaldía de Medellín

- Respetar la norma y conservar los retiros establecidos en el Acuerdo 046 de 2006 del Municipio de Medellín y sus normas complementarias, y las establecidas en la revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Itagüí del 2007, para quebradas, caños y escorrentías, con respecto a las obras de infraestructura. Estas zonas son consideradas suelo de protección, en las que se conservará permanentemente cobertura vegetal.
- Se debe realizar campañas de reforestación con especies nativas, que contribuyan con la regularización del agua, la flora y la fauna en la parte alta de la cuenca y a lo largo de su recorrido se tendrán en cuenta las especies apropiadas para áreas urbanas.
- En los sitios donde se detecten botaderos de escombros o basuras, se deben definir políticas para evitar que se conviertan en lugares de acopio, que influyan en la dinámica de las corrientes, aplicando las obras civiles necesarias para la estabilidad del área.
- Las tierras y escombros resultantes de los desarrollos urbanísticos que se lleven a cabo en el área de planeamiento no podrán ser vertidos en los cañones, cauces y fajas de retiro de los drenajes naturales y artificiales o en los escurrideros de flujo no continuo.
- Las corrientes naturales de agua en el área de planificación, solo podrán ser objeto de manejos especiales como canalizaciones, rectificaciones, desviaciones y coberturas cuando se justifique técnica y socialmente, tal tipo de obras, para cuya realización se deberá contar con la respectiva autorización de la entidad ambiental competente, para el caso del plan parcial Colinas del Porvenir, será el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Recuperar la capacidad de infiltración de los suelos impermeabilizados mediante la regeneración de espacios verdes y el reemplazo de superficies duras por permeables.
- Tomar acciones para las fases siguientes (construcción y operación) de acuerdo a la normatividad de las entidades competentes, que permitan la minimización de los impactos en la cantidad y calidad del recurso hídrico, y la forma que se dispone en los cuerpos receptores. Lo anterior con la elaboración de un Plan de Manejo Ambiental- PMA.





Alcaldía de Medellín

4.4.3. Quebrada El Bolo

El tipo de intervenciones a realizar en las quebradas asociadas a las vías se basan en las redes existentes, en este caso el ramal sur (límite con el Municipio de Itagüí) de la quebrada El Bolo, para este caso se presenta el cruce vial con la vía proyectada como “Circunvalar”, la cual deberá contar con diseños hidrológicos e hidráulicos con el fin de definir las obras necesarias que permitan mitigar el riesgo que esta pueda generarse asociada a la quebrada El Bolo.

Se pretende generar un parque lineal para conformarlo como área de espacio público para el uso y disfrute de la comunidad. Referente al componente paisajístico, el lugar posee un alto potencial para convertirse en un parque, es un espacio con alta calidades paisajísticas por la composición y la estructura del verde existente que permite estar en condiciones naturales dentro de la ciudad.

Cuando se aborda el componente paisajístico para una quebrada, para este caso en un “parque” se deben de tener en cuenta las dimensiones naturales en las cuales se analiza la red hídrica (Subcuencas, estado de las quebradas, amenazas y riesgo) y la red verde (correspondiente al verde existente en la trama urbana), la dimensión urbana, cultural (donde se analizan e incorporan todas las variables para una adecuada apropiación del espacio público) y la dimensión sensorial donde se aborda la calidad visual estableciendo importancia de las visuales que presenta el lugar potenciándolas y conservándolas.

4.5. DISEÑO DE OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS

Al realizar la intervención del polígono Z6_D_4 con la vía proyectada por el municipio y las intervenciones de tipo antrópico que ha sufrido la zona con el paso del tiempo, se cambian las condiciones del flujo superficial de la zona en estudio; como una manera de mitigar dichos efectos y de manera amigable con el ambiente, se propone la siguiente intervención por medio de obras de protección y de paso para el ramal izquierdo de la quebrada el Bolo y manejo de las escorrentías asociadas a dicho ramal dentro de su cuenca antrópica resultante.

Inicialmente para el ramal izquierdo de la quebrada El Bolo, se propone en la parte superior, proteger la vaguada que lo conforma; sin cambiar su morfología, por medio de un geomanto tipo TRM, que protege el cauce contra procesos erosivos e incisivos, este será tal que contenga el caudal del periodo de retorno de 100 años; en la parte media, a la altura de la vía proyectada; se propone una obra de paso, por medio de un pontón de dimensión 1.5m, que soporte los llenos que



Alcaldía de Medellín

implican la conformación de la vía; con el propósito de mantener las líneas de flujo subsuperficial que puedan verse afectadas se propone bajo la obra de paso, construir un colchón drenante conectado a la cámara de caída y al canal de la parte baja; dicho canal de la parte final se reconforma “*in situ*” dado que actualmente por llenos existentes no posee forma alguna.

Para el drenaje superficial de la intervención proyectada, se propone la construcción de zonas de piso duro implementando bombeos del 0.5% al 2% drenando ladera abajo y/o a las obras acá propuestas para evitar el empozamiento de aguas, de esta manera la esorrentía es direccionada a dichos elementos de captación

4.5.1. Propuesta protección contra erosión – A1 micro.

Con el propósito de mantener las condiciones actuales de la vaguada en la parte alta, evitando cualquier proceso de tipo erosivo en esta zona, se propone el recubrimiento de ella en geomanto permanente TRM 550¹ de PAVCO o similar (Ver Anexos), para determinar la sección a proteger, se modeló un canal trapezoidal (análogo a la sección natural, ver Ilustración 45) con un ancho en la base 0.4 m y taludes con pendiente media del 13%, se determinó en dicho modelo que la sección máxima a proteger es de 3.0 m como se puede observar en la Ilustración 46.

¹ Esta tipología de geomanto se propone dadas las solicitudes (fuerzas tractivas y velocidades) que se generan en el modelo hidráulico por el flujo del caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años.





Alcaldía de Medellín

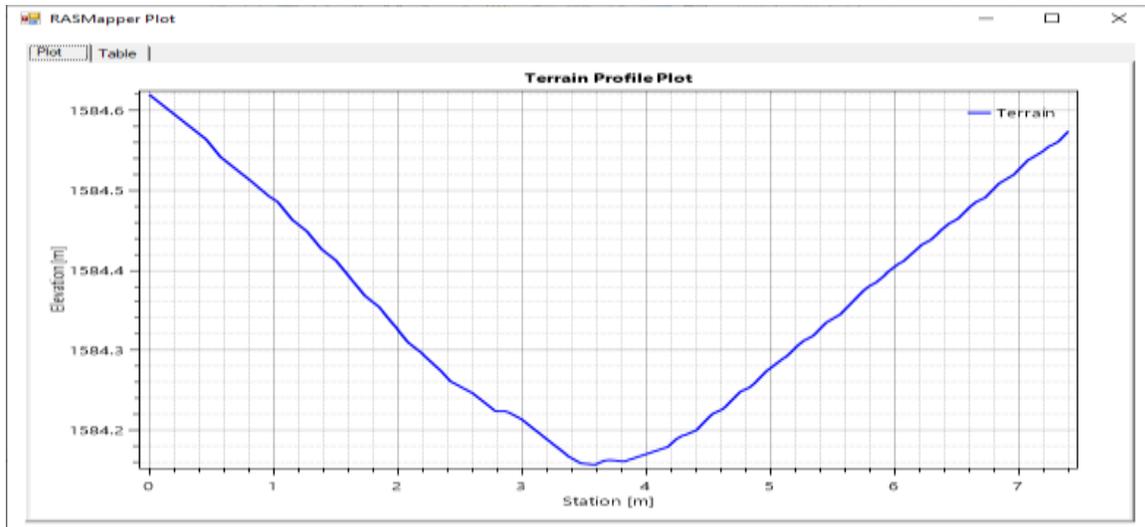


Ilustración 45. Perfil transversal típico Vaguada A1 Micro (Aguas arriba de la vía, escala vertical deformada).

Dados los caudales máximos de diseño calculados en el diagnóstico (TR; 100 años), se utilizó la herramienta Flow Pro 2.1 para modelo de canales prismáticos², donde se observa que la altura de la lámina de agua es de 0.15m, con una velocidad máxima de 3.8 m/s; como se presenta en la Tabla 17, donde se observan los resultados arrojados por el Software para un Tr de 100 años; con lo que se determina que la sección máxima a proteger es de 3.0 m, como se presenta en la Ilustración 46.

² Software para el diseño de vías fluviales, alcantarillas, canales de riego, esclusas y canaletas; calcula la profundidad y pendiente crítica, la energía específica, área mojada, la velocidad, fuerza tractiva, entre otras características hidráulicas de importancia.



Alcaldía de Medellín

Tabla 17. Dimensionamiento TRM - A1 Micro.

Required Inputs		Water Surface Profile Data										
Start station, m:	0+00.000	Station	Depth	Specific	Area	Velocity	Top	Momentum	Froude	Velocity	Hydraulic	Wetted
End station, m:	0+04.855	m	m	m	m ²	m/s	Width, m	cms	Number	Head, m	Radius, m	Per, m
Flowrate, m ³ /s:	0.29	0+00.000	0.362	0.526	0.162	1.792	0.434	0.061	1.000	0.154	0.143	1.130
Width, m:	0.4	0+00.001	0.365	0.526	0.159	1.828	0.432	0.061	1.058	0.170	0.142	1.117
Manning's n:	0.03	0+00.003	0.349	0.526	0.155	1.866	0.431	0.061	1.121	0.178	0.141	1.104
Bottom slope:	0.35	0+00.006	0.343	0.527	0.152	1.905	0.489	0.062	1.188	0.185	0.140	1.091
Control depth, m:	0.362	0+00.011	0.336	0.529	0.149	1.945	0.487	0.062	1.252	0.193	0.138	1.078
Side slope:	0.13	0+00.017	0.330	0.531	0.146	1.987	0.486	0.062	1.341	0.201	0.137	1.065
Computed Results		0+00.025	0.323	0.533	0.143	2.031	0.484	0.062	1.426	0.210	0.136	1.051
Normal depth, m:	0.167	0+00.035	0.317	0.536	0.140	2.077	0.482	0.063	1.519	0.220	0.134	1.038
Normal area, m ² :	0.070	0+00.048	0.310	0.540	0.137	2.124	0.481	0.063	1.620	0.230	0.133	1.025
Critical depth, m:	0.362	0+00.063	0.304	0.545	0.133	2.174	0.479	0.064	1.730	0.241	0.132	1.012
Critical area, m ² :	0.162	0+00.081	0.297	0.550	0.130	2.226	0.477	0.065	1.850	0.253	0.130	0.999
Profile type:	steep, S-2	0+00.102	0.291	0.556	0.127	2.280	0.476	0.065	1.982	0.265	0.129	0.986
Flow type:	supercritical	0+00.127	0.284	0.562	0.124	2.336	0.474	0.066	2.125	0.278	0.128	0.973
		0+00.156	0.278	0.570	0.121	2.396	0.472	0.067	2.283	0.293	0.126	0.960
		0+00.189	0.271	0.579	0.118	2.458	0.470	0.068	2.457	0.308	0.125	0.947
		0+00.228	0.265	0.589	0.115	2.523	0.469	0.069	2.648	0.325	0.123	0.934
		0+00.273	0.258	0.601	0.112	2.592	0.467	0.091	2.859	0.342	0.122	0.921
		0+00.325	0.252	0.613	0.109	2.664	0.465	0.092	3.093	0.362	0.120	0.907
		0+00.386	0.245	0.628	0.106	2.740	0.464	0.094	3.353	0.383	0.118	0.894
		0+00.457	0.239	0.644	0.103	2.820	0.462	0.095	3.642	0.405	0.117	0.881
		0+00.540	0.232	0.662	0.100	2.904	0.460	0.097	3.965	0.430	0.115	0.868
		0+00.638	0.226	0.683	0.097	2.994	0.459	0.099	4.327	0.457	0.113	0.855
		0+00.754	0.219	0.705	0.094	3.088	0.457	0.101	4.733	0.486	0.112	0.842
		0+00.894	0.213	0.731	0.091	3.189	0.455	0.104	5.192	0.518	0.110	0.829
		0+01.066	0.206	0.760	0.088	3.296	0.454	0.106	5.710	0.554	0.108	0.816
		0+01.262	0.200	0.792	0.085	3.410	0.452	0.108	6.299	0.593	0.106	0.803
		0+01.561	0.193	0.829	0.082	3.531	0.450	0.112	6.971	0.636	0.104	0.790
		0+01.941	0.187	0.870	0.079	3.661	0.449	0.116	7.741	0.684	0.102	0.777
		0+02.504	0.180	0.917	0.076	3.801	0.447	0.119	8.628	0.737	0.100	0.763
		0+03.506	0.174	0.970	0.073	3.951	0.445	0.123	9.653	0.796	0.098	0.750
		0+04.855	0.172	0.981	0.073	3.983	0.445	0.124	9.880	0.809	0.097	0.748

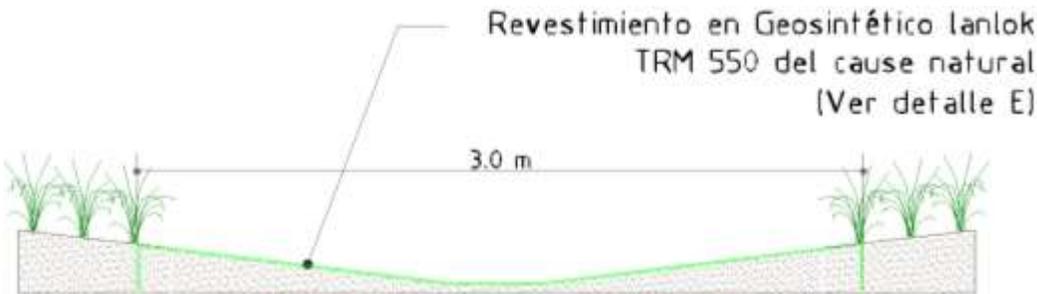


Ilustración 46. Diseño se sección a proteger TRM 550 – Tramo A1 Micro.

Se observa que las velocidades de diseño alcanzadas en este canal son de 3.8 m/s, superadas por las velocidades admisibles del material (5 m/s); como lo muestra la ficha técnica (ver Tabla 18).

Tabla 18. Ficha Técnica Pavco TRM 550 – Velocidad Admisible.

PROPIEDADES DE DESEMPEÑO	NORMA	UNIDAD	TRM 500	TRM 550	TRM 750	TRM 1050
Esfuerzo cortante ⁽¹⁻¹⁾	Gran escala	Pa	386	480	575	766
Velocidad admisible ⁽¹⁻²⁾	Gran escala	m/s	4.5	5.0	6.1	7.6
"n" de Manning profundidad de flujo entre 0.15 -0.8	Calculado	-	0.03-0.018	0.03-0.018	0.028	0.028
Germinación de las semillas ⁽¹⁾	ASTM D 7322	-	470	470	200-220	250-296





Alcaldía de Medellín

4.5.2. Propuesta protección contra erosión – A2

Para el área drenante denominada A2, se propone la protección de la zona de acumulaciones de aguas por medio del recubrimiento en geomanto permanente tipo TRM 550³ de PAVCO o similar, en esta zona la acumulación de aguas no es tan clara como en la vaguada, sin embargo, de manera análoga, para determinar la sección a proteger, se modeló un canal trapezoidal de características similares y se determinó que la franja a proteger es de 2.3 m como se puede observar en la Ilustración 47.

Se modelo con los caudales de diseño calculados en el análisis hidrológico del documento de diagnóstico, para el recubrimiento del canal, se utilizó la herramienta Flow Pro para calcular el dimensionamiento aproximado del geotextil. En la Tabla 19 se observan los resultados arrojados por el Software y en la Ilustración 47 el dimensionamiento del manto para un Tr de 100 años.

Tabla 19. Dimensionamiento TRM – A2.

Required Inputs		Station	Depth	Specific	Area	Velocity	Top	Momentum	Froude	Velocity	Hydraulic	Wetted
		m	m	m	m ²	m/s	Width, m	cms	Number	Head, m	Radius, m	Per, m
Start station, m:	0+00.000	0+00.000	0.266	0.390	0.116	1.955	0.469	0.044	1.000	0.123	0.124	0.937
End station, m:	0+06.683	0+00.000	0.261	0.390	0.113	1.966	0.468	0.044	1.058	0.128	0.122	0.927
Flowrate, m ³ /s:	0.18	0+00.001	0.257	0.390	0.111	1.619	0.467	0.044	1.122	0.134	0.121	0.918
Width, m:	0.4	0+00.003	0.252	0.391	0.109	1.652	0.465	0.044	1.190	0.139	0.120	0.908
Manning's n:	0.03	0+00.007	0.247	0.392	0.107	1.687	0.464	0.044	1.263	0.145	0.119	0.898
Bottom slope:	0.35	0+00.012	0.242	0.394	0.104	1.724	0.463	0.044	1.343	0.151	0.118	0.888
Control depth, m:	0.266	0+00.018	0.237	0.395	0.102	1.762	0.462	0.044	1.430	0.158	0.116	0.878
Side slope:	0.13	0+00.026	0.232	0.398	0.100	1.801	0.460	0.044	1.524	0.165	0.115	0.869
		0+00.035	0.227	0.400	0.098	1.842	0.459	0.045	1.626	0.173	0.114	0.859
		0+00.046	0.223	0.404	0.095	1.885	0.458	0.045	1.738	0.181	0.112	0.849
		0+00.059	0.218	0.408	0.093	1.930	0.457	0.045	1.859	0.190	0.111	0.839
		0+00.075	0.213	0.412	0.091	1.977	0.455	0.046	1.993	0.199	0.110	0.829
		0+00.093	0.208	0.417	0.089	2.026	0.454	0.046	2.139	0.209	0.108	0.820
		0+00.114	0.203	0.423	0.087	2.077	0.453	0.047	2.300	0.220	0.107	0.810
		0+00.139	0.198	0.430	0.084	2.131	0.452	0.047	2.477	0.232	0.106	0.800
		0+00.168	0.193	0.438	0.082	2.188	0.450	0.048	2.673	0.244	0.104	0.790
		0+00.201	0.189	0.446	0.080	2.248	0.449	0.049	2.889	0.258	0.103	0.780
		0+00.240	0.184	0.456	0.078	2.310	0.448	0.049	3.129	0.272	0.101	0.771
		0+00.285	0.179	0.467	0.076	2.377	0.447	0.050	3.396	0.288	0.100	0.761
		0+00.327	0.174	0.479	0.074	2.447	0.445	0.051	3.694	0.305	0.098	0.751
		0+00.398	0.169	0.493	0.071	2.521	0.444	0.052	4.028	0.324	0.096	0.741
		0+00.471	0.164	0.509	0.069	2.599	0.443	0.053	4.403	0.344	0.095	0.732
		0+00.557	0.160	0.526	0.067	2.682	0.441	0.054	4.825	0.367	0.093	0.722
		0+00.661	0.155	0.546	0.065	2.770	0.440	0.056	5.302	0.391	0.091	0.712
		0+00.789	0.150	0.568	0.063	2.864	0.439	0.057	5.844	0.418	0.090	0.702
		0+00.949	0.145	0.593	0.061	2.965	0.438	0.059	6.462	0.448	0.088	0.692
		0+01.156	0.140	0.621	0.059	3.072	0.436	0.060	7.169	0.481	0.086	0.683
		0+01.437	0.135	0.653	0.056	3.187	0.435	0.062	7.981	0.518	0.084	0.673
		0+01.954	0.130	0.689	0.054	3.311	0.434	0.064	8.921	0.559	0.082	0.663
		0+02.595	0.126	0.730	0.052	3.444	0.433	0.066	10.012	0.605	0.080	0.653
		0+06.683	0.122	0.769	0.051	3.563	0.432	0.068	11.060	0.647	0.079	0.645

³ Esta tipología de geomanto se propone dadas las solicitaciones (fuerzas tractivas y velocidades) que se generan en el modelo hidráulico por el flujo del caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años.



Alcaldía de Medellín

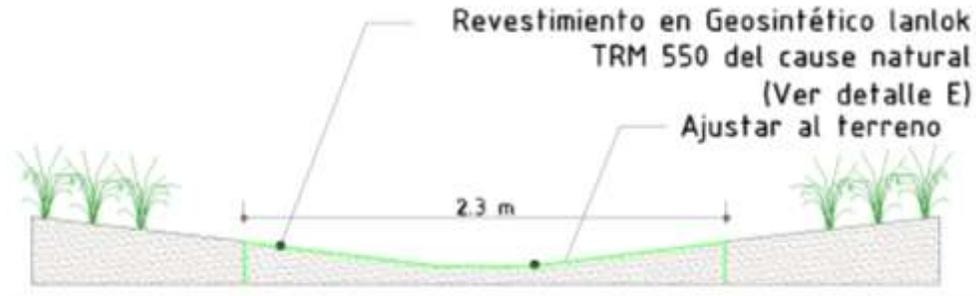


Ilustración 47. Diseño TRM 550 – Tramo A2.

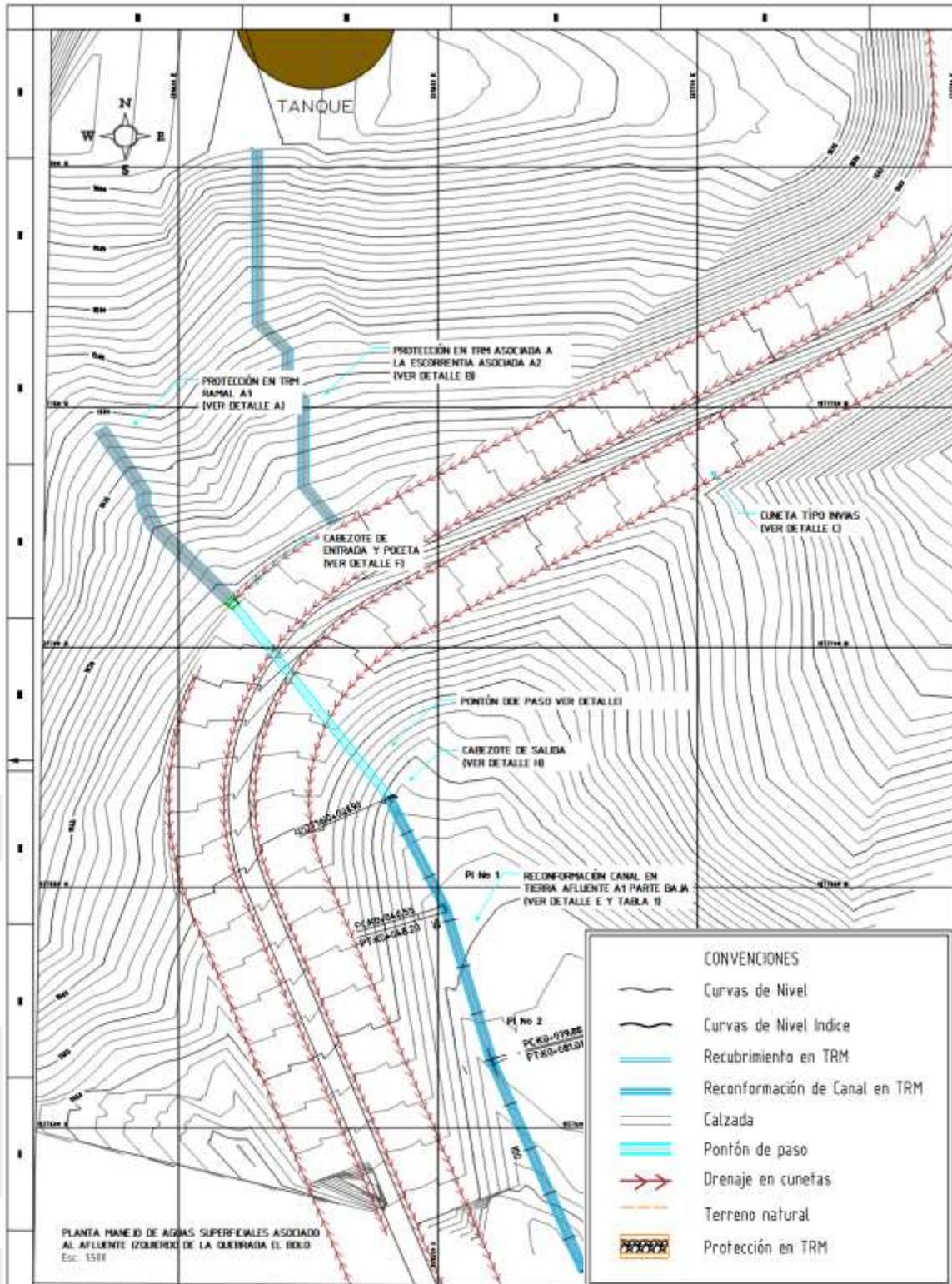
Se observa que en esta zona de acumulación de aguas se alcanzan velocidades de diseño de 3.56 m/s, superadas por las velocidades admisibles del material (5 m/s); como lo muestra la ficha técnica (ver Tabla 18).

4.5.3. Sistema de drenaje en cunetas sobre la vía propuesta – área aferente denominada c. derecha.

El sistema de drenaje superficial para la vía proyectada estará compuesto por tramos de cunetas que descargan las aguas de escorrentía por una parte al sistema de alcantarillado de aguas lluvias, por otro lado, a la obra de cruce del Afluente A1 a la altura de la vía propuesta y, por otra parte, a la quebrada El Bolo, Las cunetas a diseñar en el presente documento se encuentran estandarizadas en la Guía de diseño del INVIAS.



Alcaldía de Medellín



Centro Administrativo Municipal CAM
 Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
 Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
 Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia



Alcaldía de Medellín

Ilustración 48. Esquema para el manejo de aguas superficiales, Ver plano 01206 DOC UPR PP.RODEO DE LA MONTAÑA 01.

Se presentan a continuación los parámetros requeridos para la determinación de los caudales de diseño concernientes al sistema de drenaje de la vía propuesta; como lo son los coeficientes de escorrentía, la intensidad de la lluvia, la cual se determina con la ayuda de los valores máximos de precipitación, las longitudes de las cunetas, así como también los parámetros de diseño de la “cuneta tipo” sugerida por la Guía INVIAS de 2016 y los caudales que dicha estructura puede transportar.

Para calcular la intensidad de la lluvia generalmente se usan duraciones de aguacero (tiempo de concentración) de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos. Para determinar el periodo de retorno (T) se tienen los valores recomendados en el Manual de Drenaje Vial del INVIAS que se indican en la Tabla 20.

Tabla 20. Periodos de retorno para el diseño de obras de drenaje vial (INVIAS).

Obras de drenaje vial	T _r
Drenaje superficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz igual a 10m y menor a 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100

- **Determinación del caudal que puede transportar la cuneta.**

El caudal que puede transportar la cuneta tipo a sección plena, dada una pendiente longitudinal de la vía, se puede encontrar mediante la aplicación de la ecuación de continuidad y la fórmula de Manning.

$$Q_c = V * AM; \text{ donde } V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Dónde:

- Q_c = Caudal que puede transportar la cuneta en m³/s.





Alcaldía de Medellín

- V = Velocidad del agua que circula por la berma-cuneta, en m/s.
- R = Radio Hidráulico en metros.
- S = Pendiente de la berma-cuneta, igual a la pendiente de la rasante de la vía. n = coeficiente de rugosidad de Manning.
- A = Área hidráulica de la sección transversal de la berma-cuneta, en m^2 .
- A continuación, se presenta el esquema de la cuneta recomendada por el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS como la sección típica colombiana triangular de 1.0 m de ancho y 0.2 m de profundidad.

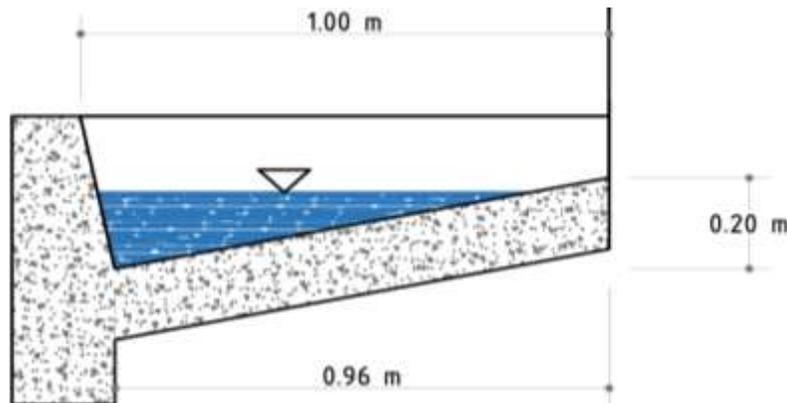


Ilustración 49. Cuneta típica INVIAS Diseño.

En este orden de ideas, y con los datos iniciales se verifica la capacidad hidráulica de la cuneta para un caudal correspondiente a un periodo de retorno de 5 años con el propósito de verificar su capacidad para evacuar el área aferente denominada anteriormente como **C. Derecha** la cual corresponde al área aferente que drenará hacia la cuneta (hasta la vía proyectada). Los datos de cálculo se muestran en la Tabla 21.



Alcaldía de Medellín

Tabla 21. Parámetros de diseño cuneta típica.

DISEÑO CUNETAS	
B (m)	1
SC (m)	0.960
ST (m)	0.040
BC (m)	0.96
BT (m)	0.04
H (m)	0.2
A (m ²)	0.100
PM (m)	1.185
RH (m)	0.084
N (Adim)	0.016
S (%)	12%
Q (m ³ /s)	0.417
N Pocetas	1

Como se puede observar, la cuneta posee capacidad de transportar hasta 0.417 m³/s, lo que es superior al valor de 0.324 m³/s caudal que drenaría hacia la cuneta para el área aferente denominada anteriormente como C. Derecha; demostrando así suficiencia hidráulica.

4.5.4. Obra de paso – Colectora

Dada la obligación de infraestructura que implica la vía proyectada por el municipio, se requiere de una obra de cruce sobre dicha vía (ver Ilustración 48, Ilustración 51 e Ilustración 52), que adicionalmente corta y recoge con sus cunetas, parte de las aguas superficiales que drenan sobre la ladera; se propone para ello el cruce por medio de una estructura tipo pontón (ver Ilustración 51), esto con el propósito de “conservar” en la medida de lo posible las condiciones actuales de la ladera, de no impermeabilizar el fondo y de impactar lo menos posible desde el punto de vista ambiental, dados los llenos que la vía implica, esta debe contar con suficiente capacidad para hacerle mantenimiento y limpieza adecuados; por lo que se establece que esta será mínimo 1.5 m de sección cuadrada, se procede con el chequeo hidráulicos de la misma.

Al no impermeabilizar el piso se requiere de un revestimiento como los antes usados (TRM 550 de PAVCO o similar), con el propósito de reforzar el lecho del pontón y evitar de esta manera problemas de socavación o incisión de lecho. Dados los caudales máximos de diseño calculados en el capítulo de diagnóstico (TR; 100 años), se utilizó la herramienta Flow Pro 2.1 para modelo de canales prismáticos, donde se observa que la altura máxima de la lámina de agua en el pontón es de 0.29m, con una velocidad máxima de 4.5 m/s; como se presenta en



Alcaldía de Medellín

la Ilustración 50 donde se observan los resultados arrojados por el Software para un TR de 100 años; con lo que se determina que la sección máxima a proteger es de 3.0 m , como se presenta en la Ilustración 46.

Required Inputs		Water Surface Profile Data										
Start station, m:	0+00.000	Station	Depth	Specific	Area	Velocity	Top	Momentum	Froude	Velocity	Hydraulic	Wetted
End station, m:	0+25.558	m	m	m	m ²	m/s	Width, m	cms	Number	Head, m	Radius, m	Per, m
Flowrate, m ³ /s:	0.747	0+00.000	0.294	0.440	0.440	1.697	1.500	0.194	1.000	0.147	0.211	2.087
Width, m:	1.5	0+00.001	0.287	0.440	0.431	1.733	1.500	0.194	1.065	0.153	0.208	2.075
Manning's n:	0.018	0+00.005	0.281	0.441	0.422	1.770	1.500	0.194	1.136	0.160	0.205	2.063
Bottom slope:	0.15	0+00.012	0.275	0.442	0.413	1.809	1.500	0.195	1.213	0.167	0.201	2.050
Control depth, m:	0.294	0+00.023	0.269	0.444	0.404	1.850	1.500	0.195	1.297	0.175	0.198	2.038
Side slope:	0	0+00.038	0.263	0.446	0.395	1.893	1.500	0.196	1.390	0.183	0.195	2.026
		0+00.057	0.257	0.448	0.385	1.938	1.500	0.197	1.491	0.192	0.191	2.014
		0+00.081	0.251	0.452	0.376	1.985	1.500	0.198	1.602	0.201	0.188	2.002
		0+00.110	0.245	0.456	0.367	2.035	1.500	0.200	1.725	0.211	0.185	1.990
		0+00.145	0.239	0.461	0.358	2.087	1.500	0.202	1.861	0.222	0.181	1.977
		0+00.197	0.233	0.466	0.349	2.141	1.500	0.204	2.011	0.234	0.178	1.965
		0+00.237	0.226	0.473	0.340	2.199	1.500	0.206	2.178	0.247	0.174	1.953
		0+00.295	0.220	0.481	0.331	2.260	1.500	0.208	2.363	0.260	0.170	1.941
		0+00.363	0.214	0.490	0.321	2.324	1.500	0.211	2.571	0.275	0.167	1.929
		0+00.442	0.208	0.500	0.312	2.392	1.500	0.215	2.803	0.292	0.163	1.916
		0+00.534	0.202	0.512	0.303	2.464	1.500	0.218	3.065	0.310	0.159	1.904
		0+00.641	0.196	0.525	0.294	2.541	1.500	0.222	3.360	0.329	0.155	1.892
		0+00.765	0.190	0.541	0.285	2.623	1.500	0.227	3.694	0.351	0.152	1.880
		0+00.910	0.184	0.558	0.276	2.710	1.500	0.232	4.074	0.374	0.148	1.868
		0+01.080	0.178	0.578	0.267	2.803	1.500	0.237	4.508	0.401	0.144	1.855
		0+01.280	0.172	0.601	0.257	2.902	1.500	0.243	5.006	0.429	0.140	1.843
		0+01.517	0.165	0.627	0.248	3.009	1.500	0.250	5.580	0.462	0.136	1.831
		0+01.801	0.159	0.657	0.239	3.124	1.500	0.257	6.245	0.498	0.131	1.819
		0+02.145	0.153	0.691	0.230	3.249	1.500	0.265	7.020	0.538	0.127	1.807
		0+02.569	0.147	0.731	0.221	3.383	1.500	0.274	7.929	0.584	0.123	1.794
		0+03.103	0.141	0.776	0.212	3.529	1.500	0.284	9.002	0.635	0.119	1.782
		0+03.757	0.135	0.829	0.203	3.689	1.500	0.295	10.277	0.694	0.114	1.770
		0+04.746	0.129	0.890	0.193	3.863	1.500	0.307	11.805	0.761	0.110	1.758
		0+06.159	0.123	0.961	0.184	4.055	1.500	0.320	13.652	0.838	0.106	1.746
		0+08.687	0.117	1.045	0.175	4.267	1.500	0.335	15.905	0.928	0.101	1.733
		0+25.558	0.111	1.144	0.166	4.502	1.500	0.352	18.683	1.033	0.096	1.721

Ilustración 50. Chequeo de capacidad hidráulica para el Pontón.

Se presenta a continuación un esquema de la obra de cruce tipo pontón.

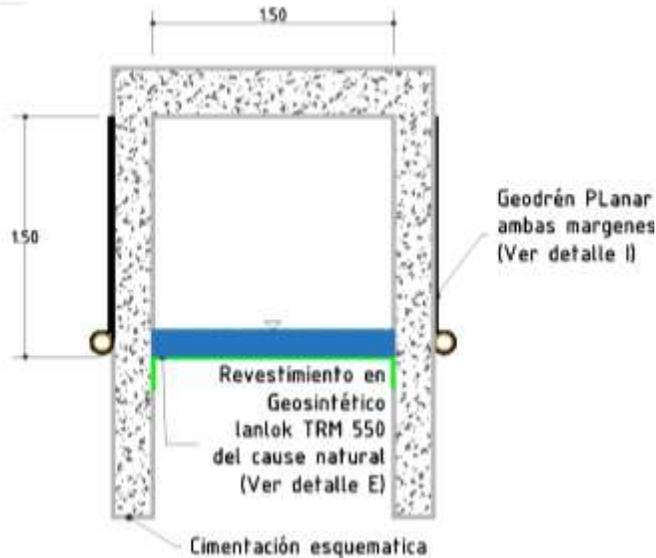


Ilustración 51. Esquema del pontón como obra de cruce.



Alcaldía de Medellín

La obra de cruce deberá estar acompañada cabezotes de entrada y salida con sus respectivas aletas y soleras para completar el sistema de cruce y evitar problemas de tipo hidráulico. Los muros de cabecera o cabezotes y de aletas, retienen el material del terraplén, protegiéndolo de la erosión y acortando la longitud de del pontón; a su vez funcionan como transición entre la cobertura y el canal abierto, guiando el flujo y mejorando su desempeño hidráulico. Las placas de solera facilitan la entrada y salida de agua al conducto y contrarrestan las fuerzas de subpresión. El cálculo y diseño de estos elementos, al momento de llevarlos a cabo, deberá ser debidamente realizado por un ingeniero estructural. Al ser estructuras hidráulicas o ambientales, el concreto a implementar deberá tener una resistencia mínima de 28 Mpa a menos de que el diseñador indique lo contrario.

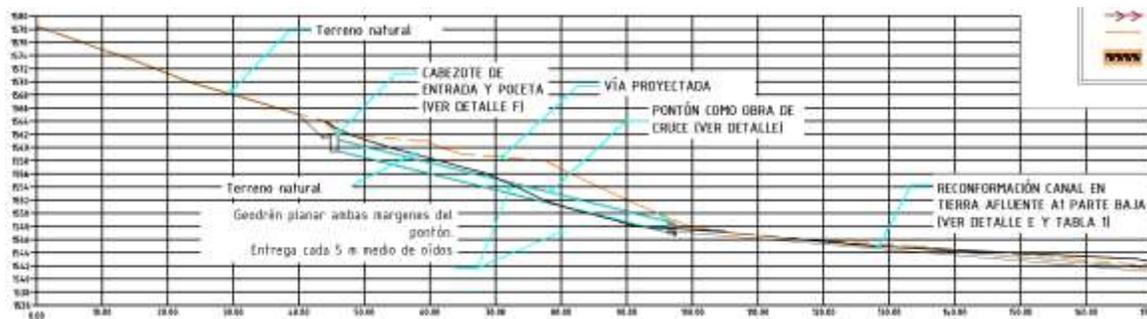


Ilustración 52. Esquema de obra de cruce para el ramal izquierdo de la quebrada El Bolo Ver plano 01206 DOC UPR PP.RODEO DE LA MONTAÑA 01.

En la Ilustración 52 se muestra el alineamiento vertical de la obra de cruce, esta recoge las aguas de precipitación de las áreas aferentes denominadas en el presente informe como **A1 micro**, **A2** y **C. derecha**, para un caudal de diseño de 100 años.

4.5.5. Canal en tierra armada recubierto en TRM 550 – A1

Como se especificó anteriormente, la parte final del afluente izquierdo de la quebrada El Bolo, por intervenciones antrópicas, no posee en la actualidad un cauce definido, por lo que el flujo actual del agua se da de manera anárquica como se observa en la Ilustración 53 e Ilustración 54 a modo de ejemplo para un periodo de retorno de 20 años. Se propone por ello su reconformación “*in situ*” por medio de canal en tierra revestido en geomanto de alta resistencia, el cual permita una reconformación de la corriente de la manera más amigable posible con el



Alcaldía de Medellín

ambiente, que se revegetalice y se mimetice posteriormente con la vegetación y garantice una correcta disposición hasta la quebrada El Bolo.

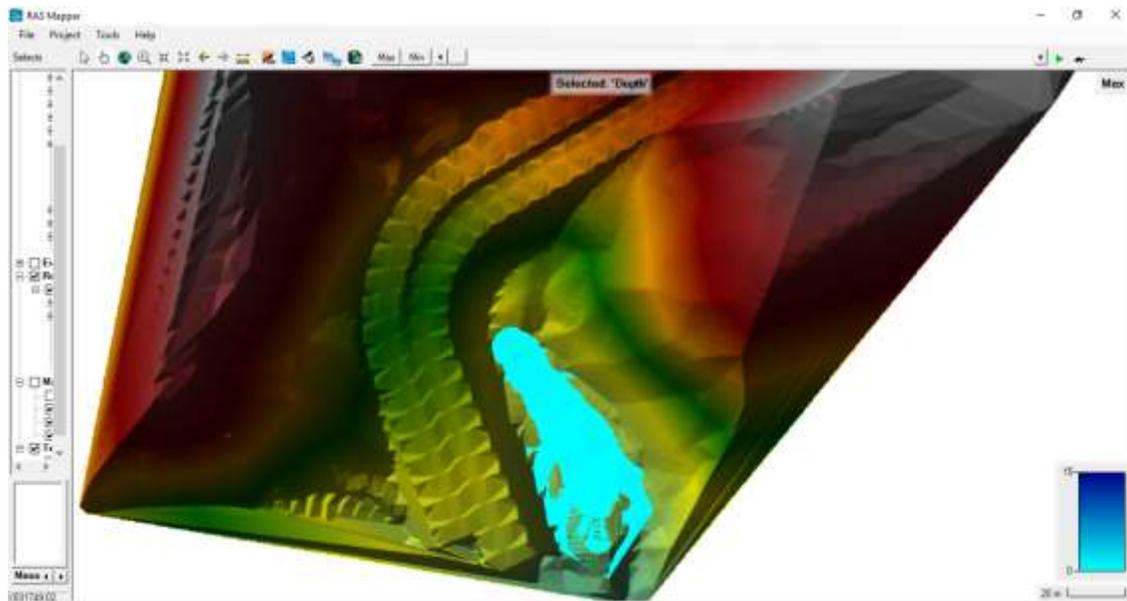


Ilustración 53. Modelo Hidráulico afluente izquierdo parte baja. TR: 20 años.

ME
DE
LLIN



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

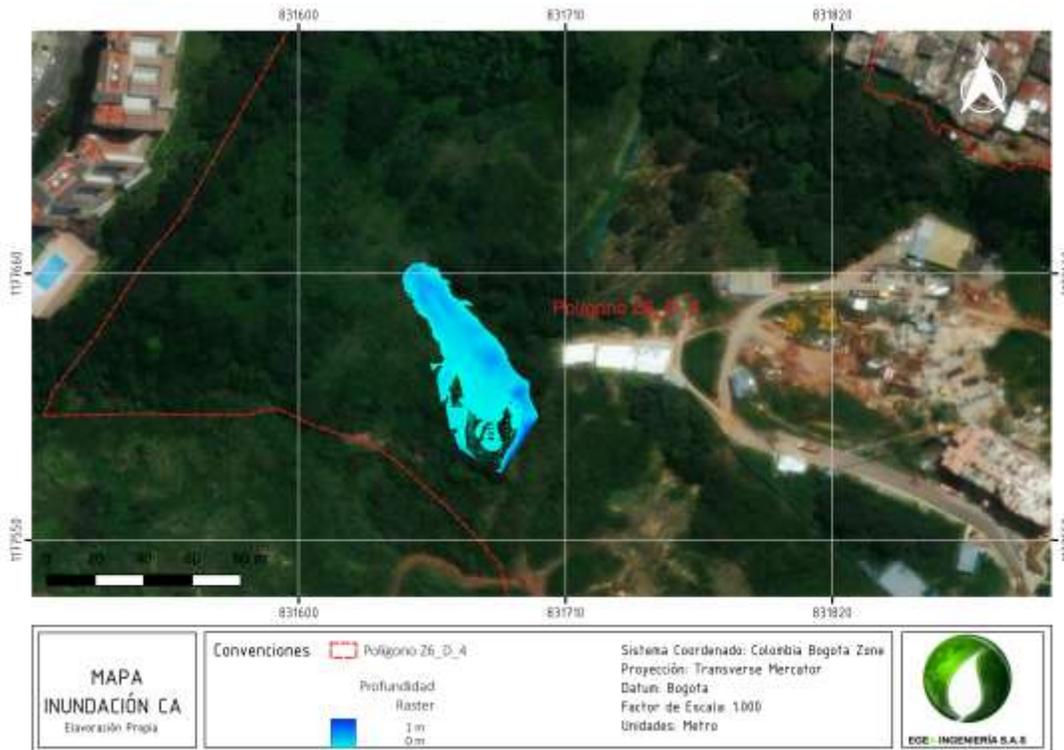
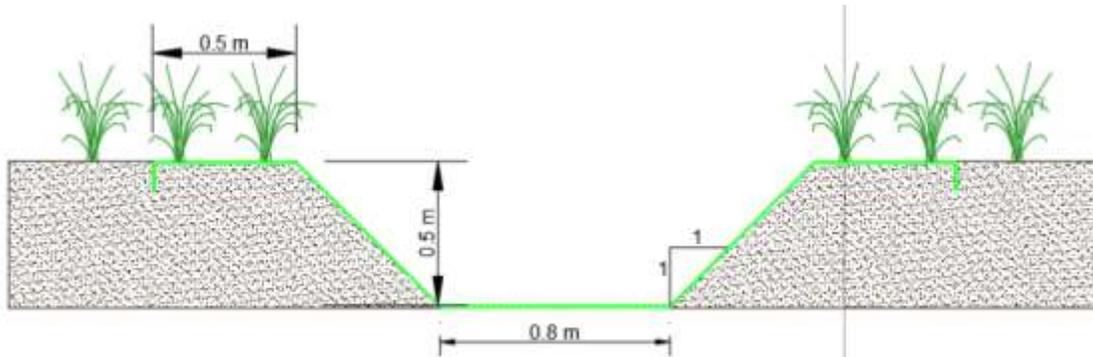


Ilustración 54. Mapa Mancha de Inundación CA, 20 Años.

Es claro en las ilustraciones anteriores, la manera como el agua fluye sin control en la parte baja, antes de confluencia del ramal izquierdo de la quebrada El Bolo. Con el propósito de darle manejo a esta zona se proyecta el canal trapezoidal en tierra recubierto en geomanto de alta resistencia tipo TRM 550 de PAVCO o similar para determinar la sección a proteger, se modeló un canal trapezoidal de 0.8 m de ancho de base, con relación de taludes 1:1; como se presenta en la Ilustración 55, se toman los caudales máximos de diseño calculados en el diagnóstico para un TR de 100 años, usando la herramienta Flow Pro 2.1, donde se observa que la altura de la lámina de agua varía entre 0.32 a 0.15m, con una velocidad máxima de 3.5 m/s; como en este caso se determina la necesidad de un borde libre en el canal por lo que su altura será mínimo de 0.5 m.



Alcaldía de Medellín



Diseño Canal en Tierra, TRM 550 - Tramo A1

Ilustración 55. Diseño Canal en Tierra, TRM 550 –Tramo A1.

Tabla 22. Dimensionamiento del canal en tierra recubierto en TRM A1 .

Station	Depth	Specific	Area	Velocity	Top	Momentum	Froude	Velocity	Hydraulic	Wetted
m	m	m	m ²	m/s	Width, m	cms	Number	Head, m	Radius, m	Per, m
0+00.000	0.443	0.658	0.551	2.056	1.686	0.345	1.320	0.215	0.268	2.053
0+00.023	0.438	0.660	0.542	2.088	1.676	0.346	1.374	0.222	0.266	2.039
0+00.049	0.433	0.662	0.534	2.121	1.666	0.347	1.431	0.229	0.264	2.024
0+00.080	0.428	0.665	0.525	2.155	1.656	0.348	1.492	0.237	0.261	2.010
0+00.115	0.423	0.667	0.517	2.189	1.646	0.349	1.555	0.244	0.259	1.996
0+00.155	0.418	0.670	0.509	2.225	1.636	0.351	1.623	0.252	0.257	1.982
0+00.201	0.413	0.673	0.501	2.261	1.626	0.353	1.693	0.261	0.254	1.968
0+00.253	0.408	0.677	0.492	2.299	1.615	0.354	1.768	0.269	0.252	1.953
0+00.312	0.403	0.681	0.484	2.337	1.605	0.356	1.847	0.279	0.250	1.939
0+00.378	0.398	0.686	0.476	2.377	1.595	0.359	1.930	0.288	0.247	1.925
0+00.452	0.393	0.691	0.468	2.417	1.585	0.361	2.018	0.298	0.245	1.911
0+00.535	0.388	0.696	0.460	2.459	1.575	0.363	2.111	0.308	0.243	1.896
0+00.627	0.383	0.702	0.452	2.502	1.565	0.366	2.209	0.319	0.240	1.882
0+00.730	0.378	0.708	0.445	2.546	1.555	0.369	2.313	0.331	0.238	1.868
0+00.846	0.372	0.715	0.437	2.592	1.545	0.372	2.424	0.343	0.236	1.854
0+00.976	0.367	0.723	0.429	2.639	1.535	0.375	2.541	0.355	0.233	1.839
0+01.122	0.362	0.731	0.421	2.687	1.525	0.379	2.665	0.368	0.231	1.825
0+01.287	0.357	0.739	0.414	2.737	1.515	0.382	2.798	0.382	0.228	1.811
0+01.473	0.352	0.749	0.406	2.788	1.505	0.386	2.938	0.396	0.226	1.797
0+01.685	0.347	0.759	0.398	2.841	1.495	0.390	3.087	0.412	0.224	1.782
0+01.927	0.342	0.770	0.391	2.896	1.485	0.394	3.247	0.427	0.221	1.768
0+02.206	0.337	0.781	0.383	2.952	1.474	0.399	3.416	0.444	0.219	1.754
0+02.531	0.332	0.794	0.376	3.010	1.464	0.404	3.597	0.462	0.216	1.740
0+02.914	0.327	0.808	0.369	3.070	1.454	0.409	3.790	0.481	0.214	1.725
0+03.373	0.322	0.822	0.361	3.132	1.444	0.414	3.997	0.500	0.211	1.711
0+03.936	0.317	0.838	0.354	3.196	1.434	0.420	4.218	0.521	0.209	1.697
0+04.649	0.312	0.855	0.347	3.262	1.424	0.426	4.454	0.543	0.206	1.683
0+05.599	0.307	0.873	0.340	3.331	1.414	0.432	4.708	0.566	0.204	1.668
0+06.976	0.302	0.892	0.333	3.402	1.404	0.438	4.980	0.590	0.201	1.654
0+09.373	0.297	0.913	0.326	3.476	1.394	0.445	5.272	0.616	0.199	1.640
0+15.757	0.295	0.922	0.323	3.507	1.390	0.448	5.398	0.627	0.199	1.634

Finalmente con el propósito de verificar la suficiencia hidráulica y el comportamiento del alineamiento propuesto para el canal A1 en la parte baja de la cuenca del ramal izquierdo de la quebrada El Bolo (ver plano 01206 DOC UPR PP.RODEO DE LA MONTAÑA 01), se modelo mediante el software IBER (España, 2012) de uso libre que calcula el flujo en lámina libre bidimensionalmente y permite realizar cálculos de flujo en ríos, definir las zonas inundables, evaluar zonas de riesgo y delimitar las vías de intenso desagüe, además de simular el



Alcaldía de Medellín

paso del agua bajo puentes, compuertas y vertederos, incluso simulando el efecto del viento y permite simular la rotura de presas y embalses. Este modelo matemático bidimensional para la simulación hidráulica es promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña), el Grupo Flumen (Universitat Politècnica de Catalunya y Universitat de Barcelona) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE (vinculado a la Universidad Politécnica de Cataluña), en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua.

Tanto las ecuaciones hidrodinámicas, como los modelos de turbulencia y el modelo de transporte de sedimentos, se resuelven en forma integral por el método de volúmenes finitos en una malla no-estructurada (el método de volúmenes finitos es uno de los más extendidos y comúnmente utilizados en dinámica de fluidos por ser muy eficiente para la resolución de leyes de conservación). Las características de los esquemas numéricos utilizados en IBER son las siguientes:

- Esquemas en volúmenes finitos, planteados en forma integral y conservativa.
- Esquemas descentrados tipo Roe de alta resolución.
- Capacidad de resolver flujo subcrítico, supercrítico y cambios de régimen.
- Mallas no-estructuradas formadas por elementos de 3 o más lados.
- Esquemas explícitos en tiempo (modelación en periodos de tiempo especificados por el usuario).
- Tratamiento de frentes seco-mojado mediante esquemas estables y conservativos (sin pérdida de masa).

Estas características funcionan con las ecuaciones unidimensionales de Saint-Venant, estas modelan problemas de interés práctico en el ámbito del flujo de aguas con superficie libre, entre ellos se encuentran los problemas de mareas, rotura de olas en las playas, flujo de agua en ríos, rotura de presas entre otros. De igual manera, las ecuaciones de Saint-Venant pueden ser aplicadas a flujos de mezclas heterogéneas y a la modelación de flujos atmosféricos. Un supuesto





Alcaldía de Medellín

importante en la deducción de las aproximaciones es suponer que la presión es hidrostática, la cual resulta de asumir que en la aceleración vertical de las partículas es despreciable el efecto de la presión (González, 2012).

A continuación, se presenta el modelamiento del canal cuadro a cuadro para mostrar su comportamiento, láminas de agua, velocidad máxima alcanzada.

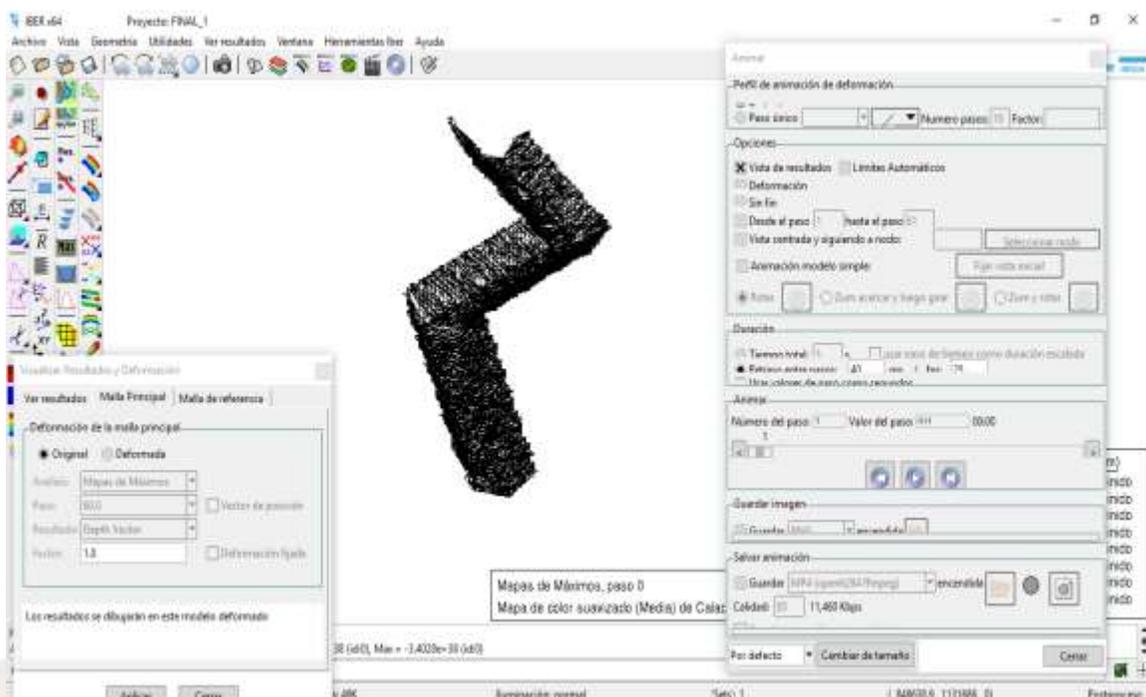
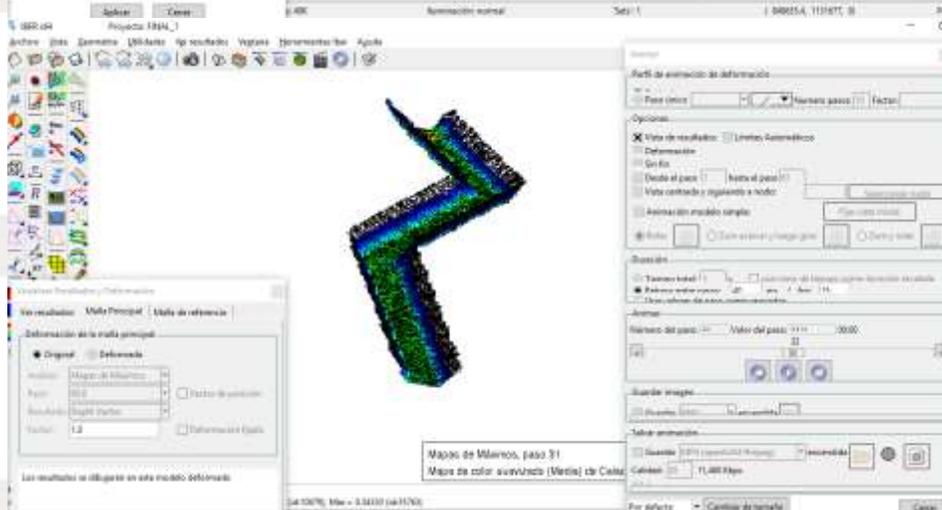
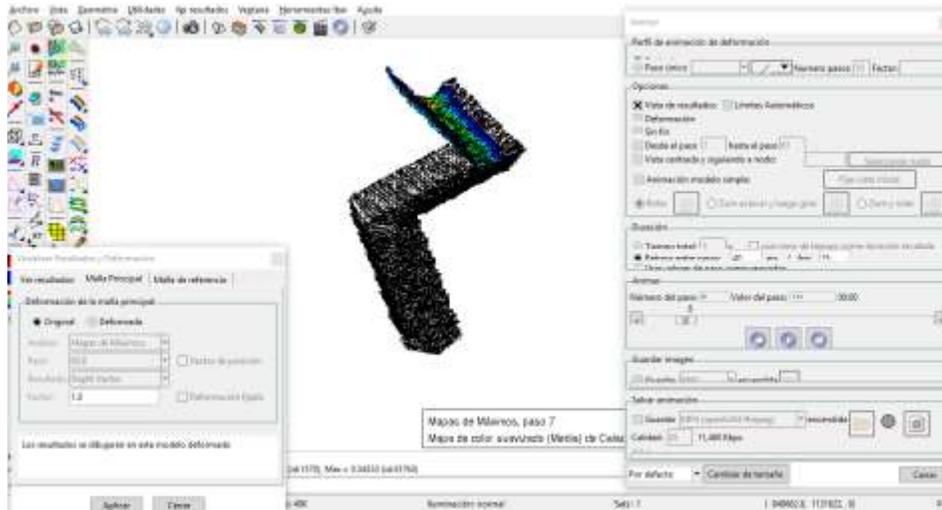


Ilustración 56. Enmallado para modelación hidráulica por medio de elementos finitos.



Alcaldía de Medellín





Alcaldía de Medellín

Ilustración 57. Tránsito del caudal sobre el enmallado que conforma el canal de la zona baja TR 100 años.



Ilustración 58. Lámina de agua para el canal propuesto TR 100 años.

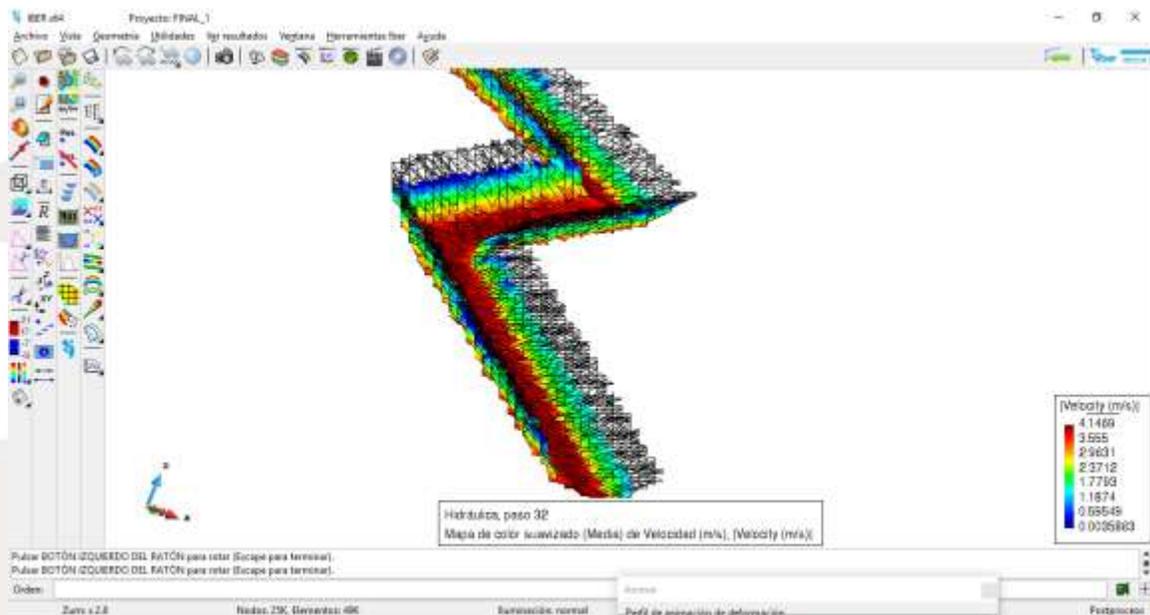


Ilustración 59. Velocidades alcanzadas para el canal propuesto TR 100 años.



Alcaldía de Medellín

Se observa en la propuesta que la sección propuesta para transitar las aguas de escorrentía de la zona de estudio, cumple con los criterios de capacidad hidráulica y resistencia necesarios para un adecuado funcionamiento del canal, además de ser amigable con el ambiente, permitiendo el establecimiento de la vegetación y adecuado tránsito de las aguas de escorrentía.

4.6. MEDIDAS DE MANEJO DE ACUERDO A PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS

Las siguientes medidas de manejo se formularon acorde al Documento expedido por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en mayo de 2019 (*Numerales 3.2.2. Zonas de recarga en suelo urbano y 3.3. Acciones que soportan la implementación de las medidas de manejo en las zonas de recarga del acuífero del Valle de Aburrá*), y se realizan teniendo en cuenta que el polígono Z6_D_4 pertenece a una zona de recarga de acuíferos, donde se busca mitigar los impactos en calidad y cantidad del recurso hídrico en desarrollos urbanísticos. De igual manera, son consecuentes con las obras propuestas en el capítulo anterior.

- En los espacios públicos proyectados y en la recuperación del cauce de El Ramal se implementarán superficies que posibiliten la permeabilidad del agua al subsuelo (diseño canal en tierra y geomantos). Con esta medida se busca proyectar corredores verdes con el fin de que la capacidad de infiltración en el suelo no se vea impactada con la construcción de pisos duros en espacios comunes.
- La obra hidráulica de cruce de El Ramal de El bolo a la altura de la vía proyectada es tipo pontón con suelo blando de 1.5 metros de alto y de ancho, lo que posibilita la infiltración del agua en el suelo.
- La quebrada El Bolo presenta un retiro de 20 metros, mientras que El Ramal, de 15 metros, según el Acuerdo 46 de 2006. Estos espacios serán destinados a la restauración ecológica y a la recuperación de los servicios ecosistémicos que ofrece el sistema hidrográfico (ecoparque de quebrada). De igual manera, las intervenciones de dichas franjas de retiro buscarán la implementación mínima de pisos duros y deberán contar con la respectiva autorización de la autoridad ambiental para su intervención.
- Gestionar debidamente la concesión de aguas subterráneas en la fase de construcción del plan parcial, respecto al abatimiento del nivel freático, propendiendo así por la gestión adecuada del agua subterránea por calidad





Alcaldía de Medellín

y cantidad del recurso acogiendo así la Política Pública de Construcción Sostenible.

- Formular un adecuado Plan de Manejo Ambiental – PMA para las fases de construcción y ejecución del proyecto, que permita prevenir, mitigar y/o corregir los posibles impactos negativos sobre el recurso hídrico y el suelo, que por su capacidad filtrante se vean impactados los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea.
- Definir sitios de acopio para el almacenamiento de residuos sólidos con el fin de evitar una inadecuada disposición de los mismos que pueda influir de manera negativa en la dinámica de las corrientes u obstruyan los sumideros, tuberías, canales, cunetas o demás obras hidráulicas proyectadas.
- Utilización de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS) de acuerdo al PMAA y según el caso que le aplique en la construcción de infraestructura y no sea posible la utilización de pisos blandos.
- No se utilizarán llenos antrópicos con material ajeno a las condiciones del medio, teniendo en cuenta las características geológicas mencionadas en el documento de Diagnóstico.

Las medidas de manejo para el acuífero anteriormente mencionadas harán parte estructural del Decreto modificadorio del plan parcial.

4.7. GESTION AMBIENTAL

Para la intervención de los elementos ambientales que están presentes en el área de planeamiento, se deberá contar con los permisos ambientales necesarios teniendo en cuenta las disposiciones que le apliquen. Las autorizaciones a que haya lugar serán otorgadas por la autoridad ambiental competente, en este caso: el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.





Alcaldía de Medellín

5. CONCLUSIONES DE LA FORMULACIÓN

- Se deberá cumplir con los criterios de intervención del sistema hidrográfico expuestos en el presente documento, de igual manera, se deberán respetar los retiros de cuerpo de agua según el Acuerdo 46 de 2006 (Ver Capítulo 4.4.2. Componente Hídrico).
- Se pretende generar un parque lineal en la quebrada El Bolo (retiro 20 metros) para conformarlo como área de espacio público para el uso y disfrute de la comunidad. Referente al componente paisajístico, el lugar posee un alto potencial para convertirse en un ecoparque, es un espacio con alta calidades paisajísticas por la composición y la estructura del verde existente que permite estar en condiciones naturales dentro de la ciudad.
- Se restituirá El Ramal de la quebrada El Bolo, mitigando las intervenciones de tipo antrópico que ha sufrido a través del tiempo, por medio de las intervenciones relacionadas en el Capítulo 4.5. Diseño de obras para el manejo de aguas.
- Con respecto a las obras hidráulicas, inicialmente para el ramal izquierdo de la quebrada El Bolo, se propone en la parte superior, proteger la vaguada que lo conforma; sin cambiar su morfología y a la altura de la vía proyectada; se propone una obra de paso, se propone una obra tipo pontón sin piso, cuya selección se realizó con el fin de minimizar los impactos sobre el recurso hídrico subterráneo.
- El sistema de drenaje superficial para la vía proyectada estará compuesto por tramos de cunetas que descargan las aguas de escorrentía por una parte al sistema de alcantarillado de aguas lluvias, por otro lado, a la obra de cruce del Afluente A1 a la altura de la vía propuesta y, por otra parte, a la quebrada El Bolo. Las cunetas propuestas en el presente documento se encuentran estandarizadas en la Guía de diseño del INVIAS.
- Se deberá tener en cuenta las medidas de manejo de acuerdo al Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos - PMAA, formuladas en el Capítulo 4.6, donde se busca, principalmente, favorecer la infiltración en el suelo



Alcaldía de Medellín

mediante pisos blandos, previniendo la disminución en la calidad y cantidad del recurso hídrico del subsuelo.

- Para la gestión e intervención de los elementos ambientales que están presentes en el área de planeamiento, se deberá contar con los permisos ambientales necesarios teniendo en cuenta las disposiciones que le apliquen. Las autorizaciones a que haya lugar serán otorgadas por la autoridad ambiental competente, para el caso del polígono de Desarrollo en suelo Urbano Z6_D_4 será el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.





Alcaldía de Medellín

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Documento Técnico de Soporte Plan Parcial Colinas del Porvenir (2015)
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia y CORNARE. (2019). Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.
- Acuerdo 46 de 2006 Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín.
- Área metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia, & Universidad Nacional de Colombia, S. M. (2007). *Plan de ordenamiento de la cuenca del Río Aburrá (POMCA)*.
- GEO2. (2019). *Líneas de Escorrentía - Cuenca El Bolo Estudio Geológico - Geomorfológico*. <https://doi.org/10.3726/978-3-0352-0094-2/1>
- IDEAM. (n.d.). *Precipitación Anual IDEAM*. Retrieved February 2, 2019, from http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Precipitacion_Anual.pdf
- INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*.
- INVIAS. (2016). *GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS CON PLACA HUELLA*.
- Mutreja, K. N. (1986). *Applied Hydrology*.
- SHI. (2020). *Análisis multitemporal en el Proyecto Rodeo de La Montaña- Plan Parcial Colinas del Porvenir*.
- España, G. (2012). *Iberaula*. <http://iberaula.es/web/index.php>
- Vieco Ingeniería de suelos. (2014). *Estudio de Suelos y Estabilidad 14'043 - Plan Parcial Rodeo de la Montaña* (Vol. 57, Número 4).
- Mesa, M. I. (2014). *ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DEL PLAN PARCIAL CUIDADELA COLINAS DEL PORVENIR, MUNICIPIO DE MEDELLÍN*.
- EGEA Ingeniería S.A.S. (2021). *ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICO - GEOTÉCNICOS, DISEÑO DE CIMENTACIONES, Y PAVIMENTOS, HIDROLÓGICOS HIDRÁULICOS PARA MANEJO DE AGUAS SUPERFICIALES Y DRENAJE ASOCIADAS AL URBANISMO PROPUESTO PARA PAGO DE OBLIGACIONES URBANÍSTICAS, EN LOS PREDIOS DE MA (01171 DOC INI COLINAS DEL PORVENIR; Número 12)*.
- 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*.

