4. ANALISIS GEOLÓGICO

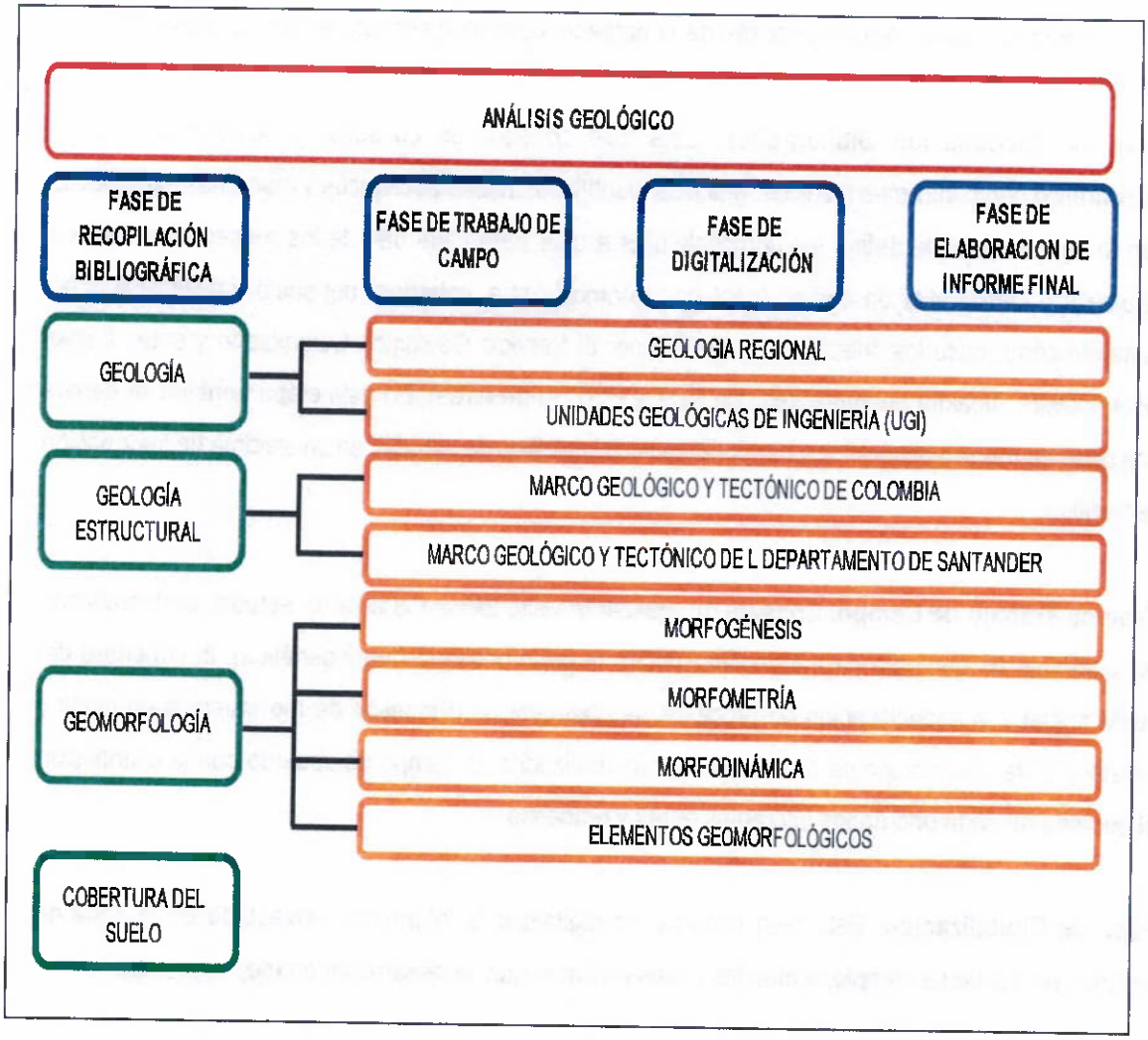


Tabla 3. Contendido Geología

4.1. METODOLOGÍA

La metodología usada para el desarrollo de la presente consultoría consta de las siguientes fases:

Fase de Recopilación Bibliográfica. Esta fase consiste en consultar y seleccionar material bibliográfico como informes técnicos, artículos científicos, mapas geológicos y memorias explicativas, con lo cual se permite definir las nomenclaturas a usar para cada uno de los respectivos mapas a visualizar y cartografiar en campo (geología, geomorfología, cobertura del suelo y deslizamientos), tomando como base los lineamientos usados por el Servicio Geológico Colombiano y entes a nivel local (CDMB, Alcaldía del municipio con EOT y POT, entre otros). En esta etapa también se genera una base de datos bibliográfica y cartográfica inicial del área de estudio, en un sistema de información geográfica.

Fase de Trabajo de Campo. Consiste en realizar la visita técnica al área de estudio, cartografiando las unidades de geología para ingeniería (UGI), la geomorfología (Morfogenética), la cobertura del suelo actual y la especificación de procesos morfodinámicos (Procesos de movimientos en masa y erosión). Esta información se plasma en mapas realizados en campo de acuerdo con la distribución observada de cada uno de los diferentes entes y procesos.

Fase de Digitalización. Esta fase consiste en digitalizar la información colectada en la zona de estudio, en donde se complementan las bases de datos que se desarrollan en etapas previas.

Fase de Elaboración de Informe Final. Consiste en la redacción de un informe técnico detallado donde se explican los principales rasgos geológicos, así como los rasgos geomorfológicos, cobertura del suelo y procesos morfodinámicos.

4.2. GEOLOGÍA

Este capítulo describe las características geológicas regionales y las Unidades Geológicas de ingeniería (UGI) a nivel del área de estudio.

Para realizar el análisis geológico se tienen en cuenta primeramente estudios previos regionales y locales, de entidades oficiales y particulares, dentro de las que se encuentran el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Universidad Industrial de Santander (UIS), la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), como también la Alcaldía de Bucaramanga (Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) y Plan de Ordenamiento territorial (POT)), los cuales permiten conocer la información geológica desarrollada en el área a diferentes escalas, permitiendo la revisión preliminar de estudios generales, como también la estandarización y uso de nomenclaturas para el presente estudio.

Geológicamente la zona más importante del área metropolitana (Bucaramanga) se encuentra ubicada dentro de depósitos de terraza y de cono aluvial (Ward et al., 1973) en la denominada Terraza de Bucaramanga, de edad Pleistoceno-Holoceno. De acuerdo con De porta (1959) y Julivert (1963), la parte inferior de la Terraza de Bucaramanga está compuesta de grava, arena, limo y capas menores arcillosas fluviales; mientras la parte superior está compuesta de cantos no calibrados que se interpretan como depósitos coluviales, los cuales adelgazan lejos del frente montañoso.

4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La zona de Buenavista, localizada al oeste de la ciudad de Bucaramanga, se encuentra dentro del dominio del Macizo de Santander, sobre la Formación Bucaramanga (pEbm), unidad metamórfica de edad Paleozoica inferior que constituye el basamento cristalino regional. Este sector forma parte del flanco occidental de la Cordillera Oriental, donde afloran extensamente rocas de alto grado metamórfico, modeladas por complejos procesos tectono-metamórficos y una prolongada historia de deformación (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

El área de Buenavista corresponde a una zona estructuralmente elevada, con topografía abrupta y laderas disectadas, resultado de la erosión diferencial sobre rocas metamórficas muy competentes. La litología predominante está compuesta por gneises cuarzo-feldespáticos, esquistos micáceos y migmatitas, productos del metamorfismo regional bajo condiciones de facies anfibolita a granulita, lo que indica una evolución geológica de alto grado térmico y presión moderada. Estas características litológicas son herencia directa de la evolución paleozoica temprana del basamento andino, que en el caso de Bucaramanga y su entorno occidental representa uno de los núcleos metamórficos más antiguos de la Cordillera Oriental (Ward et al., (1973)).

La estructura interna del área refleja una intensa deformación dúctil, evidenciada en la foliación bien desarrollada, las lineaciones minerales orientadas y los pliegues apretados en los niveles de gneises y esquistos. Esta organización estructural se relaciona con los eventos de deformación vinculados a la orogenia Famatiniana y posteriores reactivaciones andinas, que afectaron significativamente el basamento paleozoico. Durante el Mesozoico y Cenozoico, el levantamiento de la Cordillera Oriental reactivó sistemas de fallas preexistentes, favoreciendo la exposición de estas rocas metamórficas y su control sobre la morfología actual del relieve (SGC, 2015).

En el contexto tectónico regional, el sector de Buenavista se encuentra próximo a la Falla de Bucaramanga–Santa Marta, una estructura mayor que define el límite entre bloques de diferente comportamiento mecánico. Esta falla ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo estructural del norte de Colombia, funcionando como zona de cizalla profunda y límite tectónico entre los dominios corticales occidental y oriental (Ward et al., (1973)). Su influencia se refleja en el patrón de drenaje, en la orientación de las fracturas secundarias y en la disposición de los afloramientos metamórficos.

La Formación Bucaramanga (pEbm) representa una unidad de rocas metamórficas de alto grado perteneciente al basamento paleozoico de la Cordillera Oriental. Está compuesta principalmente por gneises cuarzo-feldespáticos, esquistos micáceos, anfibolitas y migmatitas, todos ellos resultado de procesos metamórficos regionales profundos. Los gneises muestran una textura bandeada y una foliación bien desarrollada, producto de la recristalización de minerales durante la deformación dúctil.

Las bandas claras, ricas en cuarzo y feldespato, alternan con bandas oscuras compuestas por biotita, hornblenda y, en menor proporción, granate.

Los esquistos asociados presentan un clivaje fino y una composición dominada por mica, cuarzo y feldespato, con presencia local de minerales índice como sillimanita o estaurolita, que indican condiciones de metamorfismo medio a alto. Las migmatitas son comunes en el sector y evidencian procesos de fusión parcial (anatexis) que afectaron al basamento durante los eventos térmicos paleozoicos, dando lugar a texturas irregulares y venas de material leucocrático (Ward et al., (1973)).

Estructuralmente, la unidad pEbm presenta una foliación dominante con rumbo NE–SW y buzamiento variable hacia el sureste, coincidente con el patrón regional del Macizo de Santander. Esta orientación, junto con la presencia de fracturas y pliegues menores, sugiere una evolución tectónica compleja con múltiples fases de deformación superpuestas. Los contactos entre la Formación Bucaramanga y las unidades más jóvenes del Cuaternario (Qtf y Qal) son principalmente erosivos o tectónicos, y marcan una clara discontinuidad litológica y temporal (SGC, 2015).

La unidad pEbm constituye el núcleo estructural más antiguo de la región, sirviendo como soporte geológico para las unidades sedimentarias y cuaternarias circundantes. Su estudio es esencial para comprender la evolución tectono-metamórfica del sector occidental de Bucaramanga y del Macizo de Santander en general. El reconocimiento de estas rocas en superficie, su foliación y su disposición espacial reflejan la influencia directa de los procesos orogénicos paleozoicos y andinos que modelaron la Cordillera Oriental (Ward et al., (1973); SGC, 2015).

Regionalmente la zona de estudio está relacionada a los bloques tectónicos delimitados por la Falla de Suárez al occidente y la Falla Bucaramanga al Oriente (INGEOMINAS, 2007). A continuación, se describen algunas unidades presentes en esta región, tomando como base el estudio de zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (2001):

- **Neis de Bucaramanga (p€b):** Definido por Goldsmith (1971), esta unidad está constituida por una secuencia de roca metasedimentaria de alto grado de metamorfismo conformado principalmente por paragneis pelítico, semipelítico y arenáceo, esquistos y neis calcáreo, mármol, neis horbléndico y anfibolita. El neis incluye dos tipos de zonas de migmatita, una donde el paragneis está mezclado con roca granítica gnéisica y otra donde ambos están cortados por masas pequeñas de granito no foliado (Ward *et al.*, 1973). Aflora al oriente del área metropolitana de Bucaramanga y se localiza al este de la Falla Bucaramanga (Figura 3). Entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta esta unidad presenta variación en la orientación de la foliación, lo cual indica perturbaciones tectónicas severas. Se encuentra en contacto con intrusivos jurásicos graníticos y se considera de edad precámbrica (Ward *et al.*, 1973).
- **Formación Silgará (pDs):** Nombre propuesto por Ward *et al.*, (1973) para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas de estratificación delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará. Las relaciones estratigráficas sugieren que esta unidad suprayace al Neis de Bucaramanga e infrayace rocas del Devónico.

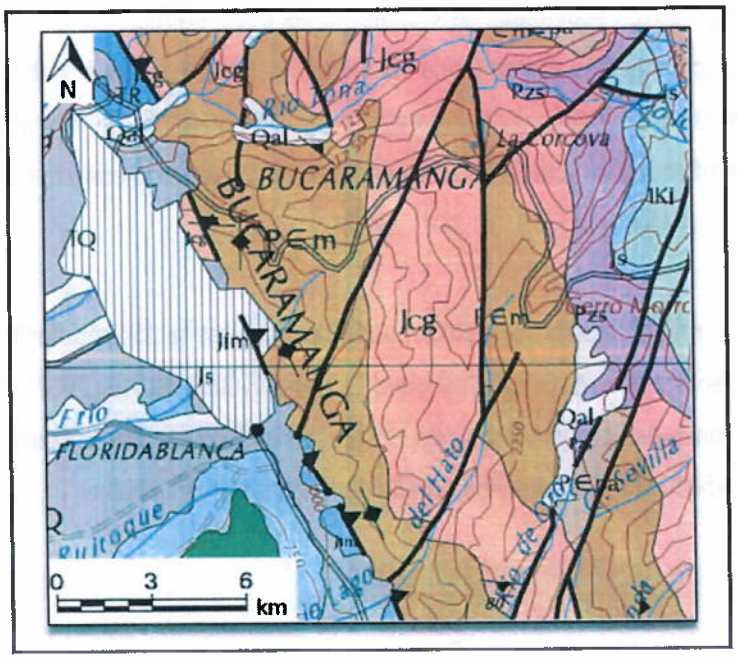


Ilustración 3 Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al este del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

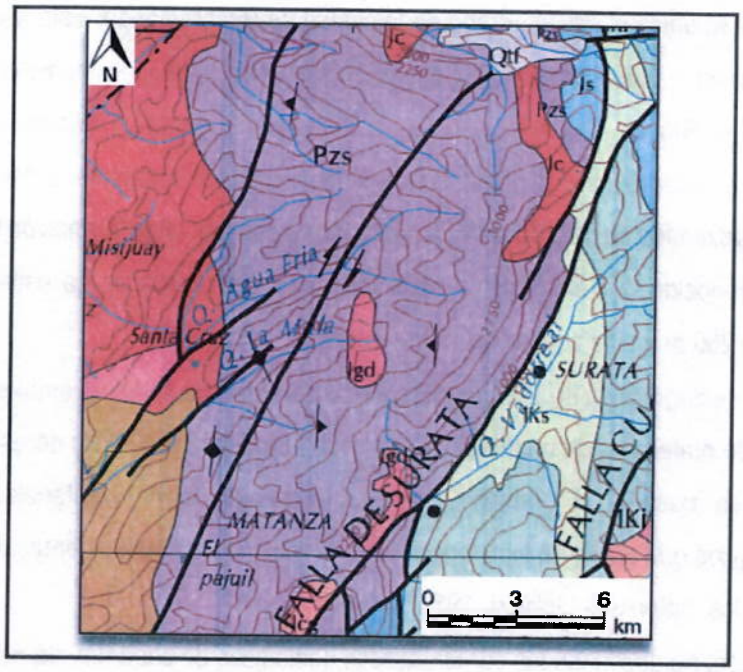


Ilustración 4 Formación Silgará en los alrededores de Matanza y Suratá. Ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 1999).

- **Formación Bucaramanga:** La Formación Bucaramanga hace parte de los depósitos cuaternarios descritos por Ward *et al.*, (1973). Esta unidad inicialmente fue propuesta por Hubach (1951), quien la subdivide en: Miembro Órganos (Qbo) y Miembro Finos (Qbf). Posteriormente De Porta (1959) divide la formación Bucaramanga en tres paquetes: uno inferior conformado por niveles discontinuos de gravas clasto soportados y con lentes arenosos intercalados con un espesor de 150m; un segundo paquete con un espesor de 18m ubicado en la parte superior, compuesto de sedimentos arcillosos y un tercer paquete de 8 a 15 metros de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Sin embargo, después de trabajos de campo detallados el INGEOMINAS subdivide esta unidad en cuatro miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr); de acuerdo con las dataciones publicadas en el proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la edad de la Formación Bucaramanga es menor que 730.000 años (Pleistoceno) (INGEOMINAS, 1997).
- Morfológicamente esta unidad corresponde a un abanico aluvial erosionado posiblemente asociado en gran parte al Río Suratá, acumulado sobre una depresión de origen tectónico,

sobre la cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el Cerro de Palonegro y el Río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque. Presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2° y 7°, y una extensión aproximada de 60 a 80 km². El valor real del espesor de la Formación Bucaramanga es aún desconocido, sin embargo, a partir de cortes geológicos se ha estimado un valor promedio de 250 m en las zonas con mayor espesor.

- El ambiente de deposición de esta unidad ha sido considerado como un ambiente fluvial, con alternancia de materiales de origen aluvial tipo cono de deyección, flujos de escombro, canal y lagunar, en base a la granulometría que presentan dichos materiales, los rasgos geomorfológicos que presenta esta formación, así como los posibles agentes de transporte y la fuente de los materiales (Julivert, 1958).
- A continuación, se describen las características geológicas de cada uno de estos miembros, de acuerdo con la información geológica que se presenta en los estudios del INGEOMINAS (2001).



Ilustración 5 Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al oeste del Municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- Miembro Órganos (Qbo): Esta unidad fue definida por Hubach (1951) y presenta un espesor mayor a 180m, siendo este el más potente de la Formación Bucaramanga. Presenta una serie de niveles polimícticos de fragmentos gruesos de aspecto conglomerático, con alternancia de capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura, según Bueno y Solarte (1994). Los niveles lenticulares descritos por Hubach (1951), algunos son niveles limo-arenosos de hasta 5 m; otros son niveles de aspecto conglomerático que forman los depósitos de gravas y bloques poco consolidados dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 m de diámetro con una composición predominante de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neises micáceos de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los niveles gravosos presentan matriz arcillosa pardo amarillenta y los niveles finos presentan material arcillo arenosos y areno arcilloso de consistencia compacta, con trazas de materia orgánica.

- **Miembro Finos (Qbf):** Este nivel fue reconocido y definido por Hubach (1951). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano- paralelos. Es una capa lenticular horizontal con alternancia de niveles arcillosos, limo-arenosos y areno-limosos, de colores gris verdosos con un espesor promedio de 15m. Estos niveles presentan una geometría tabular de estratificación paralela, cruzada y ondulosa, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm. Hacia la base el Miembro Finos presenta material arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, con gran variación de espesor. Hacia el techo presenta alternancia entre niveles arenolimosos con niveles limo arenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento.

  Geomorfológicamente se caracteriza por presentar escarpes con un grado de alteración moderada de consistencia plástica para el material arcilloso. El ambiente de deposición para este miembro de la Formación Bucaramanga es un ambiente aluvial de intercanales, poco

profundo, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujo de escombros de facies arenosas (INGEOMINAS, 2001).

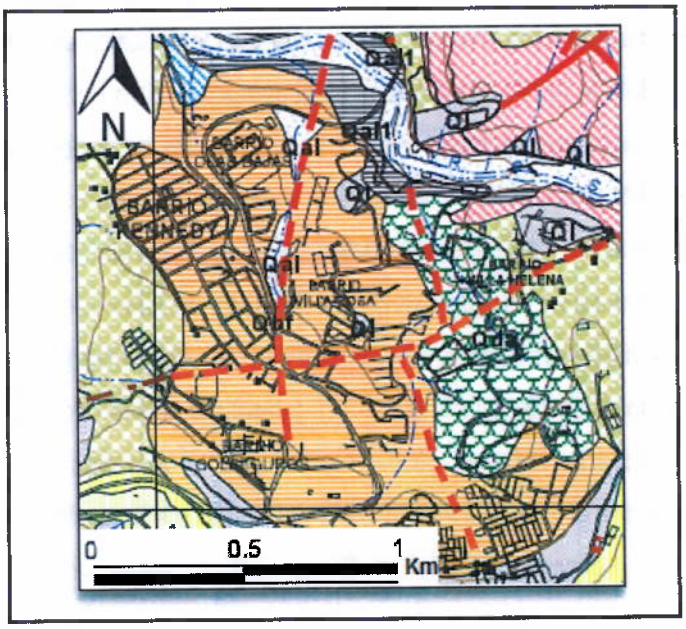


Ilustración 6 Formación Bucaramanga Miembro Finos, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Gravoso (Qbg):** Definido por Niño y Vargas (1992), se encuentra ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga. Conforma los escarpes superiores de la parte alta del barrio La Gran Ladera y el nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Presenta un espesor que varía entre 8 y 30 m. presentando niveles gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos. Los cantos están compuestos por rocas metamórficas e ígneas y sedimentarias tales como areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas. El tamaño grava presenta un diámetro promedio de 15 cm, y predomina sobre bloques de rocas de hasta 80 cm de diámetro. A modo general el Miembro Gravoso es matriz soportado, presentando en sitios puntuales, material clasto soportado. Se encuentra suprayaciendo el Miembro Finos presentando contacto neto, continuo y suavemente onduloso. Infrayace el Miembro Limos Rojos en contacto gradacional (Niño y Vargas, 1992).

Geomorfológicamente es similar al Miembro Órganos en los sectores de los valles de las quebradas. En la parte sur de la Quebrada la Iglesia, su morfología se caracteriza por presentar colinas suaves onduladas y laderas alargadas con un drenaje dendrítico. Estos depósitos presentan un grado de meteorización medio a alto, siendo la parte superficial de este miembro poco compacta y altamente permeable. Su ambiente de deposición es de flujo de escombros (INGEOMINAS, 2001).

- **Miembro Limos Rojos (Qblr):** Nivel definido por Julivert (1963). Se encuentra localizado de forma no uniforme en el sector urbano de Bucaramanga y continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

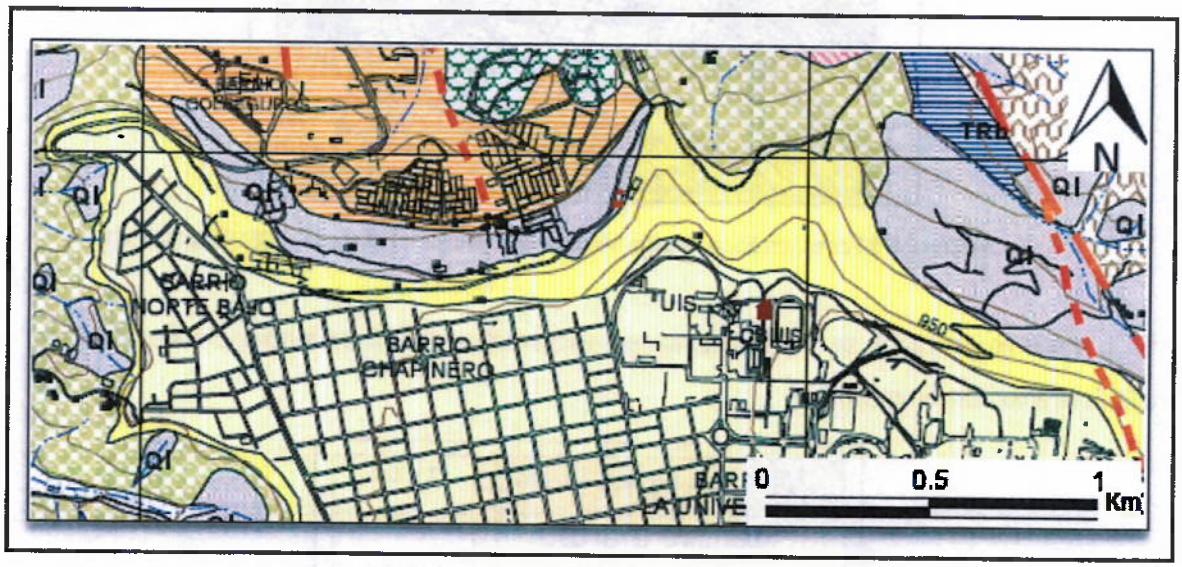


Ilustración 7 Formación Bucaramanga Miembro Gravoso, al norte del municipio de Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

Presenta arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. En algunos sectores se aprecian bloques angulares de arenisca meteorizados, embebidos dentro de limos rojos y se asocian superficialmente a este miembro. Este depósito se encuentra suprayaciendo el Miembro Gravoso en contacto gradacional. La parte más superficial de este miembro presenta un alto grado de meteorización formando niveles de oxidación (INGEOMINAS, 2001). Geomorfológicamente se caracteriza por constituir la parte superficial de la llamada inicialmente "Meseta de Bucaramanga",

presentando una topografía plana con pendientes menores al 7%, de drenaje escaso, paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992).

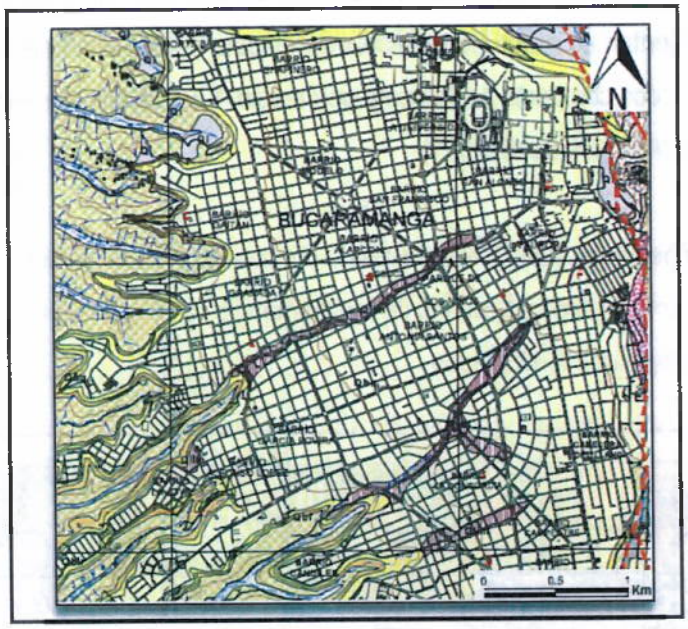


Ilustración 8 Formación Bucaramanga Miembro Limos Rojos (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

En la siguiente ilustracion se muestra de manera esquemática el perfil del subsuelo correspondiente a la Formación Bucaramanga.

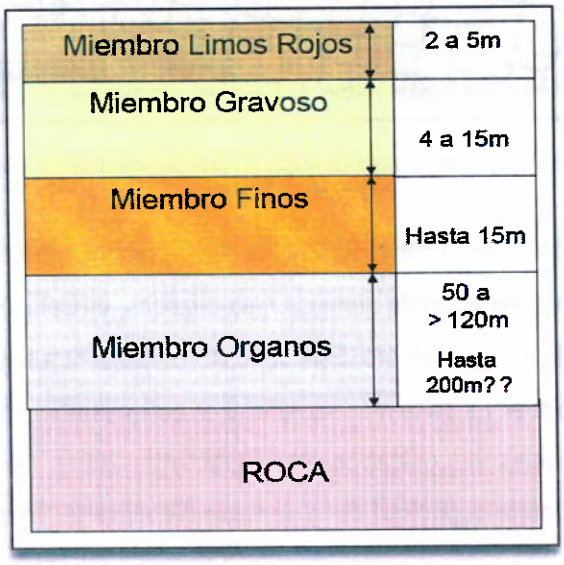


Ilustración 9 Perfil típico y espesores promedio de la Formación Bucaramanga (Tomado de INGEOMINAS, 2001).

4.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS DE INGENIERÍA (UGI)

La caracterización geológica a escala detallada se apoya en la delimitación de Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) (SGC - UNAL, 2016), las cuales permiten agrupar sectores con materiales que presentan comportamiento mecánico y origen geológico similares. Estas unidades constituyen el insumo principal para la evaluación del terreno, ya que facilitan distinguir entre suelos y rocas, reconocer espesores significativos de suelo residual o transportado, y establecer las condiciones estructurales y de meteorización del macizo rocoso.

En el sector Buenavista se registran dos materiales, asociados a un suelo residual natural formado por la meteorización del gneis de la Formación Bucaramanga, con erosión superficial leve y un suelo residual antrópico con escombros presente en las zonas urbanizadas.

SUELO RESIDUAL SOBRE GNEIS CUARZO-FELDESPÁTICO DE LA FORMACIÓN BUCARAMANGA (Srgfb)

Corresponde al material residual desarrollado por meteorización profunda del basamento metamórfico de la formación Bucaramanga, es un suelo arcillo-limoso a arcillo-arenoso, de color pardo amarillento a rojizo y estructura masiva, desarrollados sobre pendientes de 15° a 30°, donde se observan evidencias de erosión laminar leve. La cohesión es baja a media, con comportamiento dúctil en condiciones húmedas.



Ilustración 10 Suelo residual sobre gneis cuarzo-feldespático de la formación Bucaramanga, sector Buenavista

SUELO RESIDUAL ANTRÓPICO LLENO DE ESCOMBROS (Srale)

Esta unidad se localiza en el sector urbanizado del área de estudio, donde el suelo residual, ha sido modificado por cortes, nivelaciones y rellenos para la construcción de vías y viviendas, presentando materiales arcillosos residuales, gravas sueltas, fragmentos de concreto, ladrillo y tierra suelta.

CÓDIGO UGI	UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA	ÁREA HECTÁREAS
Srale	Suelo residual antrópico lleno de escombros	0,62
Srgfb	Suelo residual sobre gneis cuarzo-feldespático de la formación Bucaramanga	0,36

Tabla 4. Clasificación de las unidades geológicas para ingeniería UGI, sector Buenavista



Ilustración 11 Mapa de unidades geológicas para ingeniería UGI, sector Buenavista

4.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

4.3.1. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DE COLOMBIA

Colombia se ubica en la convergencia activa de las placas de Nazca, Caribe y Sudamericana (con influencia del bloque Panamá–Chocó). La placa de Nazca avanza hacia el este (~54 mm/año) y subduce bajo Suramérica, provocando el levantamiento de los Andes y formando las Cordilleras Occidental y Central como arcos volcánicos activos. En cambio, la placa del Caribe se acerca de manera oblicua (≈15 mm/año) por el norte de Colombia, generando fallas de cizalla izquierda de larga extensión (por ejemplo, el sistema Santa Marta–Bucaramanga). Esta dinámica ha dado lugar al denominado Bloque Norte de los Andes, con una compleja red de fallas transversales e inversas que reparte la deformación continental.

El resultado son tres cadenas montañosas principales geológicamente distintas. La Cordillera Occidental y la Cordillera Central son arcos magmáticos meso-cenozoicos (parte del Cinturón de Fuego del Pacífico) asociados directamente a la subducción de Nazca. En cambio, la Cordillera Oriental es un relieve intracontinental plegado, elevado principalmente en el Terciario tardío. Esta cordillera descansa sobre el escudo precámbrico de Guayana (rocas cristalinas de más de 1.300 millones de años) que sirvió como plataforma estable para la sedimentación paleozoica. Sobre dicho basamento se depositaron sedimentos miogeosinclinales (formaciones fluviales y marinas del Paleozoico inferior) que luego fueron plegados y cabalgados durante la orogenia andina terciaria. Como señala Irving (1971), estas tres ramas cordilleranas del norte de Colombia "son geológicamente distintas y se originaron en diferentes épocas".

Además de las cordilleras, en el extremo norte se destaca la Sierra Nevada de Santa Marta, elevada por la colisión oblicua del Caribe, y hacia el este existen cuencas sedimentarias propias de la placa Suramericana (por ejemplo, los Llanos Orientales y la cuenca del Amazonas). En conjunto, el marco tectónico de Colombia es fruto de la continua colisión de placas oceánicas contra el continente, con subducción de Nazca (levantamiento andino) y empuje oblicuo del Caribe (fallas transversales). Este

proceso ha formado las cordilleras andinas y otras estructuras mayores (fosas tectónicas, fallas principales) que siguen activas hoy en día.

4.3.2. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Santander se encuentra principalmente sobre la Cordillera Oriental, dominada por el Macizo de Santander, un bloque montañoso intraplaca de origen paleozoico. En el núcleo del macizo aflora un basamento ígneo-metamórfico muy antiguo: gneises, migmatitas y esquistos de alto grado (la llamada Formación Bucaramanga) de edad Precámbrico-Paleozoico. Estas rocas cristalinas constituyen la parte más rigida y elevada del departamento. Asociados a ellas hay plutones graníticos jurásicos (el Grupo Plutónico de Santander), prueba de un pulso magmático mesozoico durante la apertura de las cuencas.

Alrededor del núcleo metamórfico central afloran secuencias sedimentarias paleozoicas. La Formación Silgará (Ordovícico–Silúrico) consta de filitas, esquistos y mármoles de bajo a medio grado de metamorfismo; fue depósito de un mar antiguo en el borde de la plataforma cratónica. Por encima se ubica la Formación Floresta

(Devónico medio), compuesta de lutitas y calizas fosilíferas de bajo grado metamórfico. Estas rocas sugieren un ambiente marino profundo en el Paleozoico. Al final del Paleozoico, depósitos calizos carbonífero-permicos (Formación Diamante) completan la secuencia antes de un hiato de levantamiento.

En el Mesozoico inferior la región sufrió tectónica extensiva: se formaron grabens donde se depositaron los conglomerados y areniscas rojas triásicas de las Formaciones Jordán y Girón. Luego, en el Cretácico la mayor parte del macizo quedó emergido y erosionado, pero en las cuencas marginales colindantes entró un mar somero. En el valle del Magdalena se acumularon sedimentos cretácicos marinos: arenas cuarzosas (Formación Tambor), calizas fosilíferas (Formación Rosa Blanca) y espesos niveles de lutitas orgánicas (Formaciones Paja, Tablazo, Simití, La Luna, Umir). Estos depósitos marinos cretácicos afloran en los flancos del Macizo de Santander, indicando la amplia

transgresión que cubrió la región. En resumen, el basamento antiguo del macizo fue recubierto lateralmente por arenas, calizas y lutitas del Cretácico.

Con la orogenia andina terciaria se invirtió esta geometría: el Macizo de Santander se alzó como un bloque rígido y sus flancos fueron plegados e invertidos. En particular, la Falla de Bucaramanga (rumbo NNW) es la estructura más importante: marca el límite occidental del macizo y presenta un desplazamiento horizontal (sinestral) seguido de un fuerte levantamiento diferencial hacia el este. Al este del macizo, la falla regional de Servitá delimita cuencas sedimentarias internas (de edad Devónico a Cretácico) que también sufrieron cabalgamientos. Otras fallas menores (por ejemplo, la Falla de Salinas) cortan el triásico y cretácico del oeste, controlando la forma de mesetas y valles internos.

El resultado tectónico actual es un relieve de «horst y graben»: un bloque central alto (el Macizo) rodeado de depresiones y valles rellenos con sedimentos cenozoicos. La erosión en el Pleistoceno también es notoria: se han identificado vestigios de glaciaciones alpinas en las cumbres y amplias terrazas fluviales en los valles. En conjunto, la geología estructural de Santander refleja un viejo basamento metamórfico levantado por fallas andinas y esculpido por la erosión reciente, dando al departamento su relieve abrupto y montaña escarpada característica.

5. GEOMORFOLOGÍA

5.1. MORFOGÉNESIS

La morfogénesis del sector Buenavista, está controlada por la presencia del basamento metamórfico de la Formación Bucaramanga, compuesto por gneises cuarzo-feldespáticos y esquistos micáceos, que han favorecido un modelado erosivo, donde la meteorización generó un manto residual arcillo-arenoso expuesto en las laderas disectadas del sector. El relieve actual responde a la denudación y la disgregación del suelo residual sobre una ladera que mantiene pendientes entre moderadas y abruptas, facilitando el transporte de material fino y la formación de pequeños surcos, así mismo la presencia de superficies convexas y cóncavas, que orienta la escorrentía hacia el eje central del área de estudio. Por otra parte, la intervención antrópica representada en cortes del talud, terrazas, rellenos y viviendas, ha generado planos artificiales que modifican el relieve y producen puntos de concentración de escorrentía, alterando el patrón natural de drenaje.

5.2. MORFOMETRÍA

El análisis morfométrico en este estudio busca comprender cómo la forma del relieve condiciona la estabilidad local. Este enfoque se basa en el uso de tres parámetros ampliamente aceptados en geomorfometría: la pendiente la rugosidad y la curvatura del terreno, que según Wood (1996) y Pike et al. (2009), describen de manera efectiva cómo se organiza el terreno y cómo se distribuyen los procesos superficiales.

5.2.1. PENDIENTES

Las pendientes en el sector de Buenavista fluctúan entre 2° y 55°, evidenciando un relieve variado y condicionado por la erosión natural y por intervenciones urbanas en terrazas irregulares. La franja central del área de estudio concentra valores entre 8 y 16°, laderas clasificadas como moderadamente abruptas, donde el suelo residual arcillo-arenoso permite escorrentía moderada y presenta ligeros indicios de erosión laminar. En los límites oriental y occidental predominan pendientes entre 16° y 35°, propias de laderas abruptas, donde se intensifican los procesos denudacionales y la escorrentía tiende

a concentrarse, especialmente en áreas con cobertura vegetal o presencia de suelo desnudo. Los sectores con pendientes de 35° a 55° corresponden a superficies muy abruptas asociadas a los cortes del talud de corte.

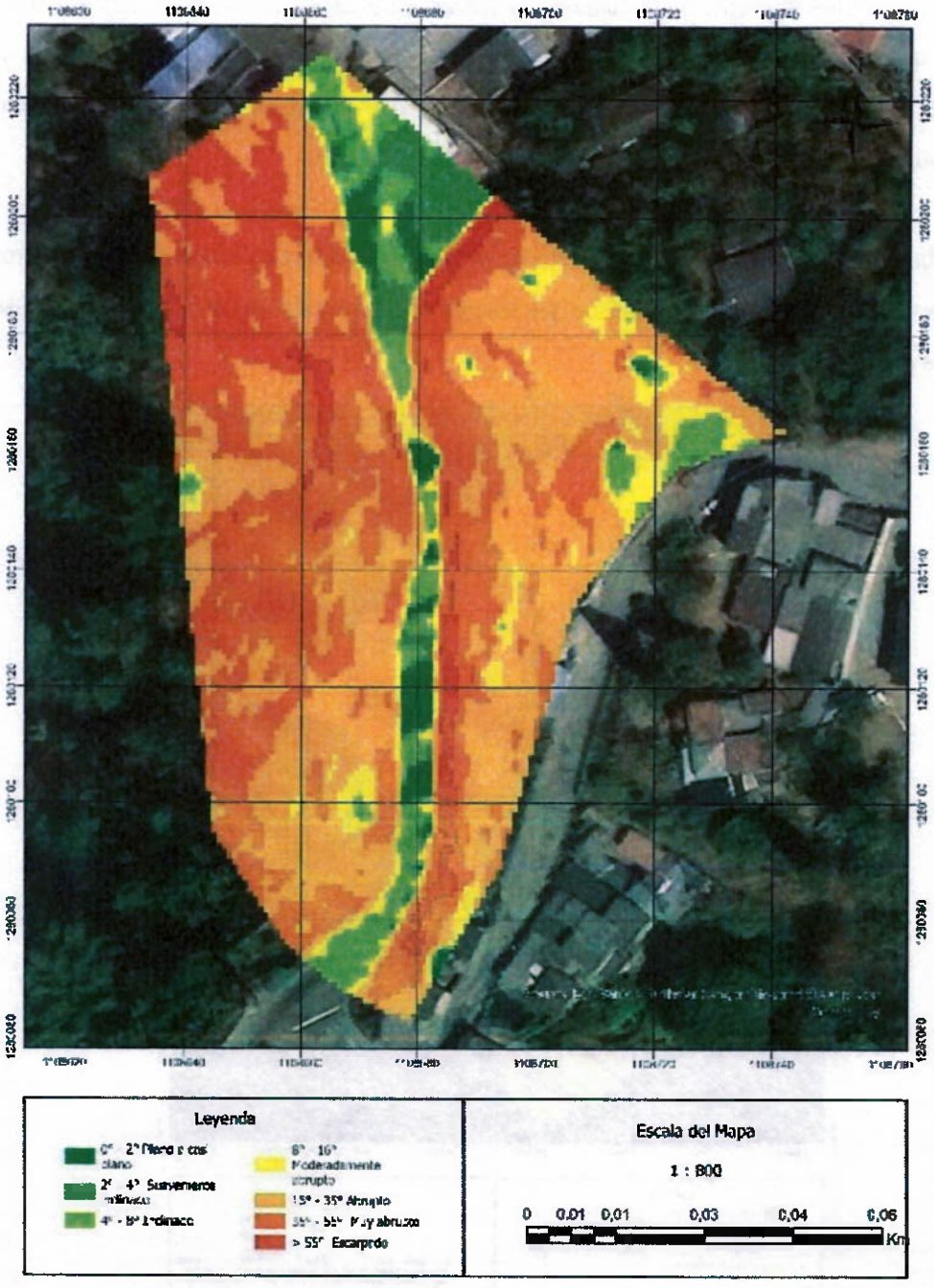


Ilustración 12. Mapa de pendiente del terreno, sector Buenavista

5.2.2. CURVATURA

En el sector de Buenavista la curvatura mayor parte del área, presenta valores cercanos a cero, indicando superficies suavemente onduladas asociadas a pequeñas terrazas y rellenos antrópicos alrededor de las viviendas. En la zona central aparecen franjas continuas de curvatura cóncava, vinculadas a ligeras depresiones y pequeños canales donde se concentra el flujo superficial, favoreciendo mayor humedad y susceptibilidad a erosión en surcos.

Hacia los bordes oriental y sur del área de estudio se observan zonas con curvatura convexa, propias de lomos y taludes ligeramente abombados que dispersan el flujo y aumentan la exposición del suelo a procesos de erosión.

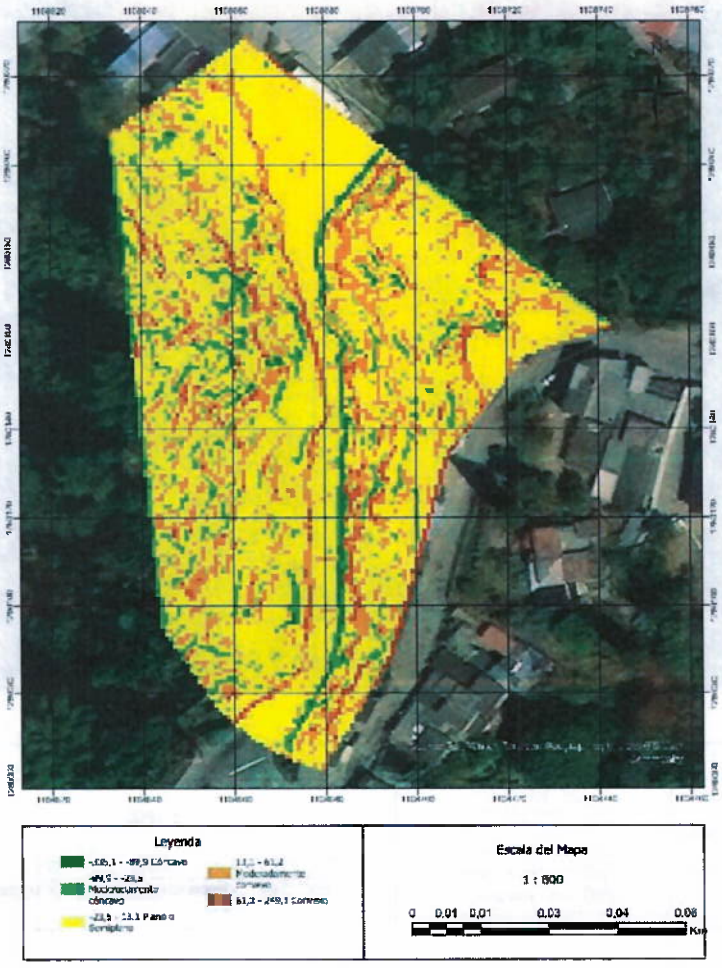


Ilustración 13. Mapa de curvatura del terreno, sector Buenavista

5.2.3. RUGOSIDAD

Para el sector de Buenavista las áreas con rugosidad baja se concentran en la franja oriental y en pequeños sectores cercanos a las viviendas, donde predominan rellenos antrópicos, terrazas niveladas y superficies relativamente uniformes. En contraste, la franja central del sector muestra valores medios a altos topografía más irregular donde se intercalan pequeños lomos, depresiones y variaciones locales del relieve. Esta rugosidad intermedia favorece la infiltración en áreas con vegetación, intensificando la acumulación de humedad en superficies cóncavas.

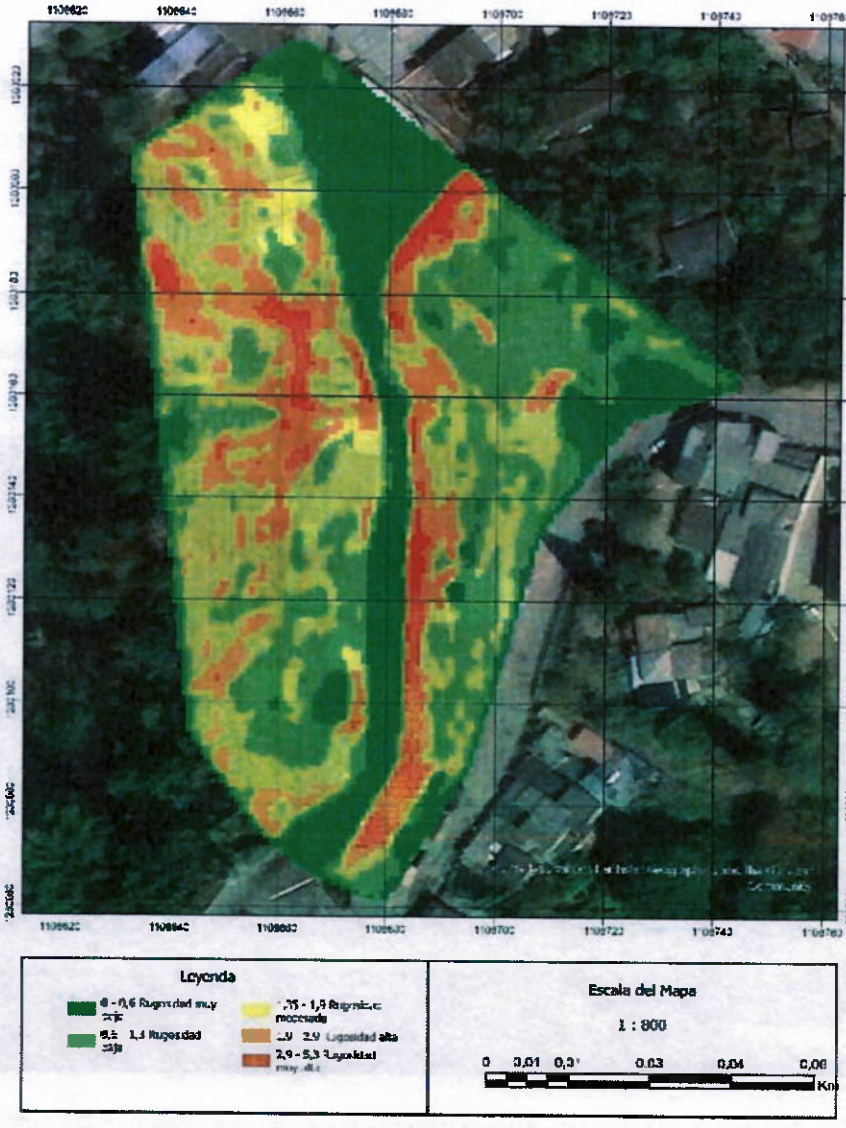


Ilustración 14. Mapa de rugosidad del terreno, sector de Buenavista

5.3. MORFODINÁMICA

La morfodinámica del sector está condicionada por una ladera de pendiente moderada a abrupta desarrollada sobre suelos residuales del basamento metamórfico. Predominan procesos de erosión superficial, evidenciados en pequeños surcos y zonas de acumulación de humedad que se organizan en las franjas cóncavas centrales, mientras los sectores convexos dispersan el flujo y dejan el material más expuesto generando un patrón de drenaje concentrado hacia el eje medio del área de estudio.

Una característica relevante del sector es el talud que bordea la vía principal, el talud corresponde a una superficie con inestabilidad superficial, que se puede estar presentando por pérdida de suelo, saturación o desprendimientos menores.

Las viviendas, rellenos y senderos modifican el relieve generando puntos de concentración de escorrentía. En contraste, las laderas con vegetación secundaria muestran un comportamiento más estable.



Ilustración 15. Ladera muy abrupta con inestablidad y desprendimientos leves de material, sector Buenavista

5.4. ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS

Para la escala detallada empleada en este estudio, los elementos geomorfológicos constituyen la unidad básica de análisis. La clasificación y descripción de estos elementos se realiza siguiendo los lineamientos de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2011), con el fin de caracterizar cada geoforma según su origen, configuración, dimensiones y dinámica actual.

En el sector se identifican laderas con inclinación suave y una ladera muy abrupta marcada por pequeños surcos que concentran la escorrentía y favorecen la erosión, así mismo se encuentran elementos de origen antrópico asociados a cortes y rellenos utilizados para permitir la construcción y el uso urbano del terreno.

5.4.1. GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

LADERA DENUDACIONAL INCLINADA (Dldi)

Corresponde a una ladera con pendientes moderadas, modelada principalmente por procesos de denudación sobre suelos residuales desarrollados a partir del basamento metamórfico. El relieve muestra una combinación de sectores convexos y cóncavos que dirigen la escorrentía hacia el eje central del sector. La cobertura vegetal secundaria aporta estabilidad, aunque se observan puntos localizados de erosión superficial.

LADERA DENUDACIONAL LIGERAMENTE INCLINADA (Dldli)

Superficie de baja a moderada pendiente, con un relieve más suave. La denudación actúa de forma difusa, favoreciendo la continuidad del manto de suelo y el desarrollo de vegetación arbustiva y herbácea. La escorrentía se dispersa y la infiltración aumenta, lo que reduce la erosión.

LADERA DENUDACIONAL DISECTADA MUY ABRUPTA (Dlddma)

Geoforma ubicada en el sector central, donde la pendiente es más elevada y el relieve se encuentra claramente diseccionado por pequeños surcos de erosión. Estas pequeñas depresiones canalizan la escorrentía y concentran el flujo, generando una morfología más irregular. El suelo residual es más susceptible a ligeros deslizamientos superficiales.



Ilustración 16. Ladera disectada muy abrupta en el sector de Buenavista al costado de la vía principal.

5.4.2. GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO

PLANOS Y CAMPOS DE RELLENOS ANTRÓPICOS (Apcra)

Corresponden a superficies artificiales asociadas a ocupación urbana y rellenos generados para soportar viviendas y adecuaciones del terreno en el sector Buenavista. Presentan, cortes verticales, taludes y zonas con material de relleno antrópico.



Ilustración 17. Laderas asociadas a construcciones conforma los elementos geomorfológicos de origen antrópico del sector Buenavista

CÓDIGO EGMF	ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS	ÁREA HECTÁREAS
Aplla	Planos y campos de llenos antrópicos	0,57
Dldi	Ladera denudacional inclinada	0,25
Dldli	Ladera denudacional ligeramente inclinada	0,085
Dlddma	Ladera denudacional disectada muy abrupta	0,076

Tabla 5. Clasificación de los elementos geomorfológicos del sector Buenavista

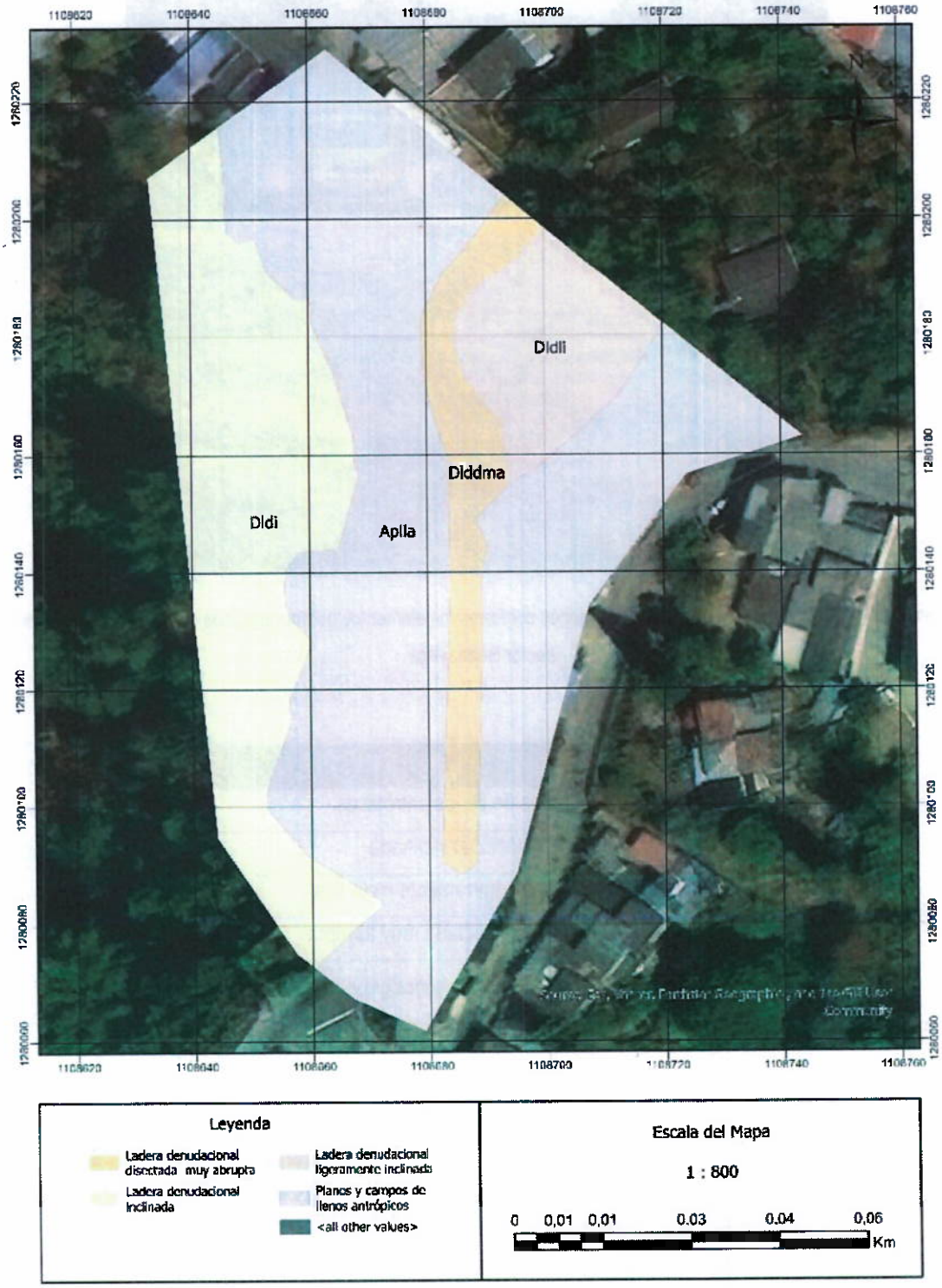


Ilustración 18 Mapa de elementos geomorfológicos, sector Buenavista

6. COBERTURA DEL SUELO

El análisis de coberturas del suelo permite identificar los tipos de uso y vegetación presentes en el área de estudio, así como su relación con la dinámica del terreno y las condiciones de estabilidad local, reflejando el grado de intervención antrópica, la continuidad de la vegetación y la capacidad del terreno para protegerse frente a la erosión y la escorrentía.

6.1. TEJIDO URBANO CONTINUO – VIVIENDAS (Tucv)

Esta cobertura reúne las viviendas construidas. La presencia continua de edificaciones hace que el suelo tenga muy poca capacidad de infiltrar agua, lo que favorece que la escorrentía superficial se dirija directamente hacia la vía o hacia los bordes de la ladera. Es un sector fuertemente intervenido donde el relieve natural ha sido modificado por las construcciones.

6.2. TEJIDO URBANO CONTINUO – CENTRO DEPORTIVO (Tuccd)

Corresponde al pequeño centro deportivo del sector, que incluye áreas pavimentadas y edificadas para uso comunitario. Al igual que las viviendas, se trata de una zona completamente intervenida, donde el terreno original fue nivelado o rellanado para permitir su uso.

6.3. RED VIAL URBANA (Rvu)

Es la vía principal que atraviesa Buenavista. Está pavimentada y canaliza gran parte del agua que baja por la ladera. En varios tramos actúa como un colector de escorrentía, lo que genera acumulaciones puntuales y erosión en los bordes



Ilustración 19. Red vial urbana del sector Buenavista

6.4. HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME ARBOLADO (Hdtfa)

Se trata de zonas con abundante vegetación, donde predominan pastos altos mezclados con arbustos y algunos árboles jóvenes. Esta cobertura aparece en los márgenes del área urbanizada y sobre la ladera menos intervenida. La vegetación ayuda a retener el suelo, reduce la erosión y regula el paso del agua.

CÓDIGO COBERTURA	COBERTURA DEL SUELO	ÁREA HECTÁREAS
Tucv	Tejido urbano continuo viviendas	0,43
Hdtfa	Herbazal Densos de Tierra firme arbolado	0,42
Rvu	Red vial urbana	0,113
Tuccd	Tejido urbano continuo centro deportivo	0,021

Tabla 6. Clasificación de las coberturas del suelo, sector Buenavista



Ilustración 20. Mapa de la cobertura del suelo sector Buenavista

7. EVALUACION HIDROLOGÍCA - SECTOR BUENAVISTA

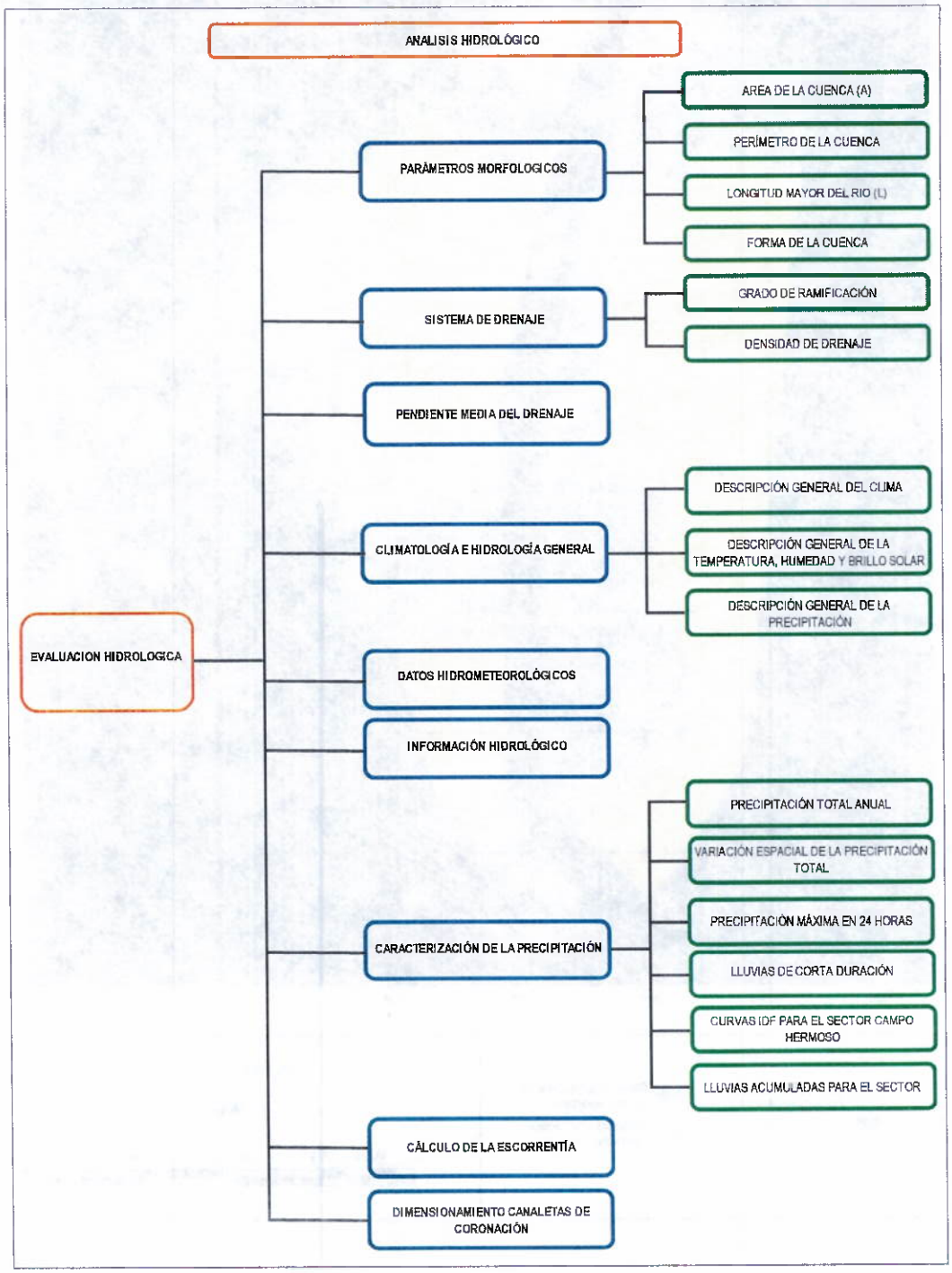


Tabla 7. Contenido Hidrología



Ilustración 21 Delimitación de la quebrada ID2502409 influencia del sector Buenavista

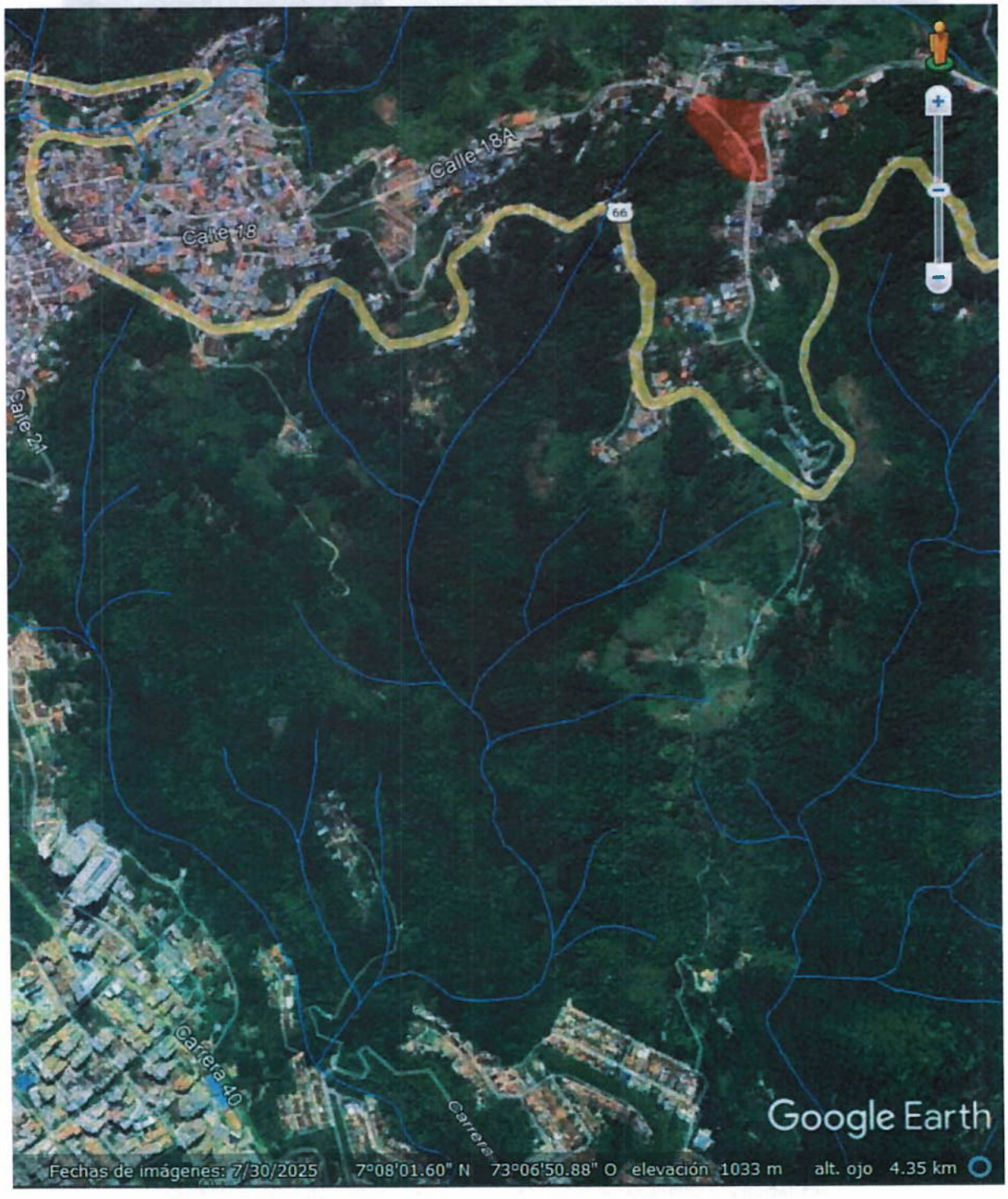


Ilustración 22 Ubicación Área de Estudio respecto a la Quebrada ID2502409 – Sector Buenavista

El lugar de estudio hace parte de la cuenca de la quebrada ID2502409, la cual se encuentra al occidente de la zona de estudio y se comunica al sector por un área de drenaje desde las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA - SANTANDER y por el cual corren aguas de escorrentía.

7.1. PARAMETROS MORFOLOGICOS

El relieve del ámbito de las cuencas en estudio es típicamente montañoso y propia de la zona fisiográficamente del paisaje es ondulado a plano, con relación al a vegetación, la zona tiene una densa cobertura de plantas a lo largo de la orilla de la quebrada compuesta por especies autóctonas de zonas tropicales. En este aspecto, se elaboró un marco teórico y el cálculo de los principales parámetros geomorfológicos en el área del proyecto de la microcuenca relacionado a su capacidad de respuesta a la precipitación en forma de escorrentía, estos parámetros incluyen área, perímetro, longitud del cauce principal, ancho promedio, coeficiente de compacidad, factor de forma, grado de ramificación, densidad de drenaje y pendiente Media.

7.1.1. AREA DE LA CUENCA (A)

La superficie de la cuenca delimitada por el divisor topográfico corresponde a la superficie de la misma proyectada en un plano horizontal, y su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos fluviales y sobre la amplitud de las fluctuaciones.

7.1.2. PERÍMETRO DE LA CUENCA

El perímetro de la cuenca está definido por la longitud de la línea de división de aguas (Divortium Aquarium).

7.1.3. LONGITUD MAYOR DEL RIO (L)

Recibe este nombre, el mayor cauce longitudinal que tiene una cuenca determinada, es decir, el mayor recorrido que realiza el río desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo de interés, que puede ser una desembocadura.

7.1.4. FORMA DE LA CUENCA

Es la que determina la distribución de las descargas de agua a lo largo del curso principal o cursos principales, y es en gran parte responsable de las características de las crecientes que se presentan en la cuenca. Es expresada por parámetros, tales como el Ancho Promedio, Coeficiente de Compacidad y el Factor de forma.

ANCHO PROMEDIO

Es la relación entre el área de la cuenca y la longitud mayor del curso del río, la expresión es la siguiente:

PARÁMETROS FORMA DE LA CUENCA			
ANCHO PROMEDIO			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**FORMULA**
ANCHO PROMEDIO DE LA CUENCA	KM	Ap	$Ap = A/L$
AREA DE LA CUENCA	KM^2	A	
LONGITUD MAYOR CAUCE DEL AFLUENTE	KM	L	

COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)

O índice de Gravelius, constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área - igual a la de un círculo - es equivalente al área de la cuenca en estudio. Su fórmula es la siguiente:

PARÁMETROS FORMA DE LA CUENCA			
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIGLA	EXPRESIÓN
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	KM/KM^2	Kc	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{P * A}}$ ó $kc = 0.28\frac{P}{\sqrt{A}}$
PERÍMETRO DE LA CUENCA	KM	P	
ÁREA DE LA CUENCA	KM^2	A	

Una cuenca se aproximará a una forma circular cuando el valor Kc se acerque a la unidad, Cuando se aleja de la unidad, presente una relación irregular con relación al círculo. Si este coeficiente fuera igual a la unidad, significa que habrá mayores oportunidades decrecientes debido a que los tiempos de Concentración, Tc (duración necesaria para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de aquella llegue a la salida o desembocadura), de los diferentes puntos de la cuenca serían iguales. De igual modo, cuanto mayor sea el valor de Kc, también será mayor el tiempo de concentración de las aguas y. por tanto, estará menos propensa a una inundación. Generalmente en cuencas muy alargadas el valor de Kc, es mayor que 2. Un valor de Kc, menor que 1 nos indica una cuenca de forma circular, siguiendo el desarrollo de su curso principal, debiendo estar más expuesta a las crecientes que una cuenca de forma redondeada.

FACTOR DE FORMA (Ft)

Es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia a crecientes de una cuenca. Es la relación entre el ancho promedio de la cuenca (Ap) y la longitud del curso de agua más largo (L).

La expresión es la siguiente:

PARÁMETROS FORMA DE LA CUENCA			
FACTOR DE FORMA (Ft)			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIGLA	EXPRESIÓN
FACTOR DE FORMA		Ft	$Ft = \frac{Ap}{L}$
AREA DE LA CUENCA	KM^2	A	
LONGITUD DEL CURSO MÁS LARGO	KM	L	

Una cuenca con Factor de Forma bajo, está sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño, pero con un Factor de Forma mayor. Este valor es adimensional.

7.2. SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de drenaje de una cuenca está conformado por un curso de agua principal y sus tributarios: observándose por lo general, que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más llena de bifurcaciones será la red de drenaje. Con la finalidad de determinar las características de dicha red, se definen los siguientes índices:

GRADO DE RAMIFICACIÓN

Para definir el grado de ramificación de un curso de agua principal (Según Horton), se ha considerado el número de bifurcaciones que presentan sus tributarios, asignándole un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde el curso principal hasta el encuentro con la divisoria de la cuenca.

DENSIDAD DEL DRENAJE

Indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (Li) y el área total de la misma (A). Valores altos de densidad refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación, es decir que las precipitaciones influirán inmediatamente sobre las descargas de los ríos (Tiempos de Concentración cortos). Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. Una baja densidad de drenaje es favorecida en regiones donde el material del subsuelo es altamente resistente bajo una cubierta de vegetación muy densa y de relieve plano. La densidad de drenaje tiende a uno en ciertas regiones desérticas de topografía plana y terrenos arenosos, y a un valor alto en regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables. Esta última situación es la más favorable, pues si una cuenca posee una red de drenaje bien desarrollada, la extensión media de los terrenos a través de los cuales se produce el escurrimiento superficial es corto y el tiempo en alcanzar los cursos de agua también será corto; por consiguiente, la intensidad de las

precipitaciones influirá inmediatamente sobre el volumen de las descargas de los ríos. La expresión es la siguiente:

SISTEMA DE DRENAJE			
DENSIDAD DE DRENAJE			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
DENSIDAD DE DRENAJE	KM/KM^2	Dd	$Dd = \frac{Li}{A}$
LONGITUD TOTAL DE LOS CURSOS DE AGUA	KM	Li	
AREA DE LA CUENCA	KM^2	A	

Monsalve, refiere que Dd usualmente toma los siguientes valores:

Entre 0.5 Km/Km2 para hoyas con drenaje pobre. Hasta 3.5 Km/Km2 para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

7.3. PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales escurre con una velocidad que depende directamente de la declividad de éstos, así a mayor declividad habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente Media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de un curso de agua entre dos puntos. Se determina mediante la siguiente expresión:

PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE		
DESCRIPCIÓN	**SIGLA**	EXPRESIÓN
PENDIENTE MEDIA DEL RIO	Ic	$Ic = \frac{HM - Hm}{1000 * L}$
LONGITUD DEL RIO	L	
ALTITUD MÁXIMA Y MÍNIMA DEL LECHO DEL RIO, REFERIDAS AL NIVEL MEDIO DE LAS AGUAS DEL MAR	HM y Hm	

SECTOR BUENAVISTA - QUEBRADA ID2502409		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MEDIDA
PERÍMETRO	M	4948
ÁREA	M^2	788456
LONGITUD	M	2095

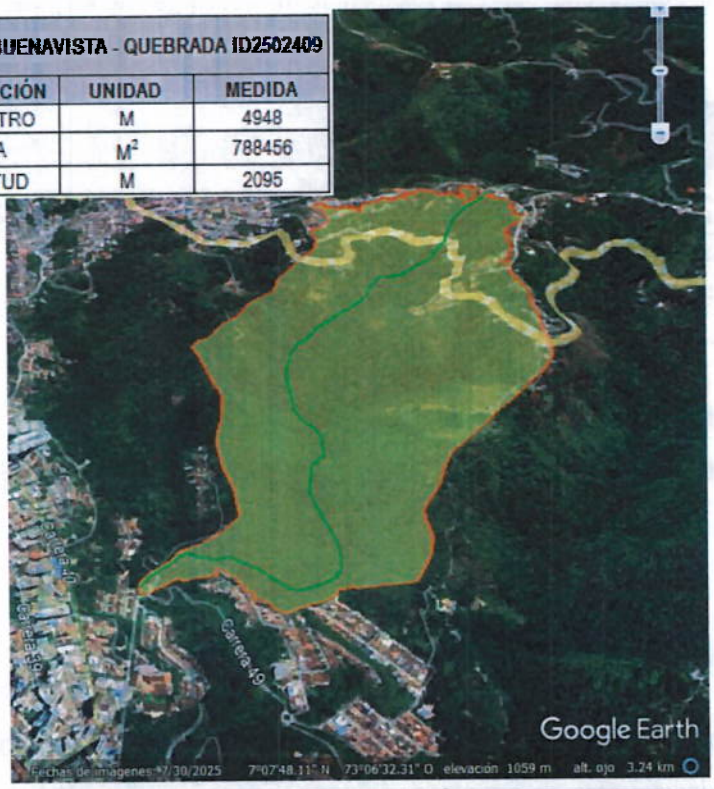




Ilustración 23 Microcuenca ID2502409

CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA	DATOS	UNIDAD	PARAMETROS MORFOLOGICOS DE LA MICROCUENCA QUEBRADA ID2502409 SECTOR BUENAVISTA
AREA		Km²	0,79
COTA SUP.		msnm	1345
COTA INF.		msnm	1004
LOG. CAUCE		km	2,10
PERIMETRO		km	4,95
ANCHO PROMEDIO		km	0,376
COEF. COMPACIDAD		km/km²	0,700885516
FACTOR DE FORMA			0,179138322
DENSIDAD DE DRENAJE		km/km²	2,658227848
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE		%	16,23809524
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE		m/Km	162,3809524
PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE		m/m	0,162380952

Tabla 8. Parámetros morfológicos de la microcuenca

7.4. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

7.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CLIMA

Para la identificación del clima, se utilizan los parámetros presentados por el IDEAM para la ciudad de Bucaramanga a nivel mensual y se aplican al sector desde las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA - SANTANDER

MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACION	52.40	70.80	131.90	152.90	123.50	89.00	84.40	91.80	92.60	157.00	110.90	57.90
No. DE DIAS	8.00	9.00	14.00	18.00	19.00	17.00	18.00	20.00	18.00	20.00	14.00	9.00
T. MAX. ABS	29.20	30.50	29.60	29.00	29.00	29.20	29.00	30.20	29.40	28.80	29.00	28.40
T. MIN. ABS	15.00	15.40	15.60	16.70	16.60	15.60	14.20	12.40	15.50	13.00	15.80	15.60
T. MAX. MED.	27.30	27.60	27.90	27.50	27.60	27.60	27.60	28.20	28.00	27.60	26.90	26.90
TEMPERATURA	21.10	21.40	21.60	21.40	21.30	21.30	21.30	21.30	21.10	20.60	20.70	20.70
T. MIN. MED.	16.70	16.90	16.90	17.20	17.30	17.00	16.60	16.40	16.50	16.30	17.00	16.80
HUMEDAD	82.00	83.00	84.00	87.00	88.00	87.00	85.00	84.00	86.00	89.00	90.00	88.00
BRILLO	216.40	163.10	149.10	132.70	152.10	142.60	172.20	155.70	153.70	145.40	148.10	188.60
EVAPORACIÓN	135.50	128.70	135.20	117.80	122.50	110.40	124.00	121.80	121.10	115.70	127.70	116.50
NUBOSIDAD	4.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.00

Tabla 9. Principales Parámetros meteorológicos promedios mensuales anuales

Además, de la red de estaciones consultada como se observa en la tabla 6 Inventario de estaciones en el área Metropolitana de Bucaramanga, con información hidrometeorológica que fue referida en el estudio regional, de las 20 estaciones seleccionadas pertenecientes a la CDMB y el IDEAM y con las cuales se realizó el respectivo análisis espacial y temporal de la lluvia se destaca cinco estaciones con las cuales se realizó el respectivo análisis espacial y temporal de la lluvia que corresponden a las estaciones de Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Aeropuerto Palonegro, CDMB y la Flora, se Destaca la estación CDMB como la más cercana al sector en estudio. En la siguiente tabla se presentan las estaciones IDEAM que se encuentran activas, involucradas en el análisis espacial y temporal de la lluvia, cercanas a las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER.

No.	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	MUNICIPIO	CORRIENTE	INSTALADA	TIPO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	ELEVACIÓN (M.S.N.M)
1	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	SURATÁ	1/10/1988	PG	1106527	1278528	1025
2	UIS	BUCARAMANGA	TONA	1/01/1957	CP	1108365	1280375	1018
3	FLORESTA LA	FLORIDABLANCA	Q LA IGLESIA	1/06/1978	PG	1104693	1274837	925
13	CDMB	BUCARAMANGA	DE ORO	1/01/1979	PG	1105857	1279071	950
14	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	FRIO	10/01/1982	PG	1106399	12773072	940
17	LA FLORA	BUCARAMANGA	SURATÁ	1/01/1979	PG	1107543	1280894	1100
19	PTAR	GIRÓN	FRIO	8/01/1985	CO	1102856	1272989	758

Tabla 10. Inventario de estaciones IDEAM no suspendidas – Departamento de Santander, de influencia en el sector Buenavista.

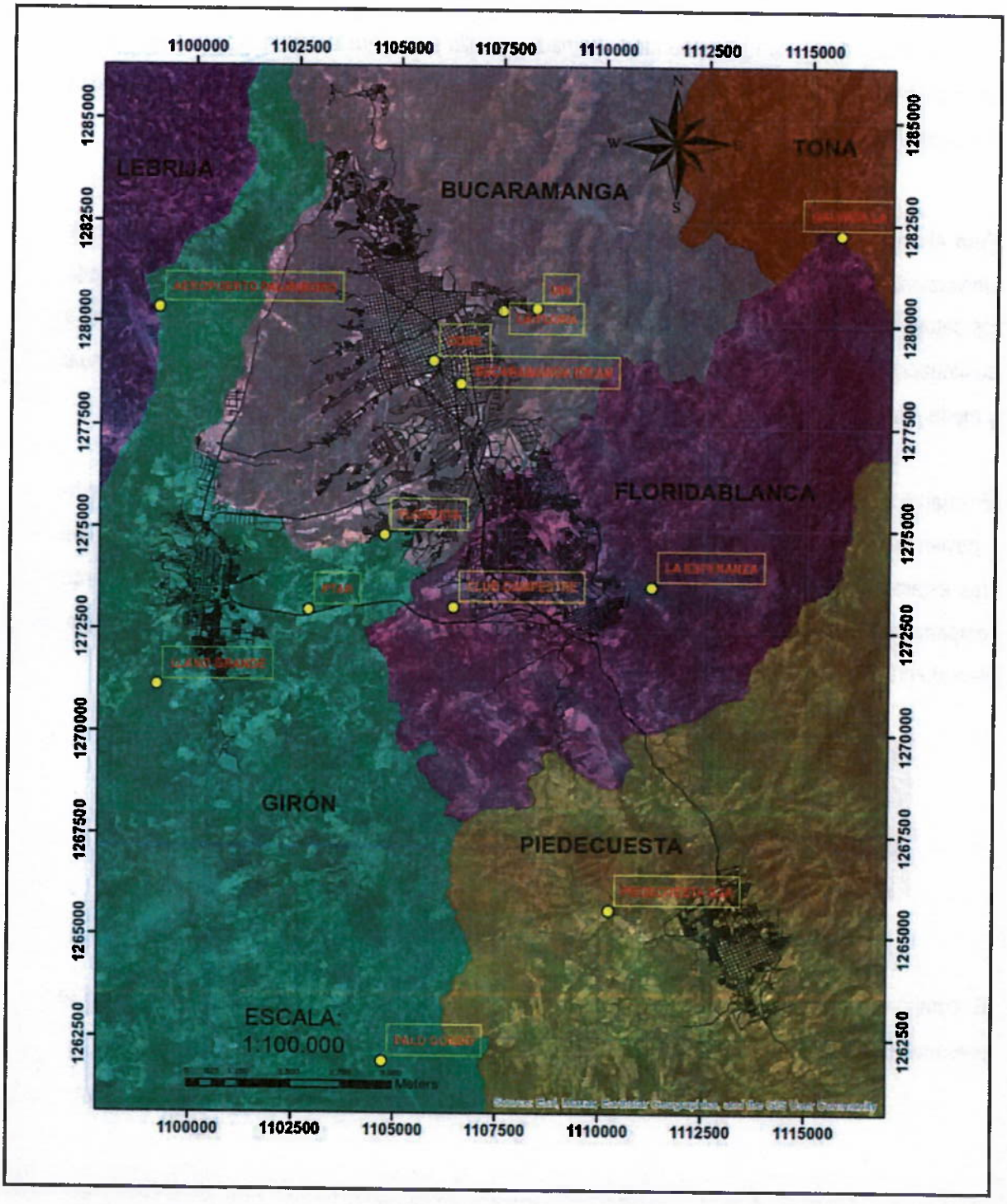


Ilustración 24 Localización estaciones Hidroclimatológicas aferentes al área metropolitana de Bucaramanga

7.4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD Y BRILLO SOLAR

En lo correspondiente con la temperatura, humedad y brillo solar para la región existen 4 estaciones climatológicas de las cuales tres son las aferentes al área de estudio, estas son: Estación Universidad Industrial de Santander, Estación Llano Grande y Estación Aeropuerto Palonegro.

Para el análisis de variables del clima en el sector, la estación más próxima es la ubicada en la Universidad Industrial de Santander, la cual es operada por el IDEAM y fue instalada en 1957, tomando los datos de los análisis (bases tomadas para este estudio de INGEOMINAS (2008)). Se observan a continuación los histogramas y temperatura, humedad relativa y brillo solar de forma anual multianual y meda, máxima y mínima mensual multianual de las estaciones referidas.

En cuanto a la temperatura se destaca que los meses con menor temperatura promedio son octubre y noviembre y los de mayor temperatura promedio son marzo y abril coincidiendo este período en las tres estaciones de medición que se muestran en la Tabla siguiente, que presenta la relación de temperatura media, máxima y mínima en las estaciones Llano Grande, UIS, Aeropuerto Palonegro. Periodo (1975 – 2005) tomada de Ingeominas.

ESTACIÓN	ALTURA (MSNM)	TEMPERATURA (°C)		
		MEDIA	MÁXIMA	MÍNIMA
LLANO GRANDE	777,00	25,10	27,30	21,60
UIS	1018,00	23,00	24,90	28,80
AEROPUERTO PALO NEGRO	1190,00	21,30	23,20	19,20

Tabla 11. Relación de temperatura del periodo (1975 – 2005)

El comportamiento temporal de la temperatura obtenida de los registros de la estación UIS, se presenta en la siguiente ilustración.

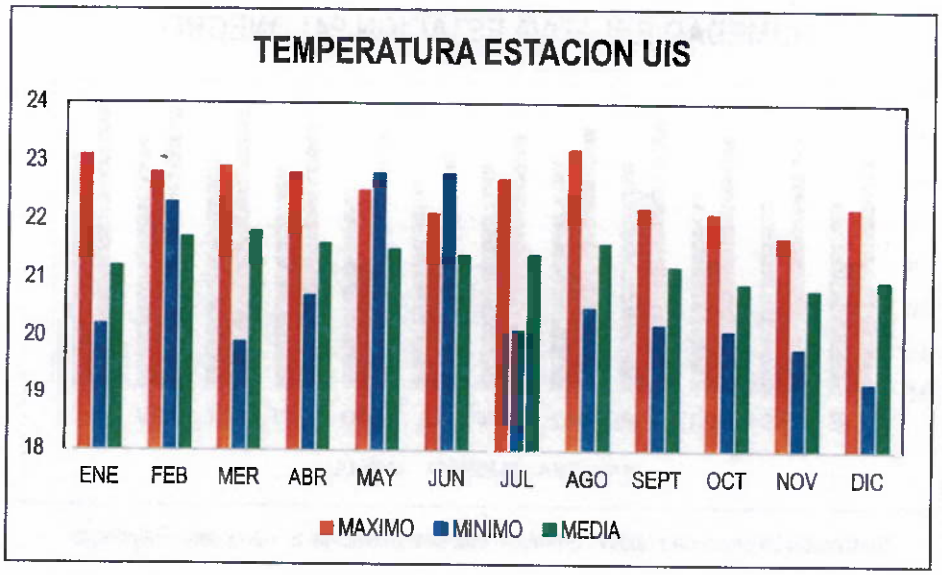


Ilustración 25 Temperatura media mensual multianual estación UIS (1975 – 2005)

En cuanto a la humedad relativa (%) promedio se establece que los valores en la estación Aeropuerto Palonegro (1975-2005) en general son mayores comparadas con la de las estaciones UIS y Llano Grande y que los mayores valores de humedad relativa coinciden con aquellos periodos lluviosos de la zona norte de la ciudad de Bucaramanga, siendo los meses de abril, mayo, octubre y noviembre aquellos con mayor magnitud. Gráficamente el comportamiento temporal de la humedad relativa (%) promedio de la Estación Aeropuerto Palonegro, se presenta en la siguiente ilustración.

Finalmente, en cuanto a brillo solar se refiere, las estaciones con mayor periodo de registros son UIS y Aeropuerto Palonegro aunque se toma esta última como referencia, mostrando los meses con mayor número de horas de brillo solar, los cuales son diciembre y enero en comparación con los meses de abril, mayo y junio donde es menor su número.

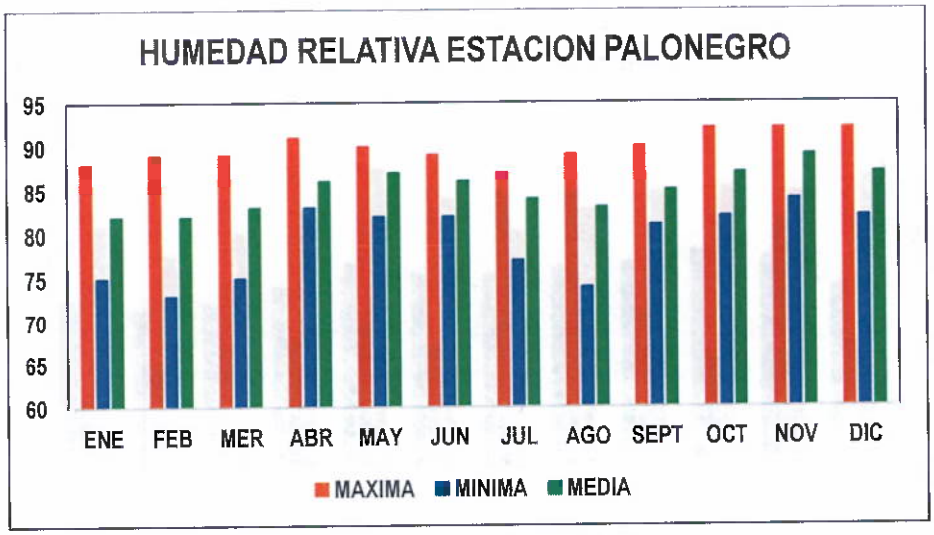


Ilustración 26 Humedad relativa promedio mensual multianual E. Aeropuerto Palonegro

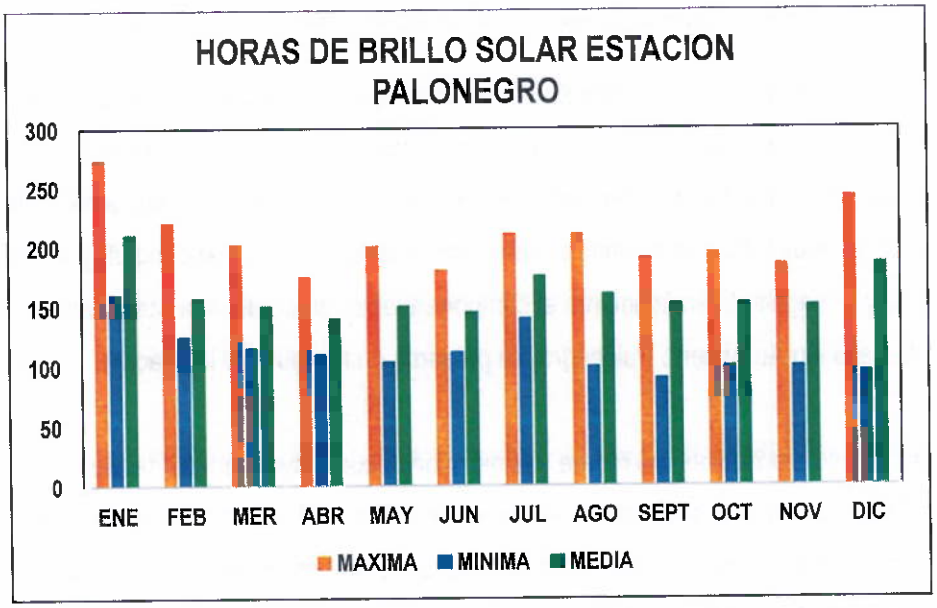


Ilustración 27 Brillo solar mensual multianual estación Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)

7.4.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es de gran importancia en los análisis de amenaza que se realizarán en el área de estudio. Además, al ser un análisis detallado, es necesario determinar la incidencia de la precipitación sobre el terreno en términos de escorrentía y establecer las posibles obras requeridas.

Los eventos extremos de precipitación registrados en las estaciones seleccionadas dentro de los estudios de INGEOMINAS 2008 fueron relevantes, toda vez que eventos extremos de lluvia son considerados dentro de los análisis de amenazas como factores detonantes de movimientos en masa, como el acontecido el día 12 de febrero de 2005, con gran afectación en los municipios de Girón y Bucaramanga.

A partir de los datos de precipitación entre los años 1985 y 2005 de las diferentes estaciones seleccionadas, se generaron los histogramas para las estaciones como se presenta en la Ilustración 16 de forma particular para la estación Aeropuerto Palonegro (1975-2005).

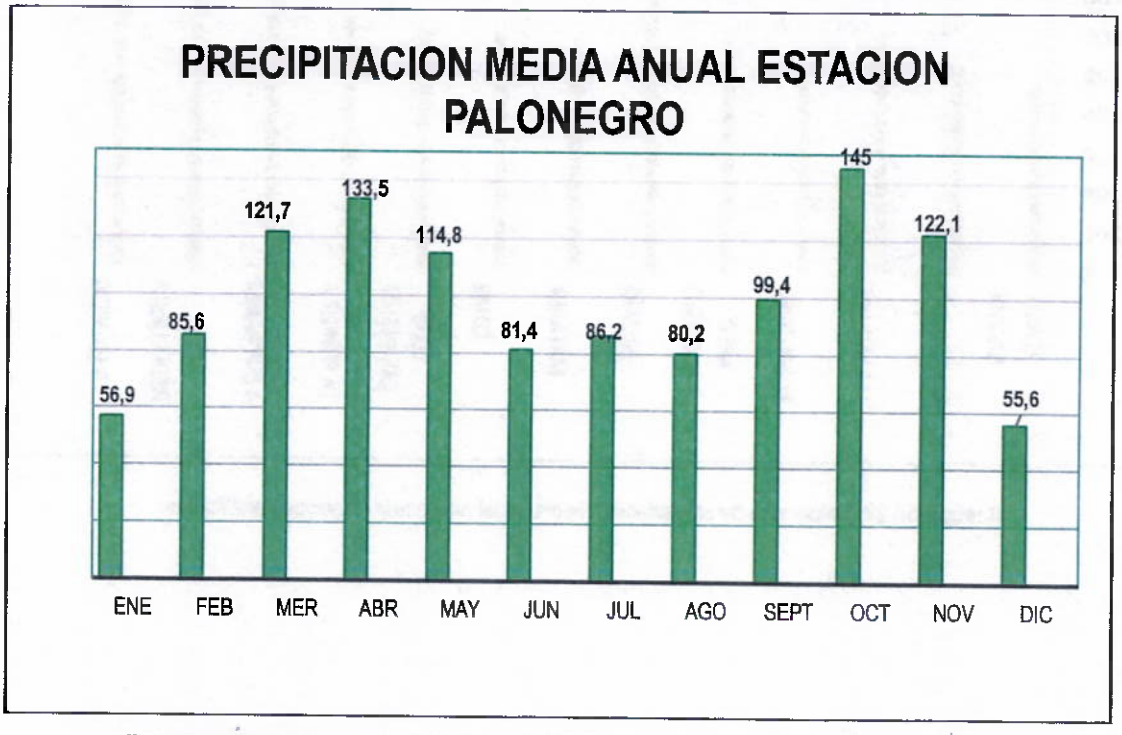


Ilustración 28 Precipitación media mensual multianual Aeropuerto Palonegro (1975 – 2005)

De la anterior grafica se puede deducir que el régimen de precipitación en la estación es bimodal con picos en los meses de abril y octubre del orden de 130 y 145 mm respectivamente, y dos meses de menor precipitación del orden de los 55 mm en diciembre y enero.

Comparando las precipitaciones anuales registradas en las estaciones seleccionadas dentro del estudio de INGEOMINAS 2008, puede apreciarse la relación entre la magnitud anual y la zona como se ilustra en la siguiente ilustración.

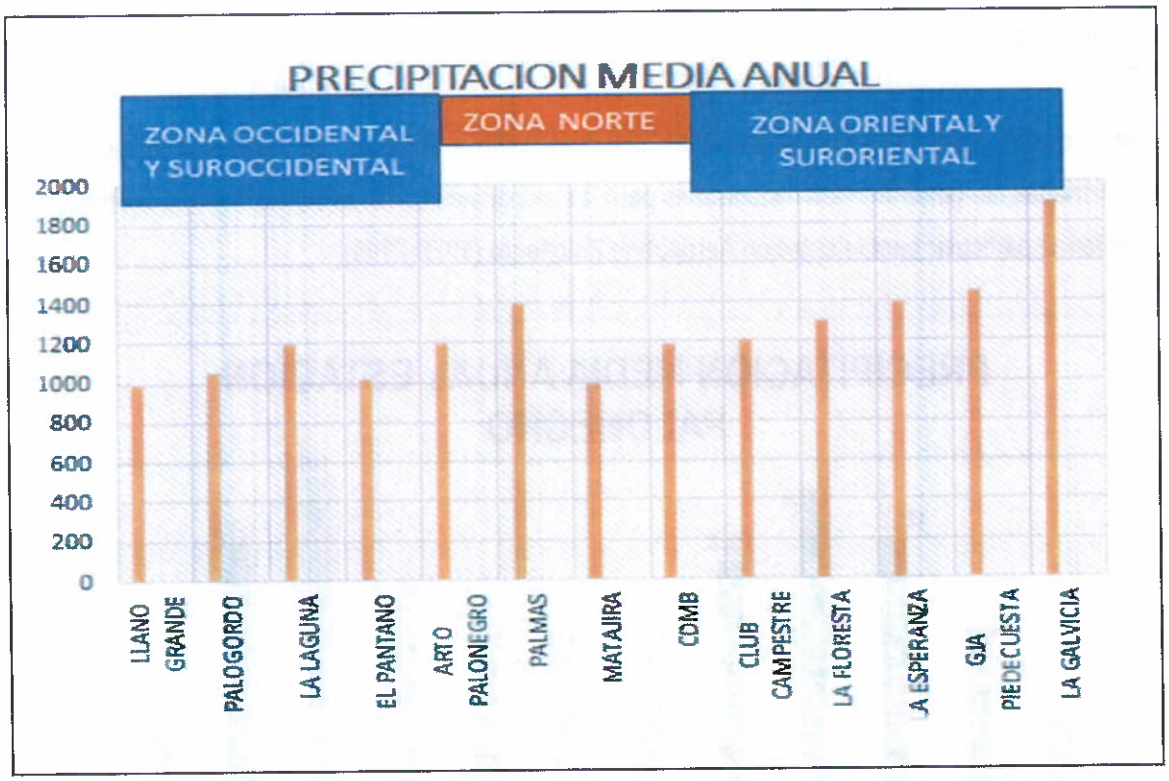


Ilustración 29 Histograma de precipitación media anual multianual estaciones analizadas

A continuación, se presenta el mapa de isoyetas y la distribución de la precipitación anual para la zona Norte de Bucaramanga. (Fuente: INGEOMINAS 2008)

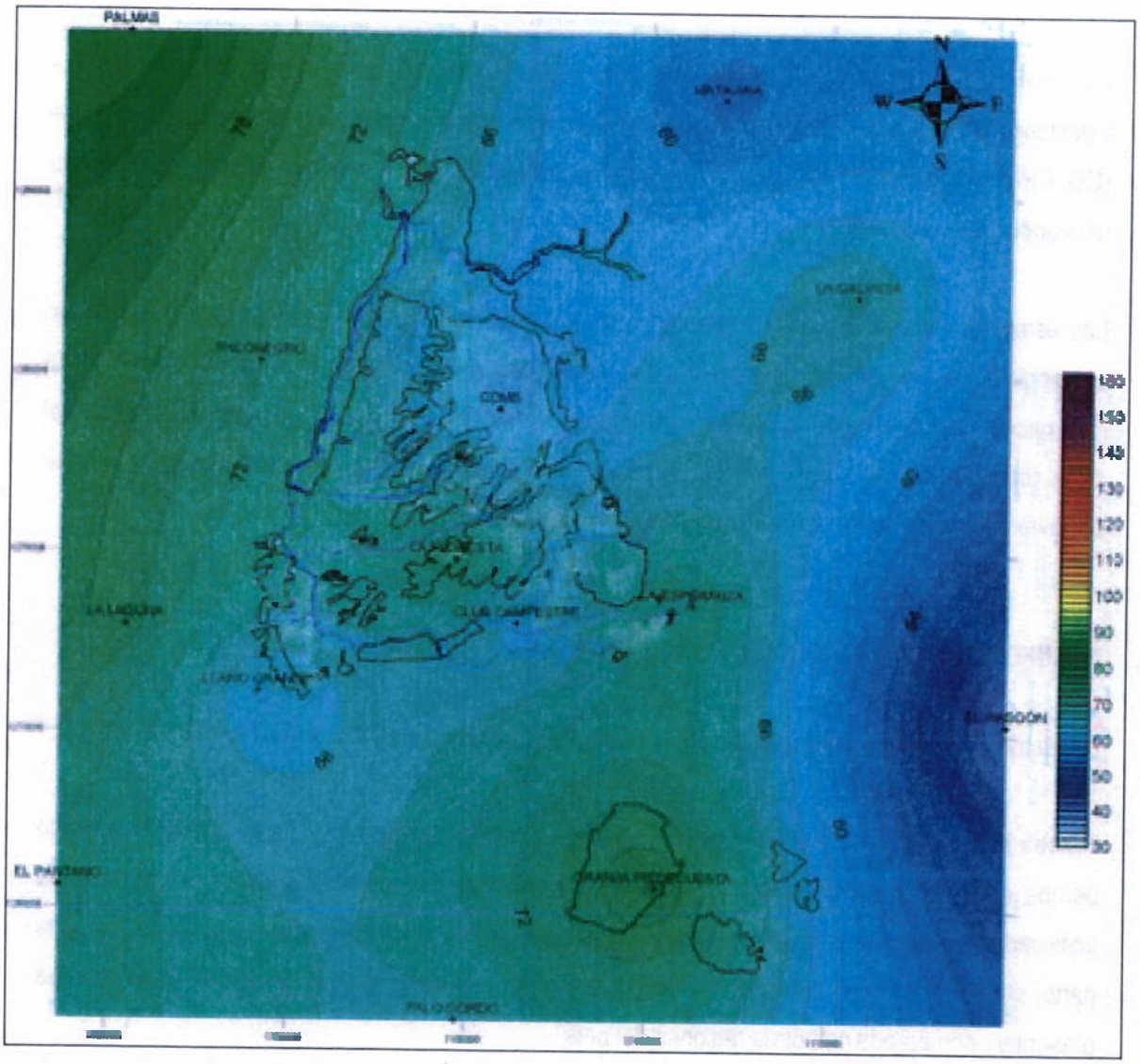


Ilustración 30 Isoyetas periodo retorno 2 años.

7.5. DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Antes de adquirir los datos hidrometeorológicos de la zona de estudio, se realizó un análisis cualitativo indicativo de la calidad de los registros, encontrándose que la periferia al área metropolitana es de

menor cubrimiento espacial, mientras que en las proximidades a las cabeceras municipales mejora la calidad de registro.

Seguidamente se elaboró el inventario de información oficial existente con base en el catálogo de estaciones WEB del IDEAM. Se observaron principalmente las estaciones con registros climatológicos (CO, CP y SP), de tipo Pluviométrico (PM) y Pluviográfico (PG), por ser ésta la información de mayor relevancia para el estudio.

Las estaciones fueron seleccionadas bajo criterio e interés particular requerido para este estudio hidrológico. La información obtenida de las estaciones no solo permitirá la actualización de la información para observar el contexto hidrológico del territorio y observar el comportamiento temporal de la precipitación, sino que también permitirá tener fundamentos sólidos para afirmar o concluir posibles relaciones sobre la ocurrencia de lluvias y deslizamientos.

7.6. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Los estudios técnicos elaborados en el área de estudio proporcionan suficiente información técnica.

El Área Metropolitana de Bucaramanga se destaca desde el punto de vista de monitoreo hidrológico porque cuenta con un considerable número de estaciones hidrometeorológicas, en gran medida justificadas por ser esta zona de alta importancia como eje central del desarrollo de la región y por otra parte, por la necesidad de monitoreo de los fenómenos erosivos y de remoción en masa que se presentan, comparada con otras regiones del país.

No obstante, el reconocimiento de las potencialidades del territorio y su red de monitoreo, de esa extensa red conformada según el IDEAM por 69 estaciones en los municipios de Bucaramanga, Lebrija, Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Tona, Rionegro y Matanza, solo 32 se encuentran a la fecha activas, conforme a la siguiente tabla.

No.	CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO	MUNICIPIO	CORRIENTE	INTALADA
1	2319503	APTO GOMEZ NIÑO	SINOPTICA SUPLEMENTARIA	BUCARAMANGA	DE ORO	1/06/1940
2	2319083	BUCARAMANGA IDEAM	PLUVIOGRAFICA	BUCARAMANGA	SURATA	1/10/1966
3	2319080	HMAT R.11	PLUVIOGRAFICA	BUCARAMANGA	DE ORO	1/06/1984
4	2319504	UIS	CLIMATOLOGÍA PRINCIPAL	BUCARAMANGA	TONA	1/01/1957
5	2319505	VIVERO CHIMITA	CLIMATOLOGÍA PRINCIPAL	BUCARAMANGA	SURATA	1/08/1968
6	2319746	ESPERANZA LA	LIMNIMETRICA	FLORIDABLANCA	FRIO	1/01/1977
7	2319059	FLORESTA LA	PLUVIOGRAFICA	FLORIDABLANCA	Q DE LA IGLESIA	1/06/1978
8	2319040	GALVICIA LA	PLUVIOMETRICA	FLORIDABLANCA	TONA	1/01/1968
9	2319743	CONQUISTADOR EL	LIMNIMETRICA	PIEDECUESTA	DE ORO	1/07/1978
10	2319070	PIEDECUESTA GJA	PLUVIOGRAFICA	PIEDECUESTA	LATO	1/07/1970
11	2319701	PRIMAVERA	LIMNIMETRICA	PIEDECUESTA	MANCO	1/07/1978
12	2319740	ANGOSTURAS	LIMNIMETRICA	LEBRIJA	LEBRIJA	1/08/1972
13	2319513	APTO PALONEGRO	SINOPTICA PRINCIPAL	LEBRIJA	DE ORO	1/08/1974
14	2319026	LAGUNA LA	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q LA ANGULA	1/05/1967
15	2319044	NARANJO EL	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q SAN BENITO	1/04/1971
16	2319038	PALMAS	PLUVIOMETRICA	LEBRIJA	Q HONDA	1/11/1967
17	3701502	BERLIN	CLIMATOLOGIA ORDINARIA	TONA	JORDAN	1/05/1968
18	3701701	BERLIN	LIMNIMETRICA	TONA	JORDAN	1/05/1972
19	2319030	PICACHO EL	PLUVIOMETRICA	TONA	TONA	1/07/1967
20	2319013	TONA	PLUVIOMETRICA	TONA	TONA	1/06/1958
21	2319729	CAFÉ MADRID	LIMNIMETRICA	GIRON	LEBRIJA	1/12/1968
22	2319511	LLANO GRANDE	CLIMATOLOGIA ORDINARIA	GIRON	DE ORO	1/07/1971
23	2319028	PALO GORDO	PLUVIOMETRICA	GIRON	DE ORO	1/06/1967
24	2319060	PANTANO EL	PLUVIOMETRICA	GIRON	Q LA ANGULA	1/11/1967
25	2406007	PARROQUIA LA	PLUVIOMETRICA	GIRON	Q AGUA BLANCA	1/09/1959
26	2406503	TRIGUEROS HDA	CLIMATOLOGÍA PRINCIPAL	GIRON	SOGAMOSO	1/03/1996
27	2319730	VAHONDO	LIMNIMETRICA	GIRON	DE ORO	1/12/1969
28	2319034	MATAJIRA	PLUVIOMETRICA	MATANZA	SURATA	1/10/1967
29	2319035	LLANO DE PALMAS	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	Q HONDA	1/11/1967
30	2319046	PAPAYAL	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	LEBRIJA	1/05/1971
31	2319036	PORTACHUELO	PLUVIOMETRICA	RIO NEGRO	NEGRO	1/10/1967
32	2319713	PTE SARDINAS	LIMNIGRAFICA	RIO NEGRO	SANTA CRUZ	1/10/1967

Tabla 12. Inventario de estaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga

De estas 32 estaciones fueron seleccionadas para los análisis hidrológicos, 20 estaciones conforme los resultados de lo observado sobre su tipo, confiabilidad, completitud de registros y consistencia de los mismos; dicho listado se presenta en la siguiente tabla.

No.	ENTIDAD	ESTACIÓN	MUNICIPIO	CORRIENTE	INSTALADA	TIPO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	ELEVACIÓN (M.S.N.M)
1	IDEAM	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	SURATA	1/10/1996	PG	1106527	1278528	1025
2	IDEAM	UIS	BUCARAMANGA	TONA	1/01/1957	CP	1108365	1280375	1018
3	IDEAM	FLORESTA	FLORIDABLANCA	Q LA IGLESIA	1/06/1978	PG	1104693	1274837	925
4	IDEAM	GALVICIA LA	FLORIDABLANCA	TONA	1/01/1968	PM	1115726	1282234	1779
5	IDEAM	PIEDECUESTA GJA	PIEDECUESTA	LATO	1/07/1970	PG	1110238	1265631	1000
6	IDEAM	APTO PALONEGRO	LEBRIJA	DE ORO	1/08/1974	SP	1099158	1280356	1189
7	IDEAM	LAGUNA LA	LEBRIJA	Q LA ANGULA	1/05/1967	PM	1095486	1272971	1050
8	IDEAM	PALMAS	LEBRIJA	Q HONDA	1/11/1967	PM	1095458	1289566	855
9	IDEAM	LLANO GRANDE	GIRÓN	DE ORO	1/07/1971	CO	1099176	1271139	777
10	IDEAM	PALO GORDO	GIRÓN	DE ORO	1/06/1967	PM	1104719	1261933	950
11	IDEAM	PANTANO EL	GIRÓN	Q LA ANGULA	1/11/1967	PM	1093661	1265599	1280
12	IDEAM	MATAJIRA	MATANZA	SURATA	1/10/1967	PM	1112029	1287752	996
13	CDMB	CDMB	BUCARAMANGA	DE ORO	1/01/1979	PG	1105857	1279071	950
14	CDMB	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	FRIO	10/01/1982	PG	1106399	1273072	940
15	CDMB	EL RASGON	PIEDECUESTA	DE ORO	1/01/1987	CO	1119913	1270294	1285
16	CDMB	LA ESPERANZA	FLORIDABLANCA	FRIO	19/09/1979	CO	1111228	1273582	1000
17	CDMB	LA FLORA	BUCARAMANGA	SURATA	1/01/1979	PG	1107543	1280310	1100
18	CDMB	LA MARIANA	TONA	FRIO	6/01/1981	PM	1117627	1280310	2250
19	CDMB	PTAR	GIRÓN	FRIO	8/01/1985	CO	1102856	1272989	785
20	CDMB	SEVILLA	PIEDECUESTA	TRINCHERAS	8/01/1981	PM	1119428	1267670	1907

Tabla 13. Inventario de estaciones seleccionadas para el estudio regional

7.7. CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Un análisis regional, permite concluir que la estación con registro de precipitación más cercana a las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER, es la estación pluviográfica CDMB, por ello se presenta de forma particular la distribución de la precipitación media anual de la misma por medio de una gráfica de columnas, que indica que el régimen de precipitación en la estación es bimodal con picos en los meses de mayo y octubre del orden de 108 y 99 mm respectivamente, y dos meses de menor precipitación entre 44 y 58 mm en diciembre y enero (siguiente ilustración.)

Para este sitio en particular y en el marco de este estudio, se ha denominado como E3 la zona homogénea donde se localiza el mismo. Por ello se destacan los registros de las estaciones La Floresta y Club Campestre como las más cercanas con registro de precipitación, así como las estaciones PTAR y Llano Grande como las estaciones climatológicas más cercanas a esta zona. Se observa que el comportamiento de la precipitación porcentualmente es muy similar no obstante en volumen la precipitación anual es de 1291, 1038, 987 y 990 mm respectivamente.

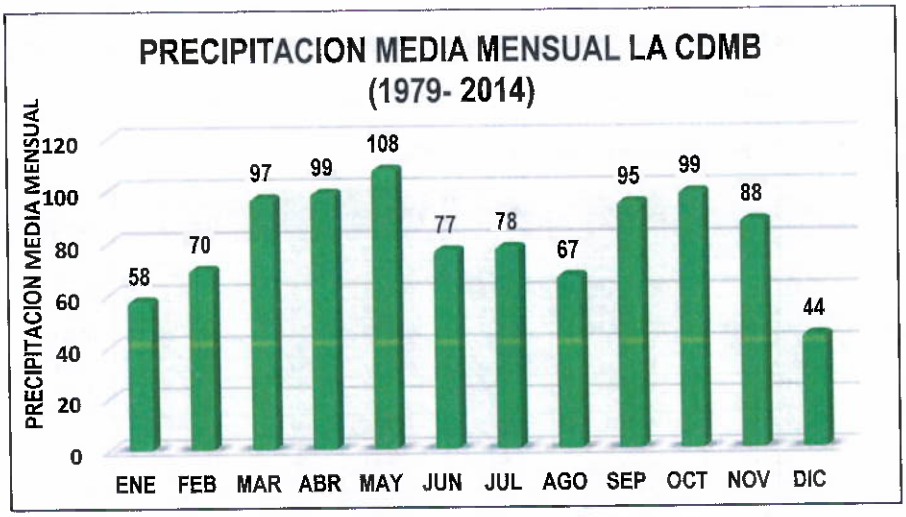


Ilustración 31 Precipitación Media mensual multianual estación Floresta (1978-2008)

A continuación, se muestra el Histograma de precipitación media anual porcentual de las estaciones analizadas en un radio de 10 Km de las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER.

Se destacan los registros de las estaciones CDMB, Bucaramanga y La Floresta como las más cercanas con registro de precipitación, así como la estación UIS como la estación climatológica más cercana. El comportamiento de la precipitación porcentualmente es muy similar sin embargo en términos de volumen de precipitación anual existen ciertas diferencias con volúmenes de precipitación anual de 876mm en la CDMB, 980mm en Bucaramanga, 1291mm en La Floresta y 1226 mm en UIS.

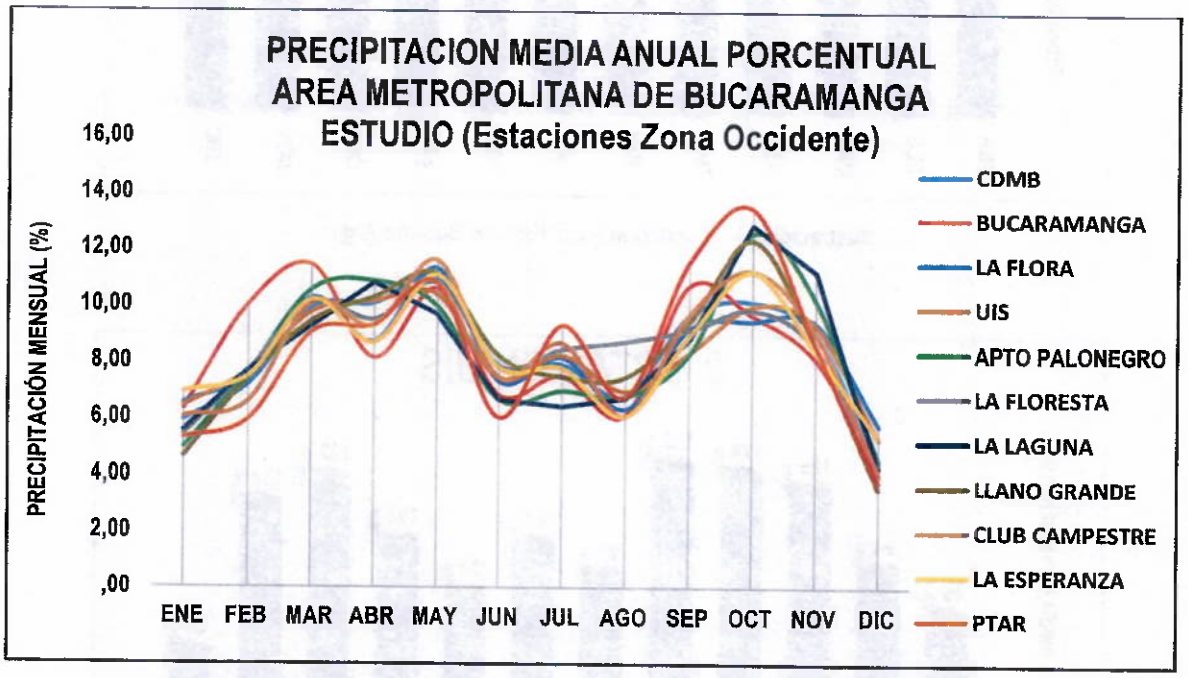


Ilustración 32 Histograma de precipitación media anual porcentual las estaciones analizadas.

7.7.1. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL

A continuación, se presentan las gráficas de precipitación anual de cada una de las estaciones de la zona occidental identificadas en un radio de 10 Km de las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER.

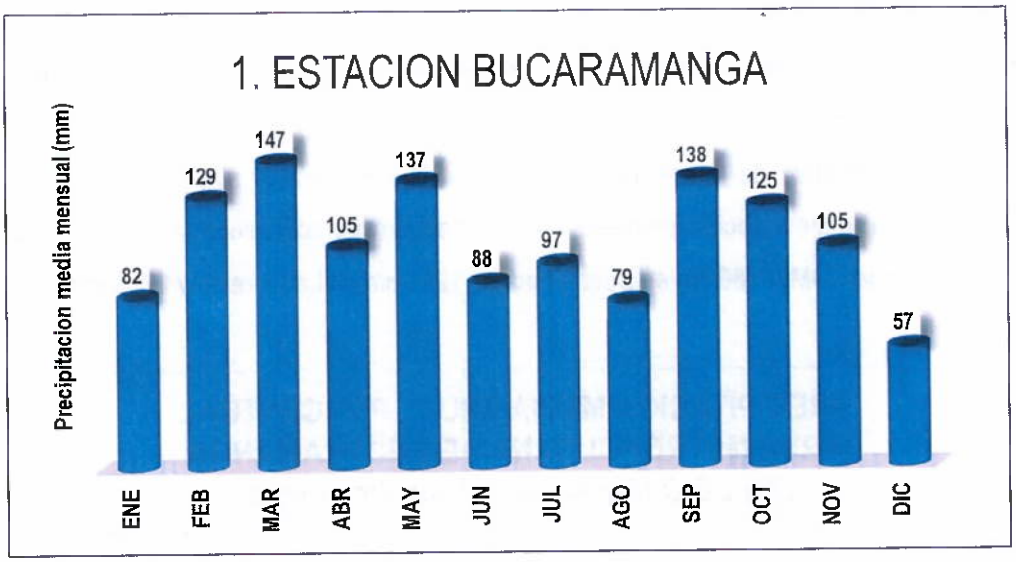


Ilustración 33 Precipitación anual Estación Bucaramanga

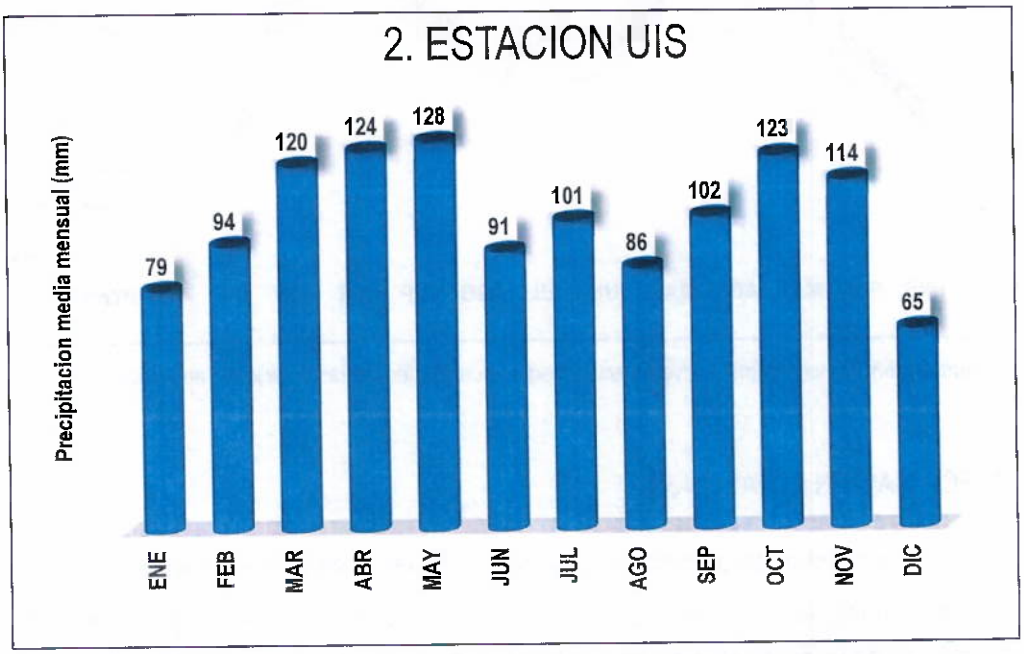


Ilustración 34 Precipitación anual Estación UIS.

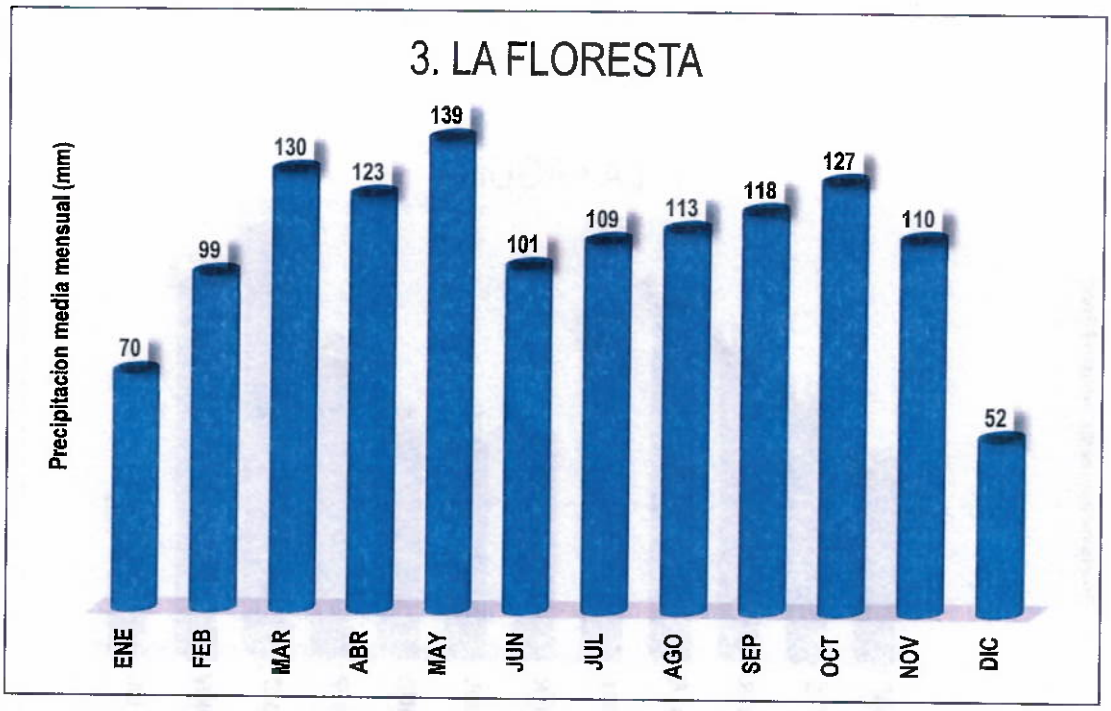


Ilustración 35 Precipitación anual Estación La Floresta.

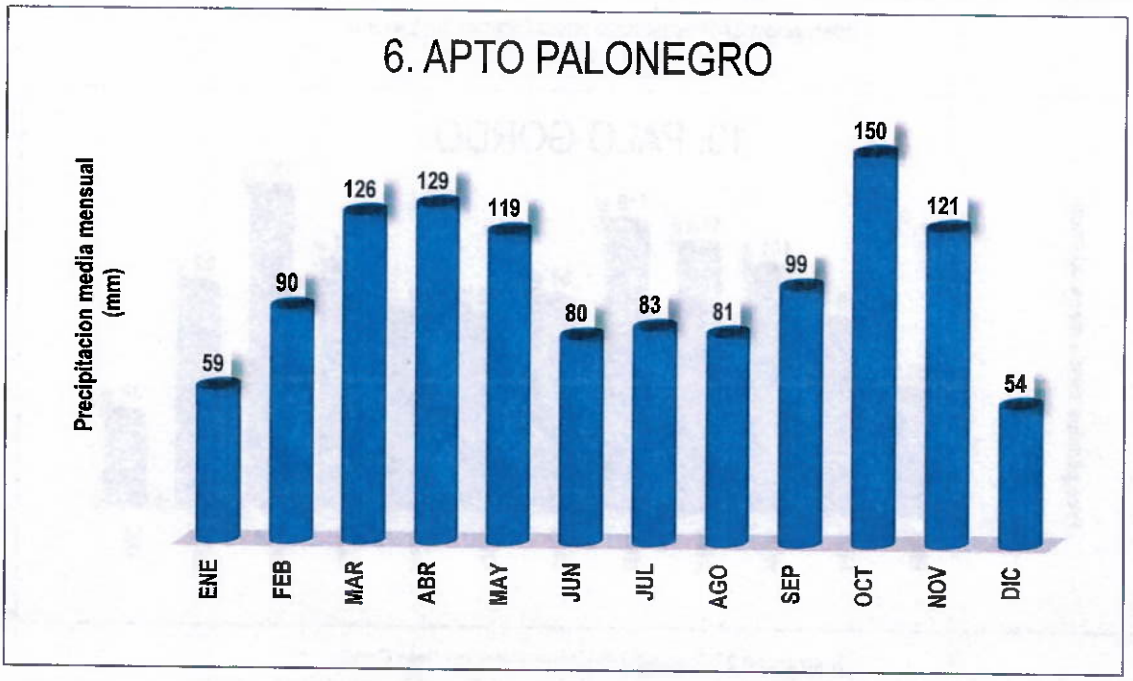


Ilustración 36 Precipitación anual Estación Apto Palonegro.

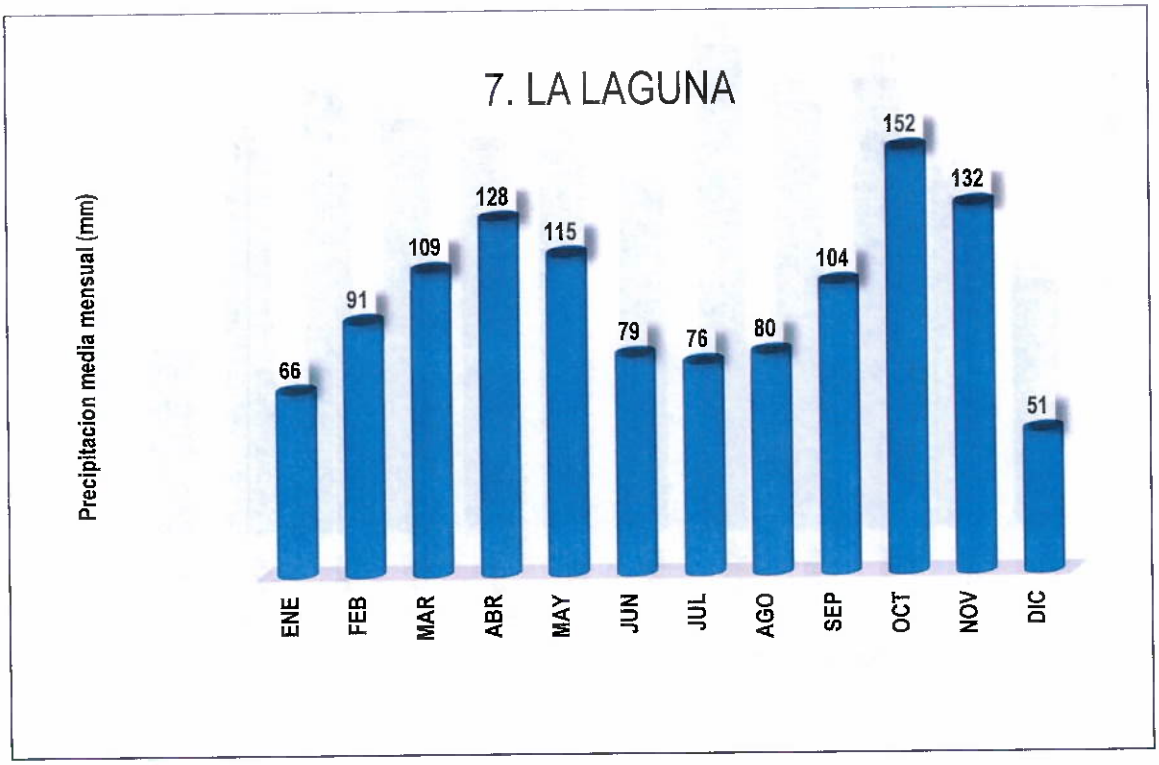


Ilustración 37 Precipitación anual Estación La Laguna.

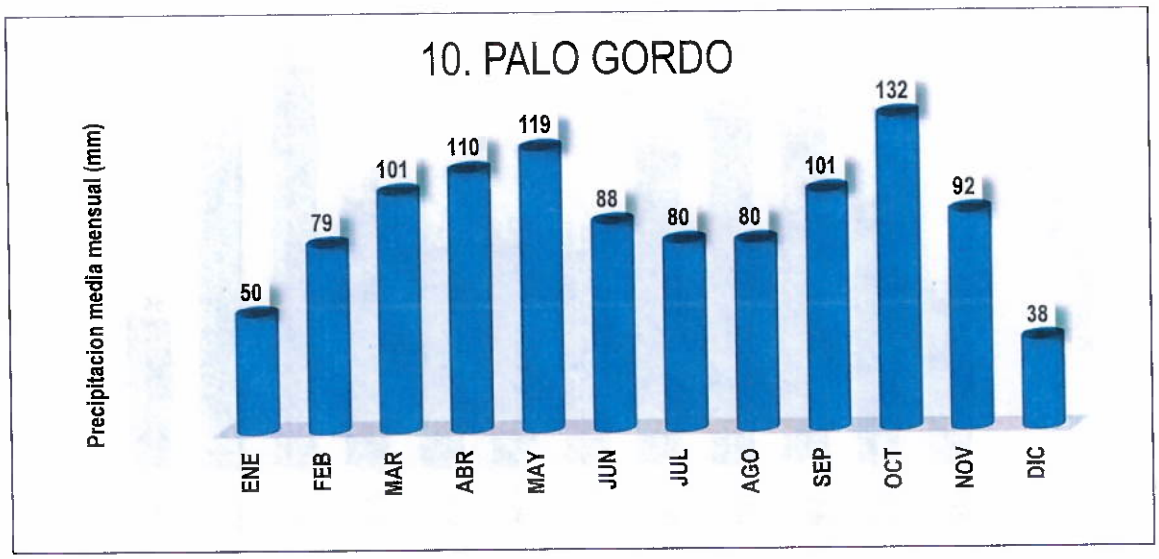


Ilustración 38 Precipitación anual Estación Palo Gordo

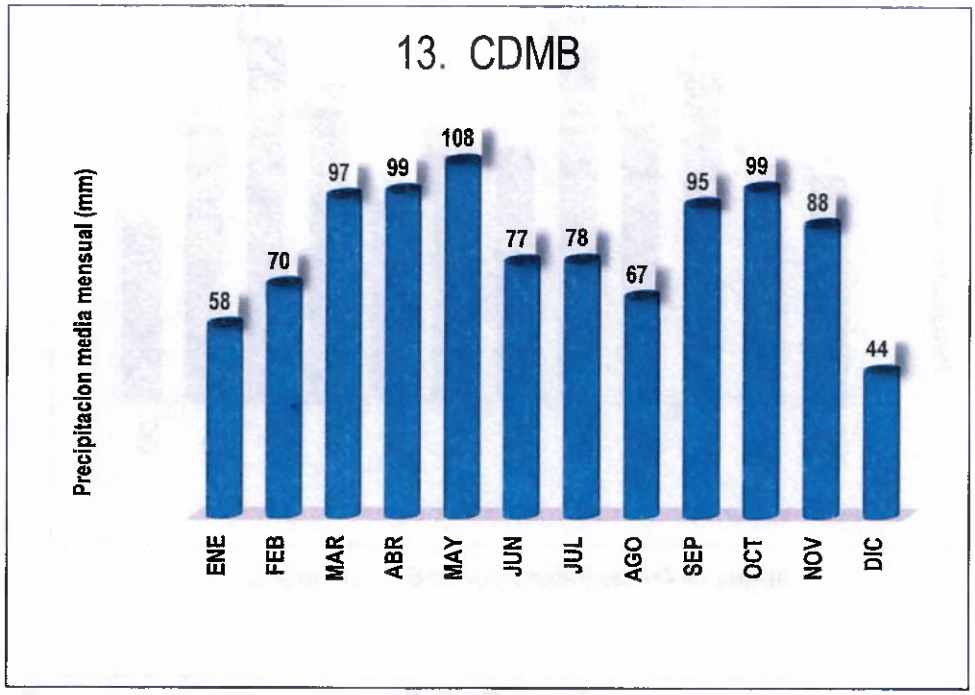


Ilustración 39 Precipitación anual Estación CDMB

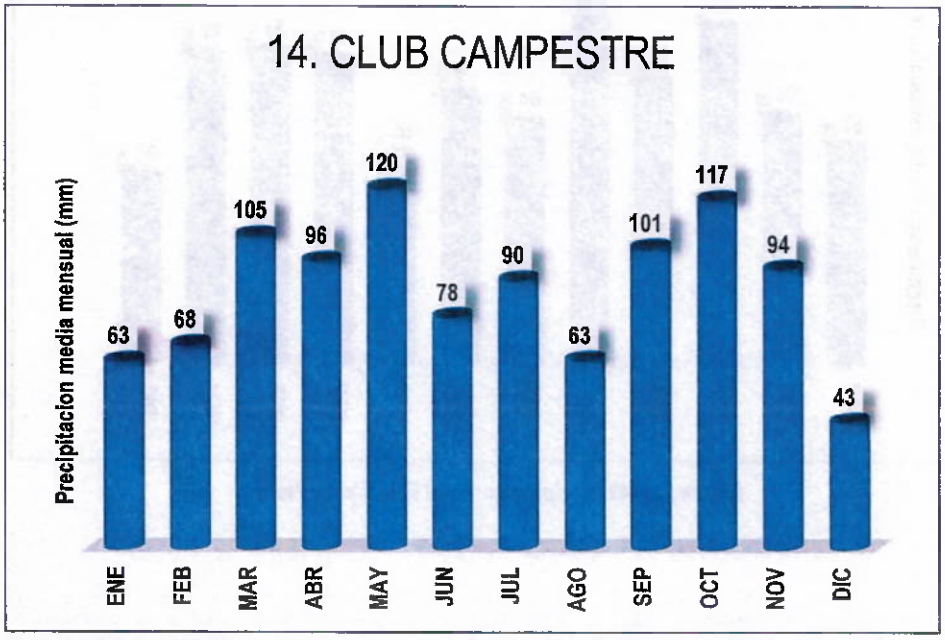


Ilustración 40 Precipitación anual Estación Club Campestre

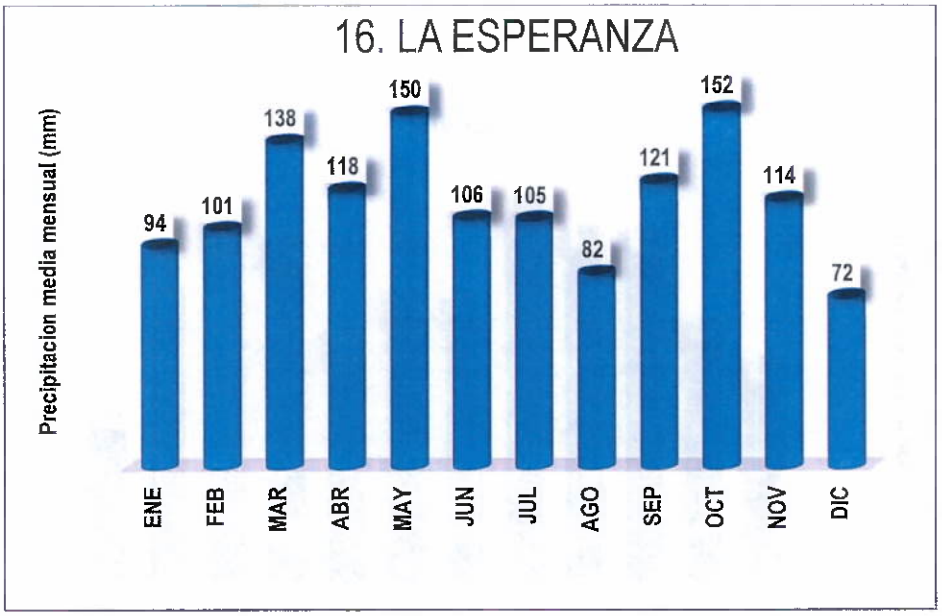


Ilustración 41 Precipitación anual Estación La Esperanza.

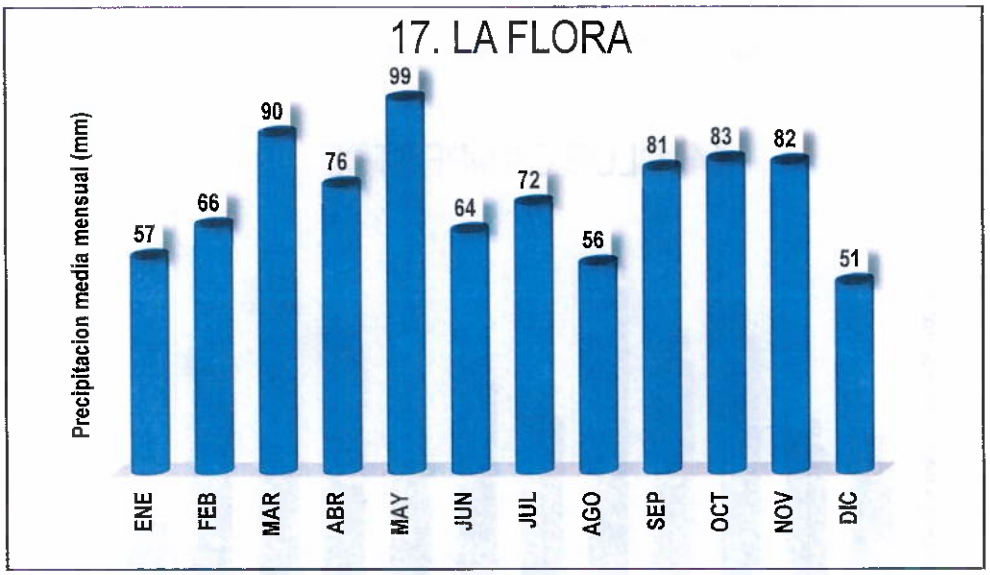


Ilustración 42 Precipitación anual Estación La Flora.

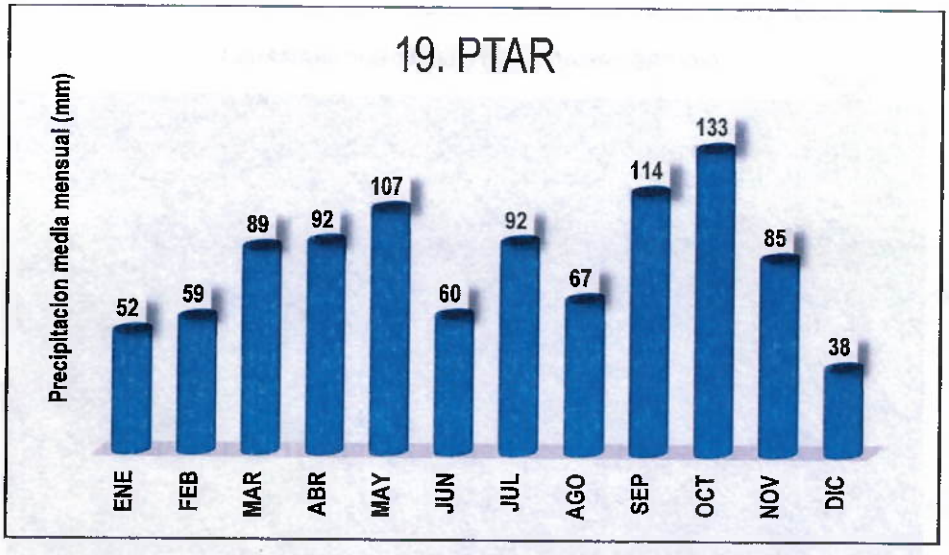


Ilustración 43 Precipitación anual Estación PTAR

7.7.2. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL

Con el fin de observar la variación especial de la precipitación en el área fueron elaboradas las curvas isoyetas a partir de los datos de las estaciones. El resultado no es significativamente cambiante con respecto a los resultados de INGEOMINAS (2008), pues se trata de los valores promedio de las estaciones.

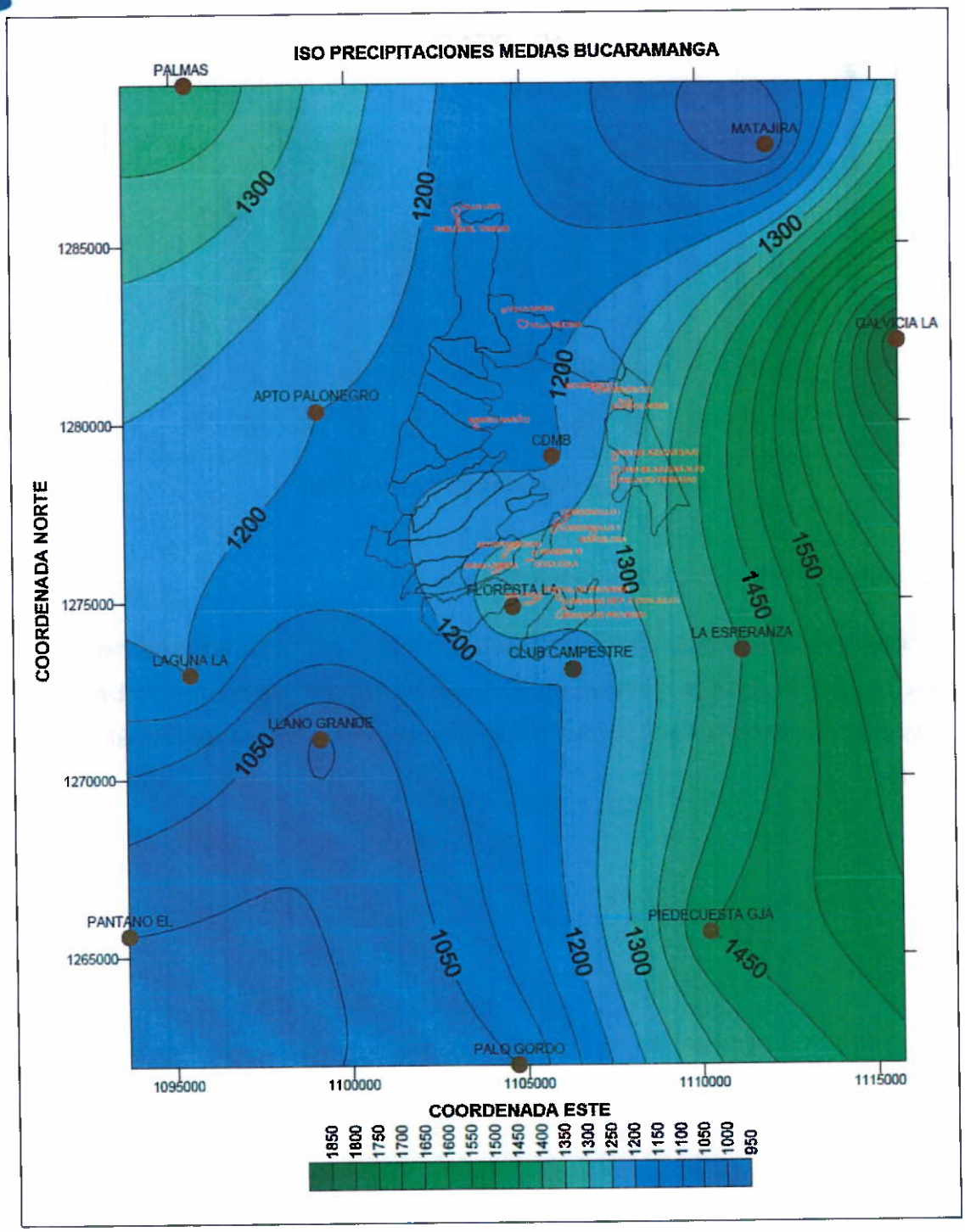


Ilustración 44 Curvas Isoyetas medias anuales con base en las estaciones seleccionadas (mm)

En la gráfica de relación de elevación vs precipitación de las estaciones seleccionadas se observa entre los entre los 700 y los 1400 msnm, la precipitación en las estaciones seleccionadas se encuentra entre 800 a los 1600 mm. Sin embargo, precipitaciones se encuentran entre 800 mm y 1600 mm son en su mayoría comunes entre estas estaciones. Se observan los picos de precipitación entre los 1250 msnm y los 1950 msnm, éste último para la estación La Floresta.

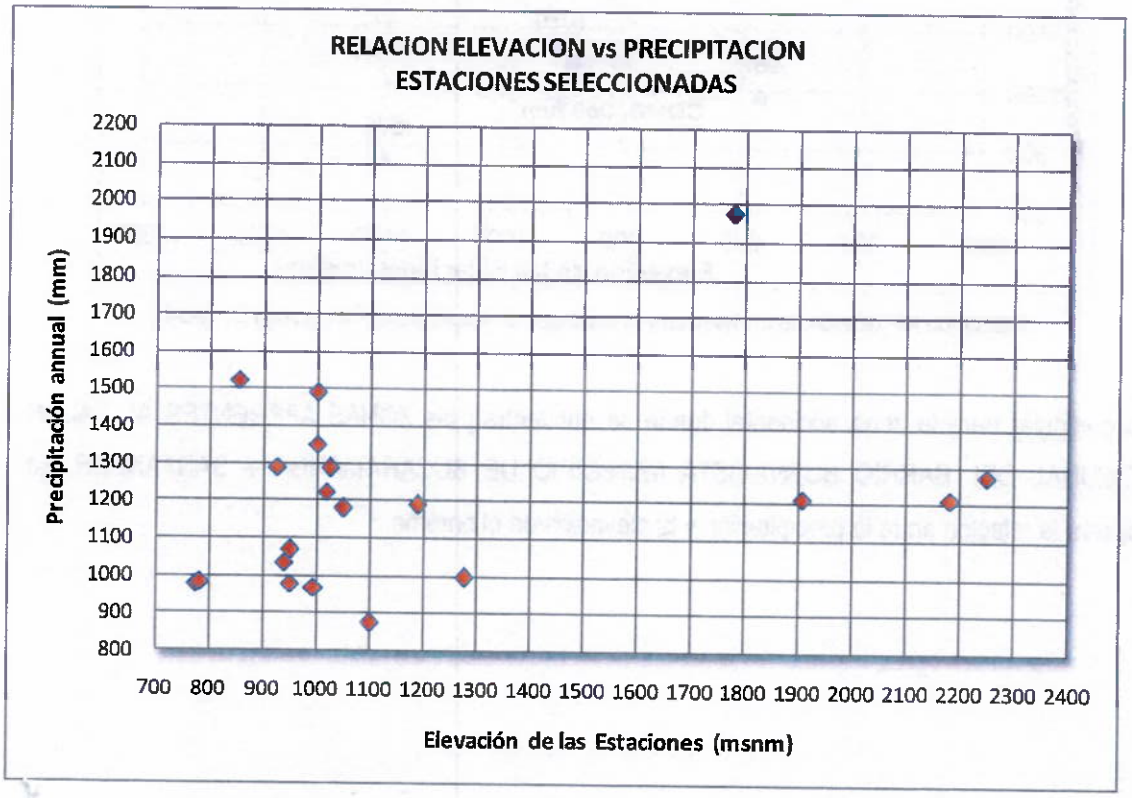


Ilustración 45 Relación de la elevación y precipitación estaciones de Bucaramanga

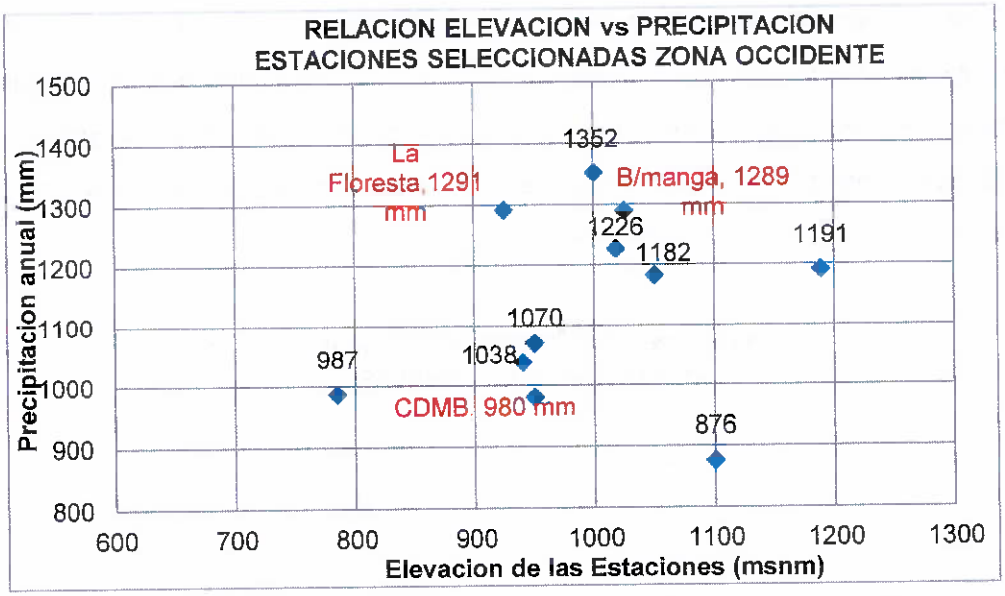


Ilustración 46 Relación de la elevación y precipitación de las estaciones en la zona Occidente

En particular para la zona occidental donde se encuentran las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER, se observa la relación entre la precipitación y la elevación en el entorno.

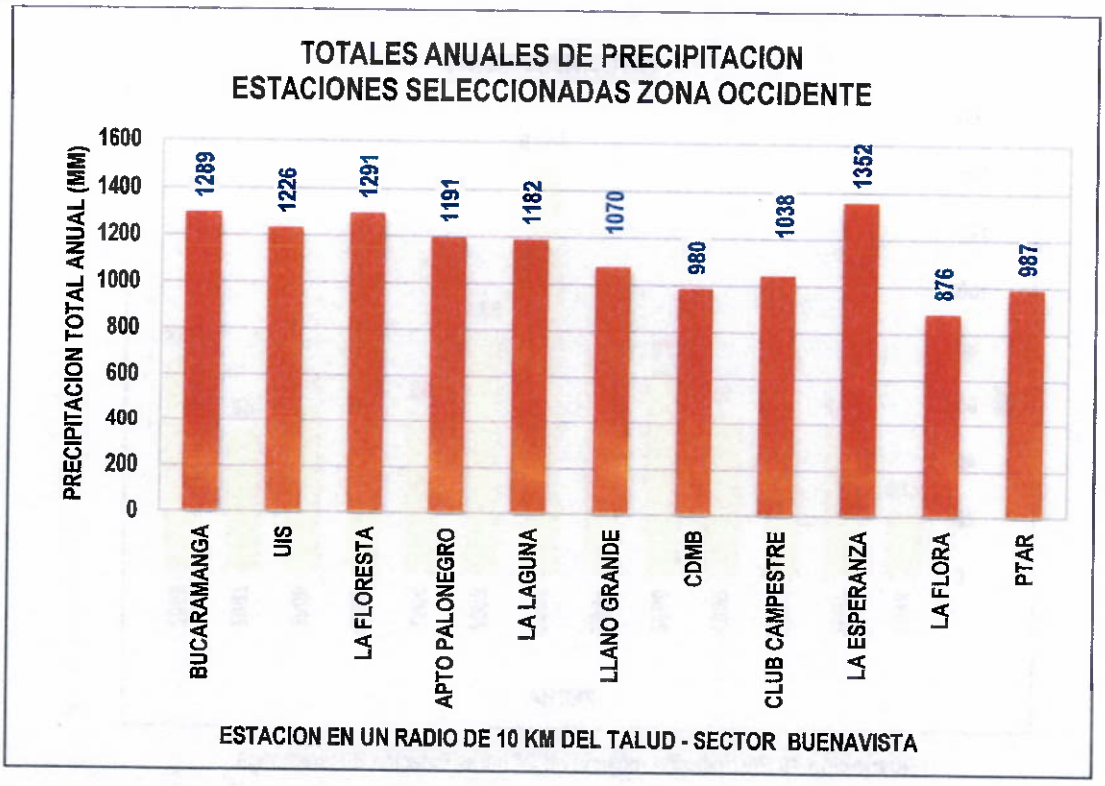


Ilustración 47 Valores totales anuales de precipitación estaciones en la zona Occidente

7.7.3. PRECIPITACIÓN MAXIMA EN 24 HORAS

Con relación a la precipitación máxima en 24 horas, fueron consultados y procesados los registros de cada una de las estaciones con el fin de determinar los valores máximos, el periodo de recurrencia de los mismos y su promedio estadístico. A continuación, se presenta el resultado de este análisis para las estaciones próximas a las ZONAS AFERENTES AL SALÓN COMUNAL DEL BARRIO BUENAVISTA MUNICIPIO DE BUCARAMANGA – SANTANDER.

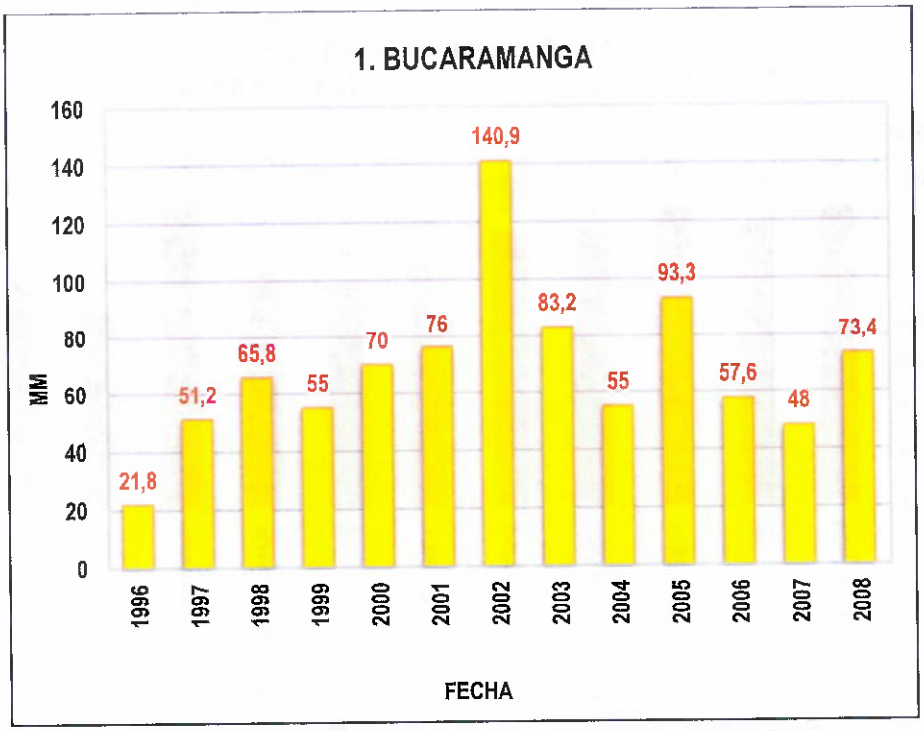


Ilustración 48 Precipitación máxima en 24 horas Estación Bucaramanga

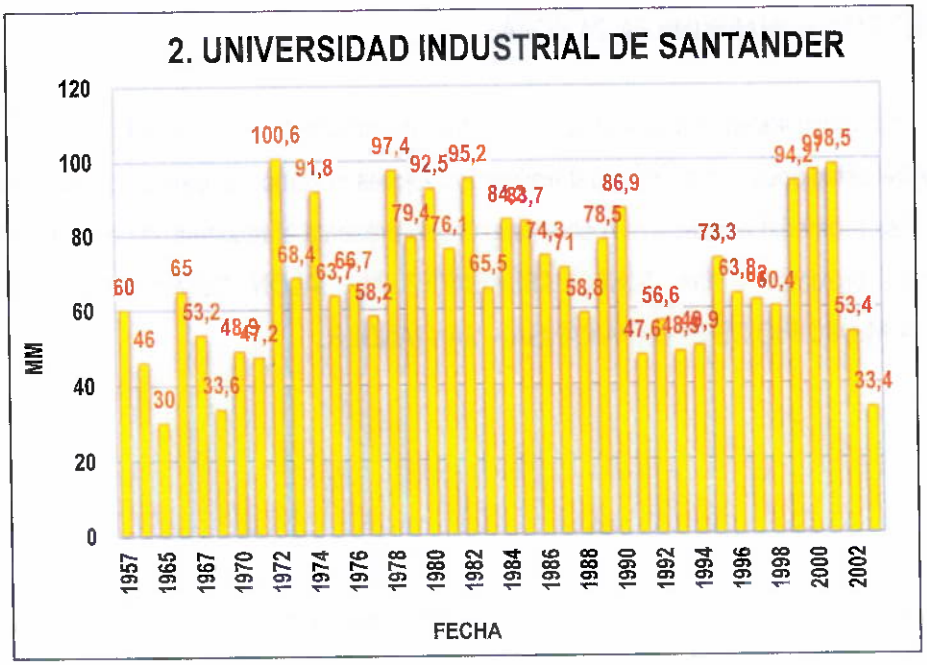


Ilustración 49 Precipitación máxima en 24 horas Estación UIS.

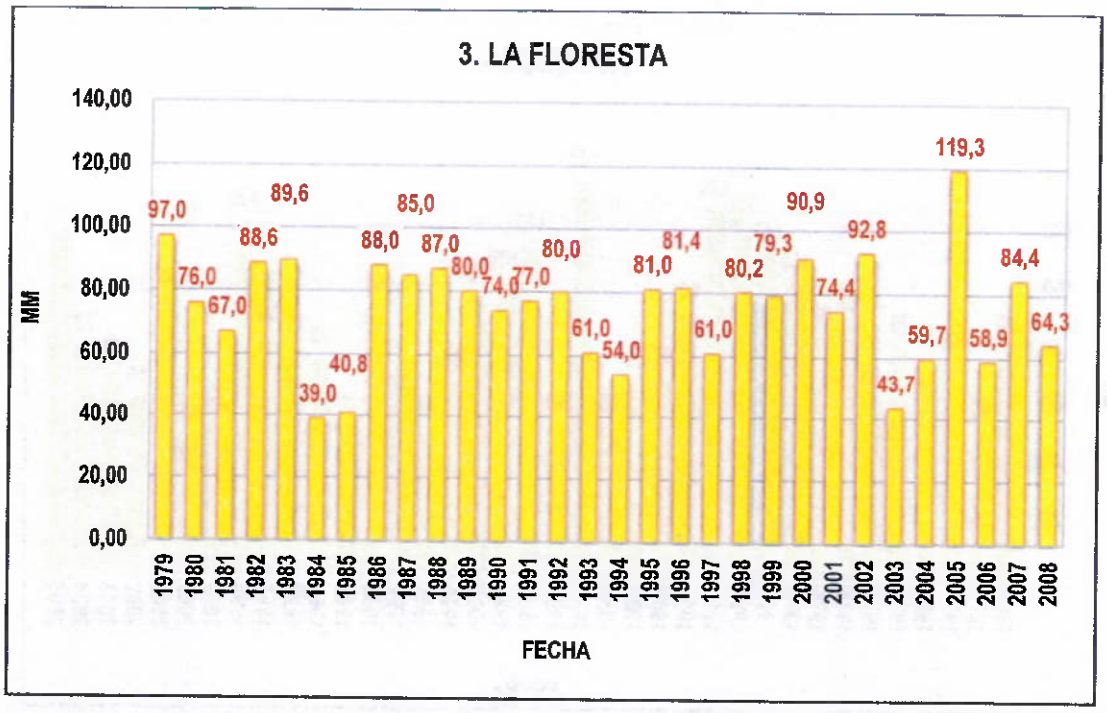


Ilustración 50 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Floresta.

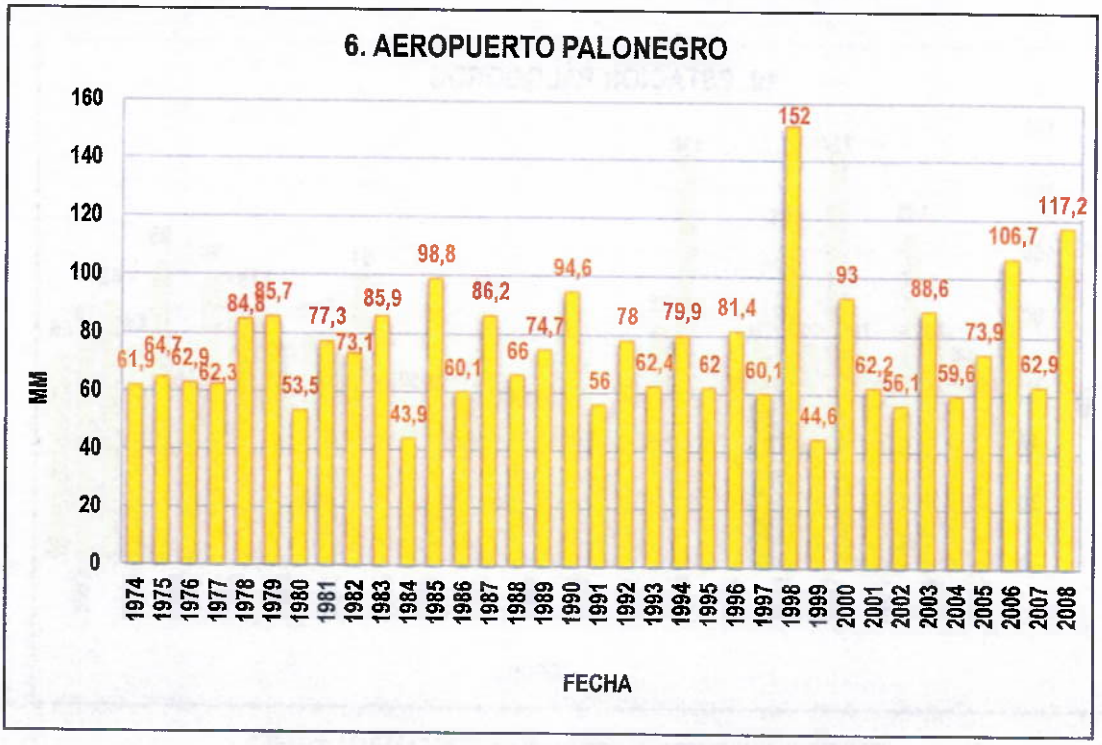


Ilustración 51 Precipitación máxima en 24 horas Estación Aeropuerto Palonegro.

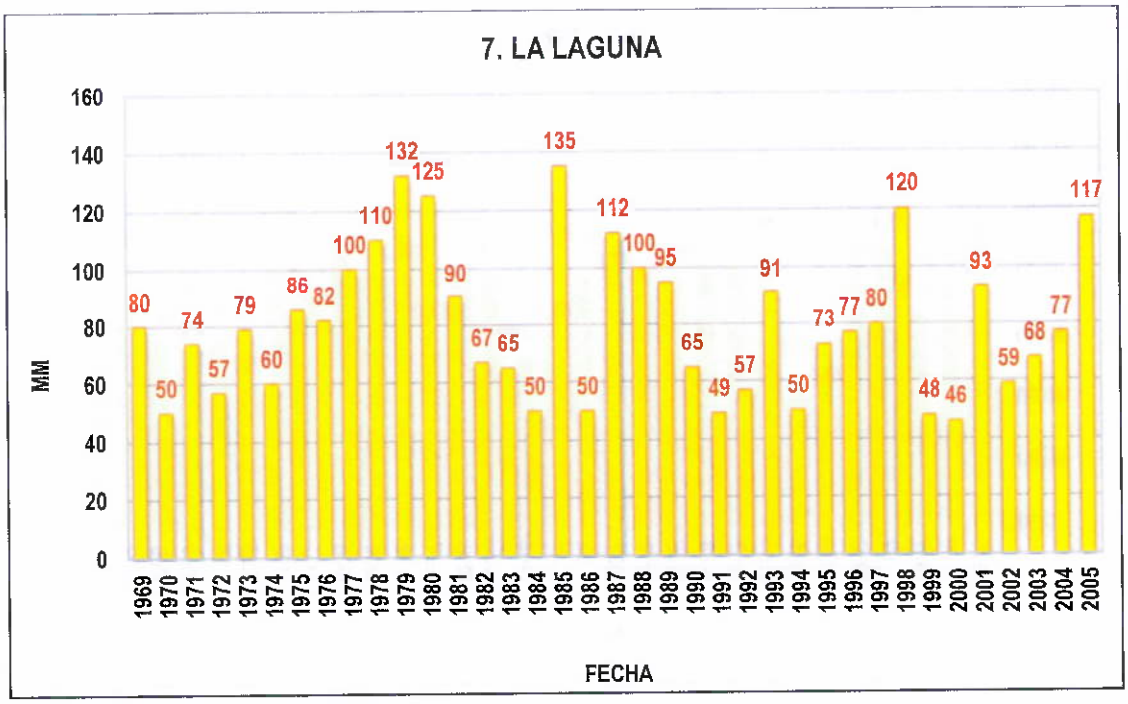


Ilustración 52 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Laguna

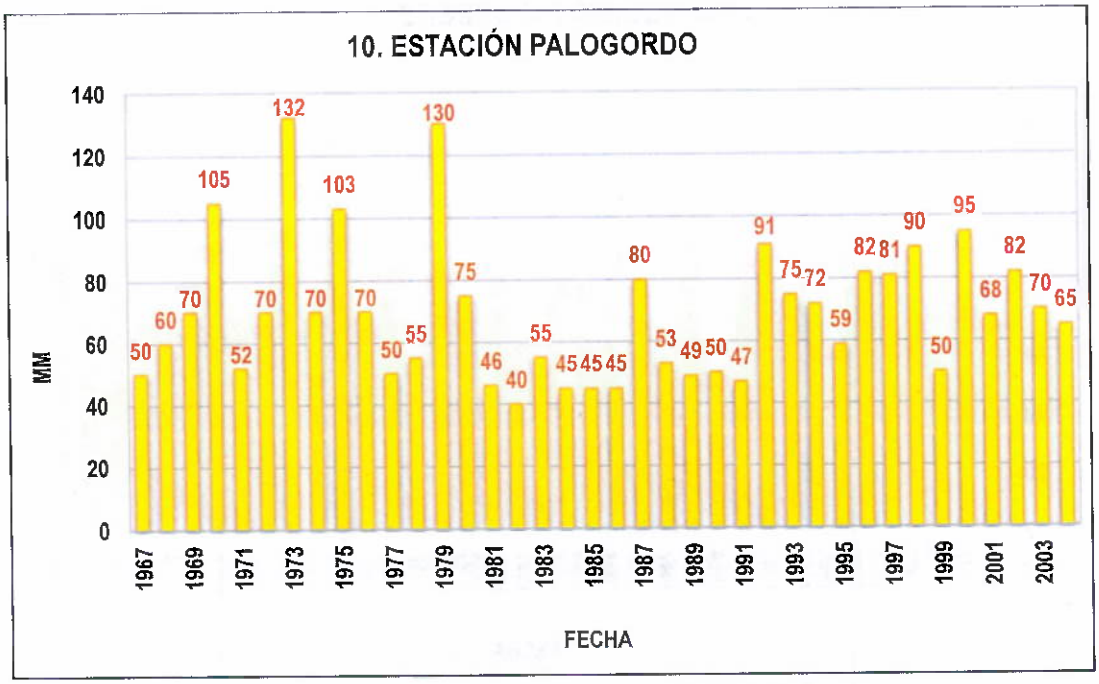


Ilustración 53 Precipitación máxima en 24 horas Estación Palogordo

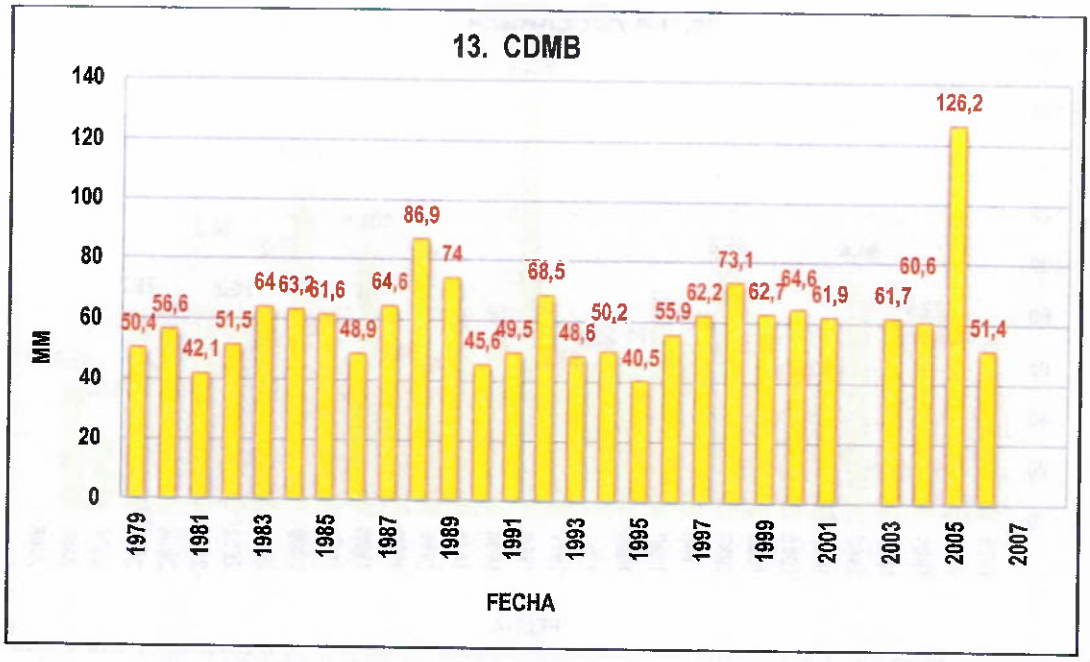


Ilustración 54 Precipitación máxima en 24 horas Estación CDMB

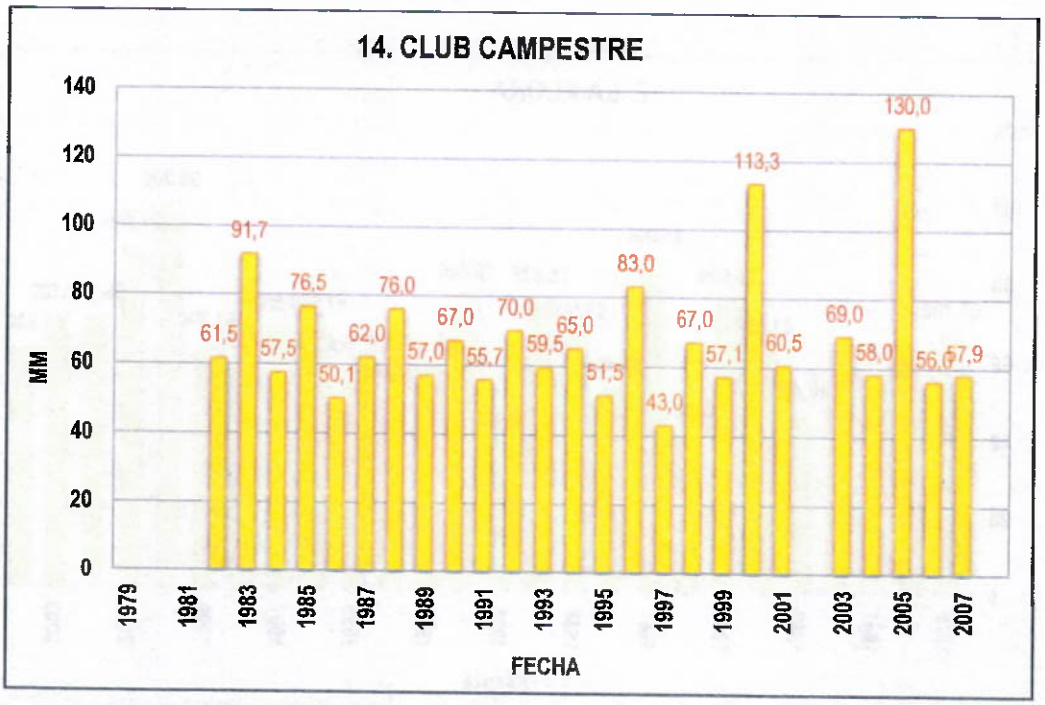


Ilustración 55 Precipitación máxima en 24 horas Estación Club Campestre

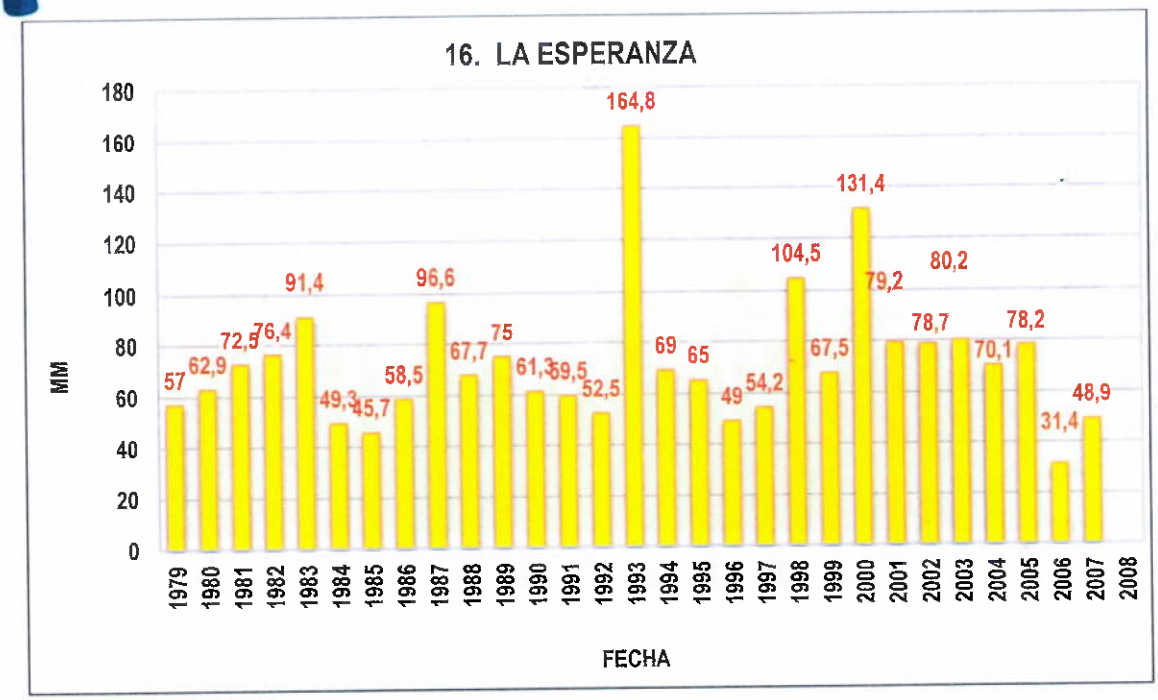


Ilustración 56 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Esperanza

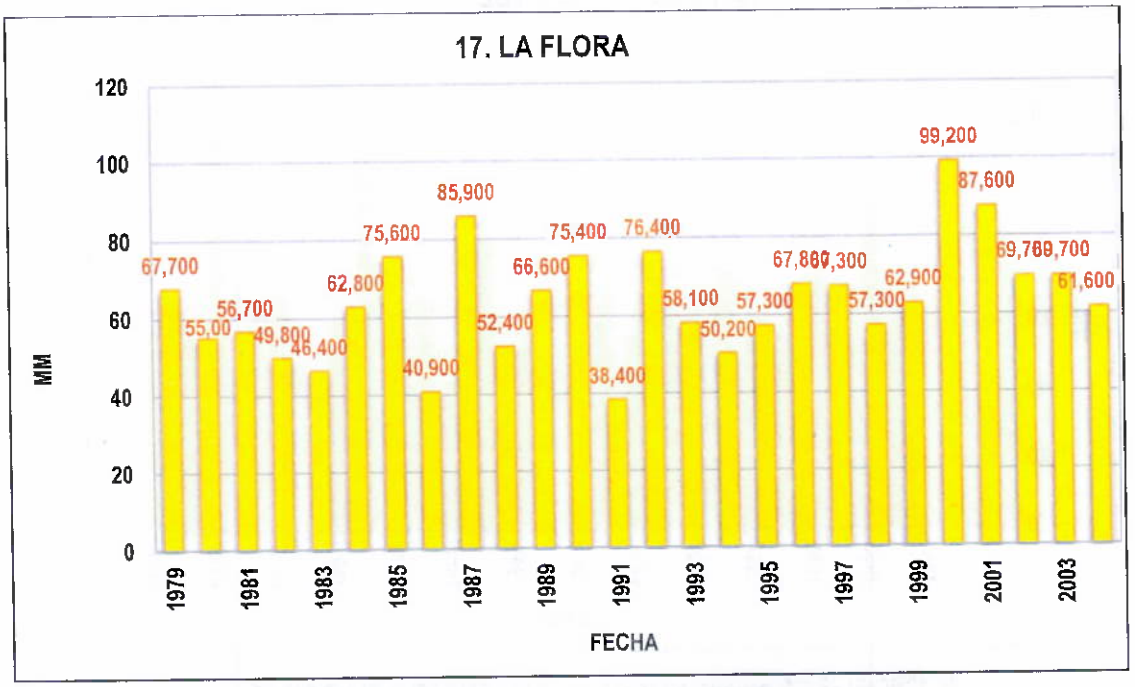


Ilustración 57 Precipitación máxima en 24 horas Estación La Flora

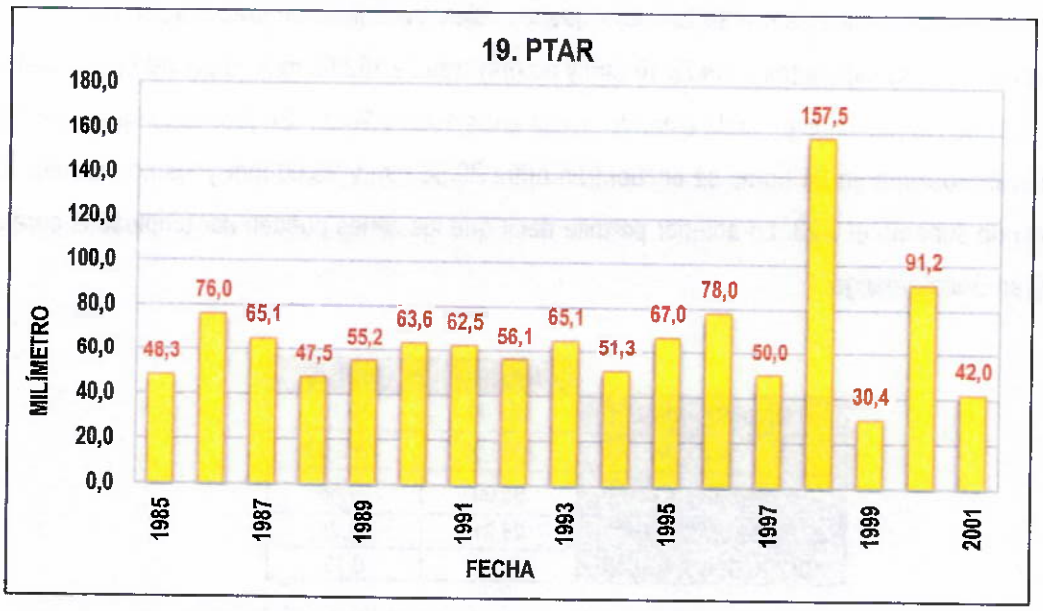


Ilustración 58 Precipitación máxima en 24 horas Estación PTAR

En la siguiente tabla se presenta el resumen del análisis efectuado con las series de valores de precipitaciones máximas en 24 horas.

ESTACIÓN	NOMBRE	MÁXIMA ANUAL (MM)	AÑO	PROMEDIO (MM)	DESVIACIÓN (MM)	COEF. DESVIACIÓN (MM)
1	BUCARAMANGA	140,90	2002	68,60	28,20	0,2
2	UIS	100,60	1972	67,90	19,40	0,19
3	LA FLORESTA	119,30	2005	75,20	17,70	0,15
4	LA GALVICIA	124,00	1997	78,30	20,80	0,17
5	PIEDECUESTA	133,50	1998	80,90	20,60	0,15
6	APTO PALONEGRO	152,00	1998	75,20	21,50	0,14
7	LA LAGUNA	135,00	1985	80,20	25,60	0,19
8	PALMAS	140,00	1969	95,00	24,10	0,17
9	LLANO GRANDE	182,00	2005	66,80	27,30	0,15
10	PALO GORDO	150,00	2005	71,40	25,00	0,17
11	EL PANTANO	132,00	2005	70,40	24,30	0,18
12	MATAJIRA	115,00	2003	55,00	16,30	0,14
13	CDMB	86,90	1988	58,60	11,20	0,13
14	CLUB CAMPESTRE	130,00	2005	67,80	19,60	0,15
15	EL RASGON	79,10	1998	43,20	15,60	0,2
16	LA ESPERANZA	164,80	1993	72,40	26,60	0,16
17	LA FLORA	99,20	2000	63,80	14,30	0,14
18	LA MARIANA	86,40	1995	40,60	18,70	0,22
19	PTAR	157,50	1998	65,10	27,90	0,18
20	SEVILLA	85,70	1991	39,60	19,40	0,23

Tabla 14. Valores máximos anuales, promedio, desviación y coeficiente de variación

La siguiente tabla muestra los valores de precipitación máximas para las estaciones ubicadas en la ciudad de Bucaramanga y de ella se concluye que los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados han sido superiores a los 79.10 mm y no mayores de 182.00 mm. El periodo en el cual se han registrado los máximos en cada estación oscila entre 1969 y 2005. En promedio los valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 39.56 mm y 95.00 mm y los coeficientes de variación no superan el 0.23. Lo anterior permite decir que las series pueden ser empleadas para el análisis en Bucaramanga.

	MAXIMO	MINIMO
MAXIMO ANUAL	182,00	79,10
AÑO	2005,00	1969,00
PROMEDIO	95,00	39,56
DESVIACIÓN	28,21	11,21
COEF. DESVIACIÓN	0,23	0,13

Tabla 15. Valores de precipitación máxima en las estaciones de Bucaramanga

En la siguiente tabla se muestran los valores de precipitación máximas para las estaciones ubicadas en la zona occidente de la ciudad de Bucaramanga.

ESTACIÓN	NOMBRE	MAXIMA ANUAL	AÑO	PROMEDIO	DESVIACIÓN	COEF. DESVIACIÓN
1	BUCARAMANGA	140,90	2002	68,60	28,20	0,20
2	UIS	100,60	1972	67,90	19,40	0,19
3	LA FLORESTA	119,30	2005	75,20	17,70	0,15
6	ARP. PALONEGRO	152,00	1998	75,20	21,50	0,14
7	LA LAGUNA	135,00	1985	80,20	25,60	0,19
10	PALOGORDO	150,00	2005	71,40	25,00	0,17
13	CDMB	86,90	1988	58,60	11,20	0,13
14	CLUB CMPESTRE	130,00	2005	67,80	19,60	0,15
16	LA ESPERANZA	164,80	1993	72,40	26,60	0,16
17	LA FLORA	99,20	2000	63,80	14,30	0,14
19	PTAR	157,50	1998	65,10	27,90	0,18
MAXIMO		164,80	2005	80,20	28,21	0,20
MINIMO		86,90	1972	58,60	11,21	0,13

Tabla 16. Valores de precipitación máxima estaciones Zona occidente de Bucaramanga

La tabla anterior se indica que los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados han sido superiores a los 86.90 mm y no mayores de 164.80 mm. El periodo en el cual se han registrado los máximos en cada estación oscila entre 1972 y 2005. En promedio los valores de precipitación máxima en 24 horas se encuentran entre 58.57 mm y 80.24 mm y los coeficientes de variación varían entre 0.13 y 0.2.

Los valores de recurrencia en 100 años se obtuvieron a partir de las series de valores anuales aplicando la distribución de valores extremos de Gumbel, típica para estos análisis. Los datos obtenidos de intensidad son estimados a partir de las magnitudes de lluvia diaria para una duración de 30 minutos. Este dato se ajusta conforme las curvas IDF obtenidas.

De acuerdo con la siguiente tabla, las máximas precipitaciones diarias en la estación La Floresta son de 119.3 mm, estadísticamente pueden alcanzar los 130.57 mm para un periodo de recurrencia de 100 años y la intensidad para dicha lluvia en un aguacero de 30 minutos de duración se estima en 261.14 mm/h como se presenta en la siguiente ilustración.

No.	ENTIDAD	NOMBRE ESTACIÓN	MUNICIPIO	TIPO	MAXIMA PMAX 24 H REGISTRADA (MM)	PMAX 24 H PARA TR=100 AÑOS (MM)	INTENSIDAD DE PMAX 24 H TR=100 AÑOS Y DURACIÓN 30 MIN (MM)
1	IDEAM	BUCARAMANGA IDEAM	BUCARAMANGA	PG	140,90	157,02	314,05
2	IDEAM	UIS	BUCARAMANGA	CP	100,00	128,83	257,66
3	IDEAM	FLORESTA	FLORIDABLANCA	PG	119,30	130,57	261,14
4	IDEAM	GALVICIA LA	FLORIDABLANCA	PM	124,00	143,60	287,20
5	IDEAM	PIEDECUESTA GJA	PIEDECUESTA	PG	133,50	145,66	291,32
6	IDEAM	APTO PALONEGRO	LEBRIJA	SP	152,00	142,78	285,56
7	IDEAM	LAGUNA LA	LEBRIJA	PM	135,00	160,57	321,13
8	IDEAM	PALMAS	LEBRIJA	PM	140,00	170,74	341,47
9	IDEAM	LLANO GRANDE	GIRÓN	CO	182,00	152,46	304,93
10	IDEAM	PALO GORDO	GIRÓN	PM	150,00	149,88	299,76
11	IDEAM	PANTANO EL	GIRÓN	PM	132,00	146,49	292,98
12	IDEAM	MATAJIRA	MATANZA	PM	115,00	106,20	212,41
13	CDMB	CDMB	BUCARAMANGA	PG	86,90	93,72	187,45
14	CDMB	CLUB CAMPESTRE	FLORIDABLANCA	PG	130,00	128,93	257,86
15	CDMB	EL RASGON	PIEDECUESTA	CO	79,10	92,17	184,34
16	CDMB	LA ESPERANZA	FLORIDABLANCA	CO	164,80	155,94	311,88
17	CDMB	LA FLORA	BUCARAMANGA	PG	99,20	108,58	217,16
18	CDMB	LA MARIANA	TONA	PM	86,40	99,21	198,41
19	CDMB	PTAR	GIRÓN	CO	157,50	152,58	305,16
20	CDMB	SEVILLA	PIEDECUESTA	PM	85,70	100,34	200,67

Tabla 17. Valores de precipitación máxima período de retorno de 100 años

Los valores señalados en color rojo corresponden a eventos de lluvia máxima en 24 horas registrados, que, según las estadísticas de la estación, estarían próximos al periodo de recurrencia de 100 años, las estaciones en verde corresponden a las estaciones de la zona occidente.

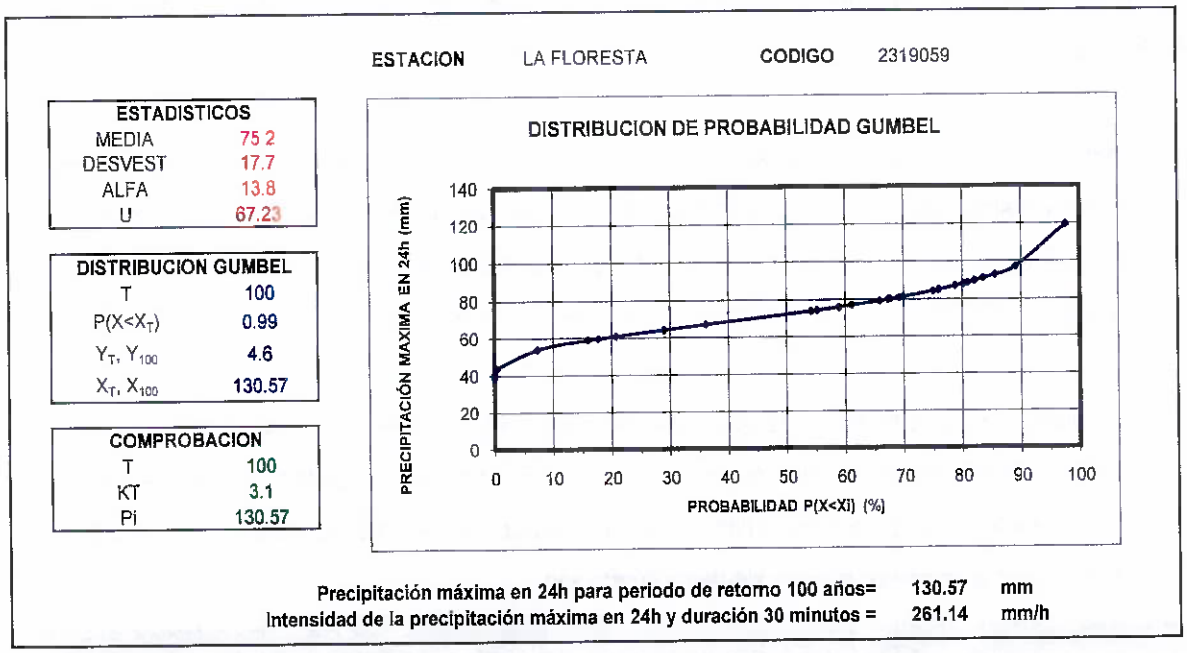


Ilustración 59 Distribución Gumbel para máximos de precipitación en 24 horas

7.7.4. LLUVIAS DE CORTA DURACIÓN

Generalmente las precipitaciones son consideradas uno de los aspectos más influyentes en la estabilidad de las laderas al punto de considerarlas como factor detonante, bien sea por causa del volumen acumulado en largos periodos de tiempo o por su intensidad comúnmente asociada a cortas duraciones.

Es por esta razón que en los estudios de estabilidad se debe considerar el evento de lluvia dentro de los detonantes de movimientos en masa. De otro lado, las lluvias de corta duración y elevado volumen resultan ser críticas a la hora de realizar un análisis de este tipo, dado que esta combinación incrementa las presiones de poros en los suelos de forma exagerada, con la consecuente disminución de los esfuerzos efectivos y por ende, pérdida de resistencia del material, produciéndose de forma casi instantánea la falla del talud.

Para el análisis de las lluvias de corta duración se recurre a Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia), las cuales son fundamentales en los diseños de obras hidráulicas. La principal limitante en su construcción radica en la existencia de registros continuos de lluvia en el tiempo los cuales son generados por estaciones de tipo pluviográfico (PG), y que demandan grandes recursos en operación y procesamiento, razón por la cual su número en una red es limitado.

Las curvas IDF se obtienen a partir de registros pluviográficos en donde cada aguacero entra a formar parte de la historia de registro de la estación, por esta razón las curvas ya construidas pueden variar en el tiempo, más aún si eventos extraordinarios de lluvia son registrados.

En el marco regional del análisis inicialmente efectuado acerca de la precipitación en el área objeto de este estudio, se puede apreciar que tan solo 5 de las 20 estaciones son de tipo pluviográfico (PG), siendo necesario obtener parámetros generalizados para posteriormente ser abordados en detalle dentro de los cálculos y diseños puntuales.

Para este propósito se cuenta con diferentes metodologías que facilitan la obtención de las curvas IDF de manera que permiten suplir la carencia de los registros pluviográficos de la precipitación. Estas metodologías se basan principalmente en la utilización de los registros de precipitación máxima en 24 horas, siendo posible elaborar las curvas por ejemplo en estaciones de tipo pluviométrico (PM).

La validación de estas metodologías depende en gran medida de las precipitaciones que se presenten en la zona en comparación con las que se tomaron como base para su construcción. Por esta razón, en este estudio se adopta el análisis previo de los resultados obtenidos al generar curvas IDF por el método tradicional y por métodos como el de Bell (1969)[1] (método tradicional calibrado con las curvas oficiales del IDEAM) y el método de Kothyari y Garde (1992)[2] para la india, cuyos resultados han orientado el desarrollo de relaciones de este tipo para el país por Vargas y Díaz-Granados (1998)[3].

[1] Bell, F. C. Generalized Rainfall - Duration – Frequency Relationships. Journal of Hydraulics Division. Vol 95 No. HY1 January 1969
[2] Kothyari U. C., Garde R. J. Rainfall Intensity- Duration – Frequency formula for India. Journal of Hydraulic Engineering. Vol 118 No. 2 February 1992
[3] Vargas, R. Diaz-Granados M. Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración – Frecuencia para Colombia. X Seminario Nacional de Hidráulica 1998

En el caso particular del área de estudio, las lluvias de intensidades altas son generadores de procesos de erosión y efectos concatenados de movimientos en masa. Por esta razón es necesario concentrar los esfuerzos en un manejo adecuado de la escorrentía extrema para evitar que se deriven nuevos problemas aun existiendo obras para el manejo hidráulico.

7.7.5. CURVAS IDF PARA EL SECTOR BUENAVISTA

Como se mencionó anteriormente, para hacer comparativo y representativo el análisis regional dentro del contexto del presente estudio, se elaboraron curvas IDF sintéticas empleando la metodología de Bell (1969), ampliamente utilizada en otros estudios en nuestro medio y que permite obtener, en comparación con otros métodos, curvas IDF con distribución adecuada a las condiciones del terreno sin subestimar los efectos de la precipitación de corta duración (entre 0 y 180 minutos) para diferentes periodos de recurrencia. Este método se basa en los registros de precipitación máxima en 24 horas y los valores estadísticos obtenidos de la serie de valores anuales.

Las curvas IDF obtenidas fueron calibradas con la IDF oficial del IDEAM para la Estación UIS (2319504). Para el caso de estudio particular en el sector Buenavista, se recomienda emplear la curva IDF de la estación más cercana, en este caso la Estación CDMB la cual se presentan a continuación:

CURVAS DE INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA
13. CDMB

Pmax 24h:	58,6 mm	Promedio de las máximas anuales
Smax 24h	11,2 mm	Desviación standard de la serie
Relación Cp:	0,63	Relación entre horaria y diaria

PERIODO DE RETORNO TR (AÑOS)	INTENSIDADES MÁXIMAS EN MM/HORA PARA DURACIONES ENTRE 10 Y 180 MINUTOS						
	10	20	30	60	90	120	180
2	67,9	55,2	47,7	35,9	29,9	26,1	21,5
5	82,5	67,1	57,9	43,6	36,3	31,8	26,2
10	92,2	74,9	64,7	48,6	40,6	35,5	29,2
25	104,4	84,9	73,3	55,1	45,9	40,2	33,1
50	113,4	92,2	79,6	59,9	49,9	43,7	36
100	122,4	99,5	85,9	64,6	53,9	47,1	38,8

Tabla 18. Intensidades máximas. Estación CDMB

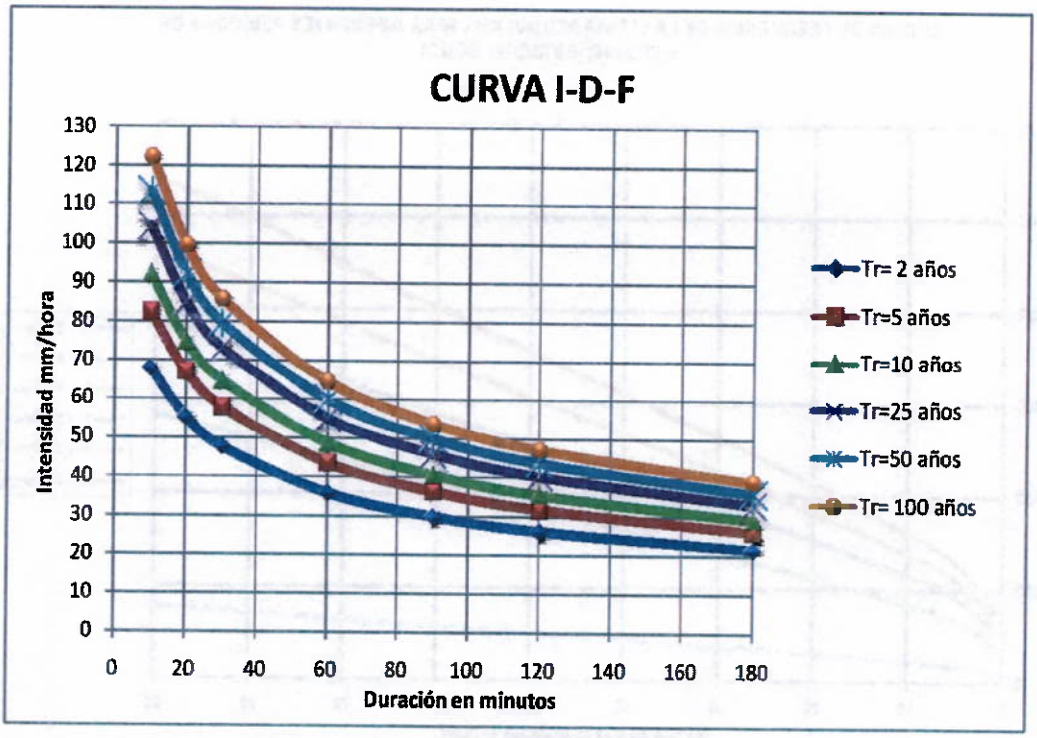


Ilustración 60 Curvas IDF Sintéticas para la Estación CDMB – Método de Bell

7.7.6. LLUVIAS ACUMULADAS PARA EL SECTOR BUENAVISTA

Finalmente, y con el ánimo de establecer valores de lluvia diaria crítica para la ocurrencia de movimientos en masa, se elaboraron curvas de frecuencias de lluvias acumuladas para diferentes periodos de tiempo.

Estas curvas para la estación CDMB se observan a continuación:

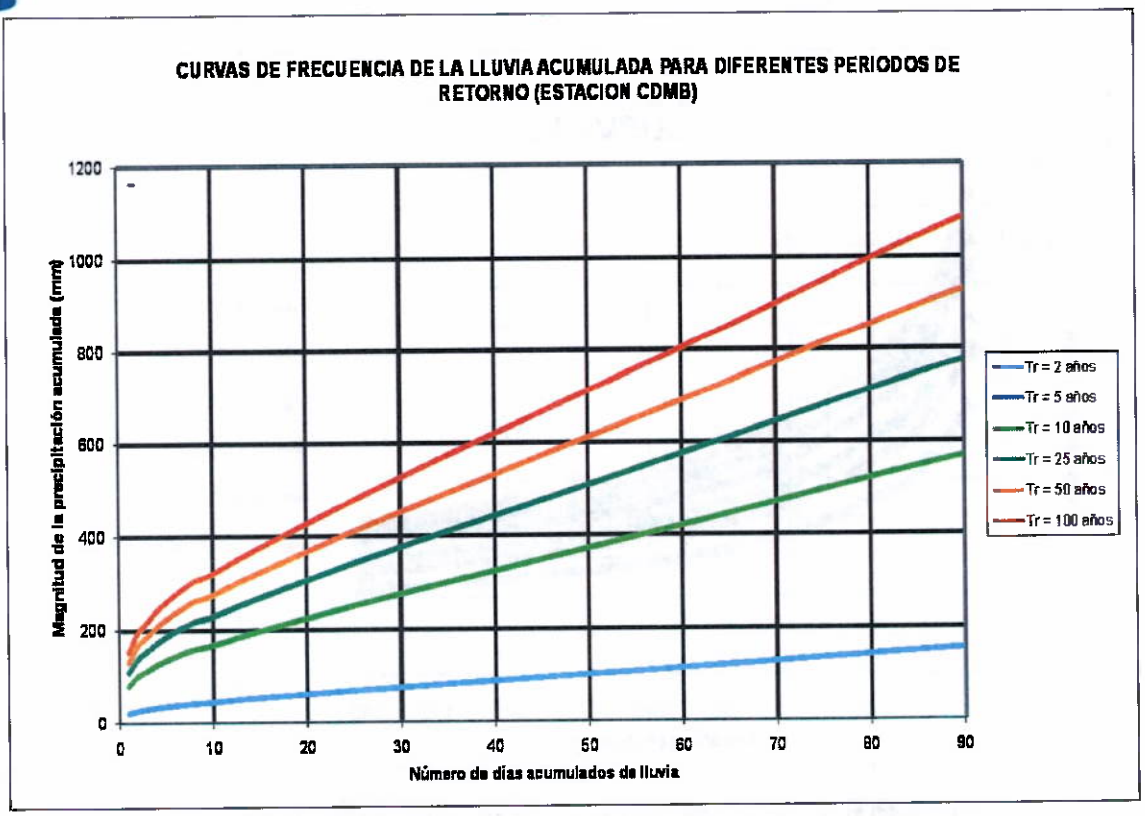


Ilustración 61 Curva frecuencia lluvia acumulada diferentes periodos retorno

Como se observa en la anterior ilustración., un valor de 119.3 mm de precipitación en un día corresponde a un periodo de recurrencia entre 10 y 25 años conforme se indica en los registros estadísticos de lluvia diaria de la estación CDMB.

PERIODO DE RETORNO	VALORES DE PRECIPITACIÓN PARA EL NÚMERO DE DÍAS ACUMULADOS INDICADO (MM)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	30	60	90	120	240	365
Tr = 2 años	21,1	26,6	30,2	33,1	35,8	38,1	40,2	42,2	43,3	44,9	53,8	74,7	113,8	155,1	186,3	319,7	452,4
Tr = 5 años	56,3	71,5	80,2	88,8	95,7	101,8	107,3	112,3	115	118,4	139,8	195,3	298,4	403,5	484,3	827,7	1165,9
Tr = 10 años	79,6	101,2	113,3	125,7	135,4	144,1	151,7	158,8	162,4	167,2	196,7	275,2	420,7	568	681,6	1164	1638,4
Tr = 25 años	109,1	138,7	155,1	172,3	185,6	197,4	207,7	217,5	222,4	228,7	268,6	376,1	575,1	775,9	930,9	1589	2235,4
Tr = 50 años	130,9	166,6	186,2	206,9	222,8	237	249,3	261	266,9	274,4	322	451	689,7	930,1	115,9	1904,3	2678,3
Tr = 100 años	152,6	194,2	217	241,2	259,7	276,3	290,6	304,3	311	319,7	374,9	525,3	803,5	1083,1	1299,5	2217,2	3117,8

Tabla 19. Resultados curva de frecuencia lluvia acumulada Estación CDMB.

7.7.7. CALCULO DE LA ESCORRENTIA

Es necesario anotar que las corrientes naturales han sido interpretadas como los cursos de agua posibles de formarse luego de un aguacero y no corrientes permanentes.

Teniendo en cuenta que dentro de la solución de estabilidad propuesta en el sector deberá darse manejo a la escorrentía producida, es de anotar que el coeficiente de escorrentía en estas zonas es tendiente a uno en la medida en que el urbanismo se consolida. Para estimar los caudales de escorrentía a manejar en las obras, se emplea dentro del análisis hidrológico el Método Racional, dado que se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, naturales o urbanas, y preferiblemente en extensiones menores a las 10 hectáreas como en este caso.

Se representa con la siguiente expresión dimensional:

CALCULO DE LA ESCORRENTIA			
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**SIGLA**	**EXPRESIÓN**
CAUDAL PICO DE LA ESCORRENTIA QUE SE GENERA A LA SALIDA DE UNA CUENCA O ÁREA VERTIENTE EN M^3/S	M3/S	Q	$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$
ÁREA QUE CONCENTRA LA ESCORRENTÍA	KM^2	A	
INTENSIDAD CONSIDERADA CONSTANTE QUE TIENE EL AGUACERO DE DURACIÓN IGUAL AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LA CUENCA	MM/H	I	
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA; SU VALOR ESTÁ COMPRENDIDO ENTRE CERO Y UNO Y DEPENDE DE LA MORFOMETRÍA DE LA CUENCA Y DE SU COBERTURA		C	

La asignación de valores apropiados al coeficiente de escorrentía es subjetiva porque, aun cuando existen tablas y recomendaciones generales, la experiencia y criterio de su selección a partir de la experiencia es determinante.

La intensidad del aguacero por su parte es fundamental en los volúmenes resultantes y por ello se realizó el análisis de las lluvias de corta duración y se identificó la estación más próxima a este lugar.

La aplicación del Método Racional induce a sobreestimar los caudales de creciente[4] y por esta razón Silva (1995) no recomienda su uso en cuencas mayores de 1 km^2.

De las imágenes presentadas dentro de este informe, se estima teniendo en cuenta la cobertura actual del terreno, que el coeficiente de escorrentía puede estar entre valores de 0.25 y 0.40, como ya se mencionó, dada la ocupación del terreno con viviendas, ya que etas se ubican solo en la parte alta de la ladera, mientras que en las cercanías de la confluencia del drenaje natural se encuentra altamente revegetalizado, y se encuentra en buenas condiciones, es decir no se evidencias problemas de erosión.

Este factor es muy importante en la medida en que refleja con qué porcentaje la lluvia se traduce en caudal y alimenta el drenaje superficial. El criterio en este estudio será conservador dada la presión que existe sobre el suelo para ocupación ilegal.

Así mismo, dada la pequeña extensión de las áreas vertientes en análisis asemejadas a cuencas de drenaje y su pendiente longitudinal, se concluye que los tiempos de concentración son reducidos.

[4] Silva G , Hidrologia aplicada Universidad Nacional de Colombia. 1995

TYPE OF DRAINAGE AREA		RUNOFF COEFFICIENT, C*
BUSINESS:		
	DOWNTOWN AREAS	0,70 - 0,95
	NEIGHBORHOOD AREAS	0,50 - 0,70
RESIDENTIAL:		
	SINGLE - FAMILY AREAS	0,30 - 0,50
	MULTI - UNITS, DETACHED	0,40 - 0,60
	MULTI - UNITS, ATTACHED	0,60 - 0,75
	SUBURBAN	0,25 - 0,40
	APARTMENT DWLLING AREAS	0,50 - 0,70
INDUSTRIAL:		
	LIGHT AREAS	0,50 - 0,80
	HEAVY AREAS	0,60 - 0,90
PARKS, CEMENTERIES		0,10 - 0,25
PLAY GROUNDS		0,20 - 0,40
RAILROAD YARD AREAS		0,20 - 0,40
UNIMPROVED AREAS		0,10 - 0,30
LAWNS:		
	SANDY SOIL, FLAT, 2%	0,05 - 0,10
	SANDY SOIL, AVERAGE, 2% - 7%	0,10 - 0,15
	SANDY SOIL, SLEEP, 7%	0,15 - 0,20
	HEAVY SOIL, FIAT, 2%	0,13 - 0,17
	HEAVY SOIL, AVERAGE, 2% - 7%	0,18 - 0,22
	HEAVY SOIL, SLEEP, 7%	0,25 - 0,35
STREETS:		
	ASPHALTIC	0,70 - 0,95
	CONCRETE	0,80 - 0,95
	BRICK	0,70 - 0,85
DRIVES AND WALKS		0,75 - 0,85
ROOFS		0,75 0,95
HIGUER VALUES ARE USUALLY APPROPRIATE FOR STEEPLY ALOPED AREAS AND LONGER RETURN PERIODS BECAUSE INFOLTRATION AND OTHER LOSSER HAVE A PROPORTIINALLY SMALTER EFFECT ON RUNOFF IN THESE CASES		

Tabla 20. Coeficientes de escorrentía.

No obstante, lo anterior y a fin de demostrar esta condición del terreno, se calculan los tiempos de concentración de trayectorias de escorrentía directa sobre el terreno representativas, como lo es la localizada en la parte sur central del área de estudio detallado.

ECUACIÓN DE KIRPICH (1940)

ECUACIÓN DE KIRPICH (1940)			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIGLA	EXPRESIÓN
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	MIN	tc	$t_c = 60\left(\frac{0.06628\,L^{0.77}}{S^{0.385}}\right)$
LONGITUD DEL RIO DESDE AGUAS ARRIBA HSTA LA SALIDA	KM	L	
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA	M/M	S	

FORMULA DE FEDERAL AVIATION AGERNCY (1970)

FORMULA DE FEDERAL AVIATION AGENCY (1970)			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIGLA	EXPRESIÓN
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	MIN	tc	$t_c = 3.26036\frac{(1.1-C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA DE MÉTODO RACIONAL. VER TABLA 17		C	
LONGITUD DEL FLUJO SUPERFICIAL	M	L	
PENDIENTE DE LA SUPERFICIE	%	S	

CONSORCIO CONSULTORIA GEOTECNIA	DATOS DE LA MICROCUENCA	UNIDAD	RESULTADOS
	AREA	Km²	0.79
	COTA SUP.	msnm	1345.00
	COTA INF.	msnm	1004.00
	LOG. CAUCE	km	2.10
	COEF. DE ESCORRENTIA		0.25
	TC KIRPICH	min	14.10
	TC Aviaton Agence	**min**	**50.20**
	TIEMPO DE CONCENTRACION	min	14.19
	PENDIENTE	m/km	162.38
	AREA	Ha	79.00

Tabla 21. Cálculo del tiempo de concentración Tc

De acuerdo a los resultados obtenidos en el tiempo de concentración, se establecen las intensidades máximas de precipitación conforme a las curvas IDF como se muestra en la siguiente tabla:

PERIODO DE RETORNO	INTENSIDADES MÁXIMAS ESTACIÓN LA CDMB EN MM/H	
	DURACIÓN 10 MINUTOS	DURACIÓN 20 MINUTOS
Tr = 50 AÑOS	113,40	92,20
Tr = 100 AÑOS	122,40	99,50

Tabla 22. Intensidades máximas para la Estación La CDMB

Con los anteriores valores y aplicando el Método Racional se obtienen los caudales máximos para los diferentes periodos de recurrencia de los aguaceros que producen a su vez los picos de escorrentía.

Es por ello necesario establecer las áreas de drenaje de la ladera de incidencia directa para las estructuras conforme la propuesta de estabilización particular a fin de controlar la degradación de la ladera.

7.7.8. DIMENSIONMIENTO CANALETAS DE CORONACIÓN

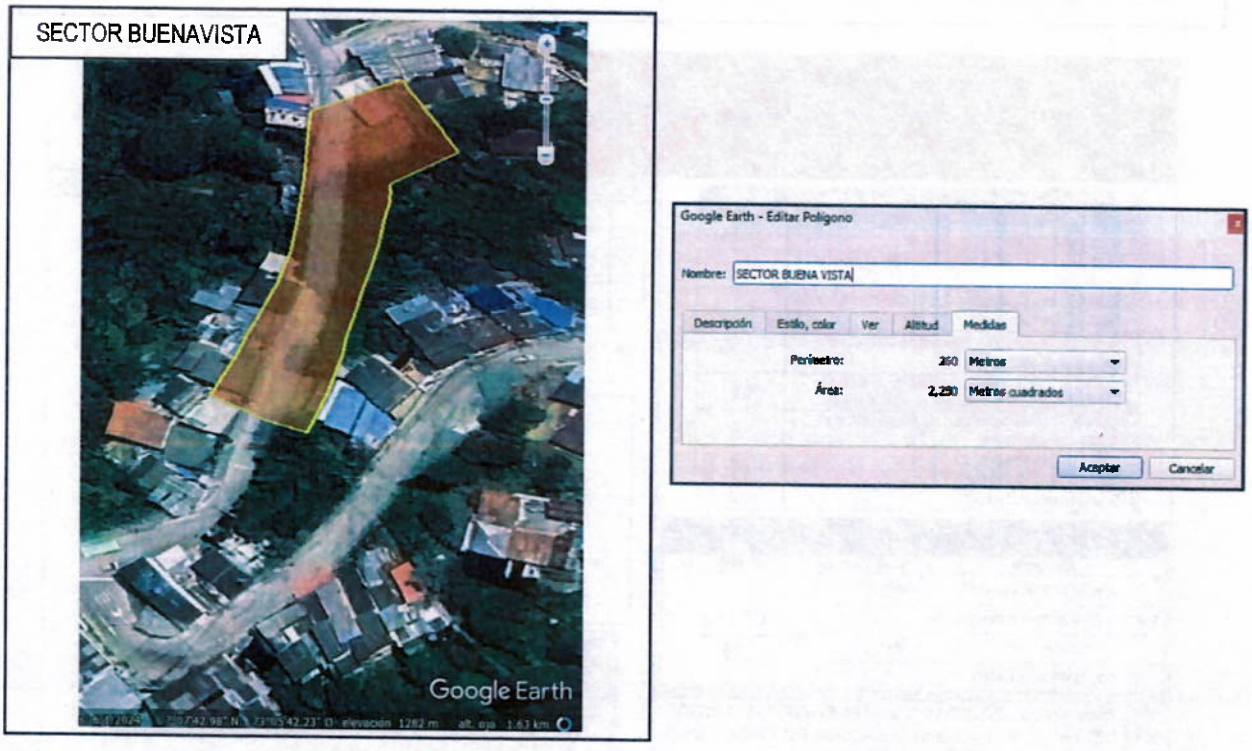


Ilustración 62 Área de aporte a las obras de manejo de agua superficial del sector Buenavista

Cálculo del tirante normal, sección parabólica

Lugar	BUENAVISTA	Proyecto	CDMB 210.16218.4 - 2025
Tramo	Z. AFERENTES S. COMUNAL	Revestimiento	CONCRETO

Datos:

Caudal (Q):	0.0306	m3/s
Espejo de agua (T):	0.7	m
Rugosidad (n):	0.015	
Pendiente (S):	0.01	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0,0743	m	Perímetro (p):	0,7211	m
Area hidráulica (A):	0,0347	m2	Radio hidráulico (R):	0,0481	m
Foco de la parábola (k):	0,8238	m	Velocidad (v):	0,8820	m/s
Número de Froude (F):	1,2648		Energía específica (E):	0,1140	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Calcular | Limpiar Pantalla | Imprimir | Menú Principal | Calculadora

DIMENSIONAMIENTO CANALETAS DE CORONACION

CONSORCIO
CONSULTORIA GEOTECNIA

COEFICIENTES DE ESCORRENTIA RECOMENDADOS - RAS 2000	
ZONAS COMERCIALES O INDUSTRIALES	0,60 - 0,95
RESIDENCIAL, CON CASAS ANTIGUAS, PREDOMINIO DE ZONAS DURAS	0,75
RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR, CON BLOQUES CONTIGUOS Y ZONAS DURAS ENTRE ESTOS	0,60 - 0,75
RESIDENCIAL UNIFAMILIAR, CON CASAS CONTIGUAS Y PREDOMINIO DE JARDINES	0,40 - 0,60
RESIDENCIAL, CON CASAS RODEADAS DE JARDINES O MULTIFAMILIARES APRECIABLEMENTE SEPARADAOS	0 45
RESIDENCIAL, CON PREDOMINIO DE ZONAS VERDES Y PARQUES - CEMENTERIOS	0,30
LADERAS SIN VEGETACIÓN	0,60
LADERAS CON VEGETACIÓN	0,30
PARQUES RECREACIONALES	0,20

CALCULO DE LA ESCORRENTIA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIGLA	EXPRESIÓN
CAUDAL CAPTADO POR LA CANALETA	M3/S	Q	$Q = \frac{C*I*A}{3.6}$
ÁREA DE APORTE A LAS OBRAS DE MANEJO DE AGUA	KM²	A	
INTENSIDAD DE LLUVIA	MM/H	I	
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA		C	

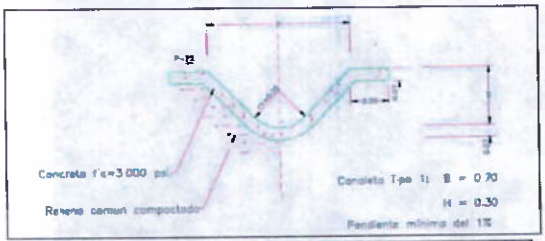
LA ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES SE HARÁ ENTONCES UTILIZANDO EL MÉTODO RACIONAL Y LA FÓRMULA RACIONAL ESTÁ BASADA EN LA HIPÓTESIS DE KRIMGOLD

DATOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO

C	0,4	ADIMENSIONAL
I	122,4	MM/H
A	2250	M^2

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

$$\frac{0,4 \times 122 \times 2250}{3,6} = 30,6 \frac{Lt}{seg} \quad 0,0306 \frac{m3}{seg}$$



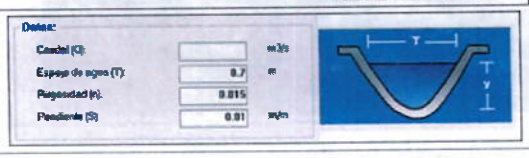


Ilustración 63 Capacidad hidráulica, canaleta proyectada

VARIABLES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS

COFICIENTE DE RUGOSIDAD:

Es un valor determinado de acuerdo con el acabado de las paredes de los canales, canaletas, disipadores o tuberías, por lo cual es dependiente del material utilizado en la construcción, Manning define dicho coeficiente de acuerdo a la siguiente tabla:

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" DE MANNING[5]

CORRIENTES NATURALES	NUMERO DE MANNING
LIMPIAS, ORILLAS RECTAS, FONDO UNIFORME, ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA SUFICIENTE	0,027 - 0,033
LIMPIAS, ORILLAS RECTAS, FONDO UNIFORME, ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA SUFICIENTE, ALGO DE VEGETACIÓN	0,033 - 0,004
LIMPIAS, MEANDROS, EMBALSES Y REMOLINOS DE POCA IMPORTANCIA	0,035 - 0,050
LENTAS, CON EMBALSES PROFUNDOS Y CANALES RAMIFICADOS	0,060 - 0,080
LENTAS, CON EMBALSES PROFUNDOS Y CANALES RAMIFICADOS, VEGETACIÓN DENSA	0,100 - 0,20001
RUGOSAS, CORRIENTES EN TERRENO ROCOSO DE MONTAÑA	0,050 - 0,080
ÁREAS DE INUNDACIÓN ADYACENTES AL CANAL ORDINARIO	0,030 - 0,2001
CUNETAS Y CANALES REVESTIDOS	**NUMERO DE MANNING**
HORMIGÓN	0,013 - 0,017
HORMIGÓN REVESTIDO CON GUNITA	0,016 - 0,022
ENCACHADO	0,20 - 0,030
PAREDES DE HORMIGÓN, FONDO DE GRAVA	0,017 - 0,020
PAREDES ENCACHADAS, FONDO DE GRAVA	0,023 - 0,033
REVESTIMIENTO NITUMINOSO	0013 , 0,016
CUNETAS Y CANALES SIN REVESTIR	**NUMERO DE MANNING**
EN TIERRA ORDINARIA, SUPERFICIE UNIFORME LISA	0,020 - 0,025
EN TIERRA ORDINARIA, SUPERFICIE IRREGULAR	0,025 - 0,035
EN TIERRA CON LIGERA VEGETACIÓN	0,035 - 0,045
EN TIERRA CON VEGETACIÓN ESPESA	0,040 - 0,050
EN TIERRA EXCAVADA MECANICAMENTE	0,028 - 0,033
EN ROCA, SUPERFICIE UNIFORME Y LISA	0,030 - 0,035
EN ROCA, SUPERFICIE CON ARISTAS E IRREGULARIDADES	0,035 - 0,045

[5]http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contenido_en_linea/leccin_2__principios_de_mecnica_de_fluidos_e_hidrulica.html.

Para el caso el lugar de estudio se tomó como coeficiente n de manning el valor de 0.015 que corresponde a cunetas revestidas de hormigón.

Talud (Z):

El valor de la pendiente de talud se asume de 1, de tal forma que el flujo lateral de ingreso al canal se realice a un ángulo de 45°

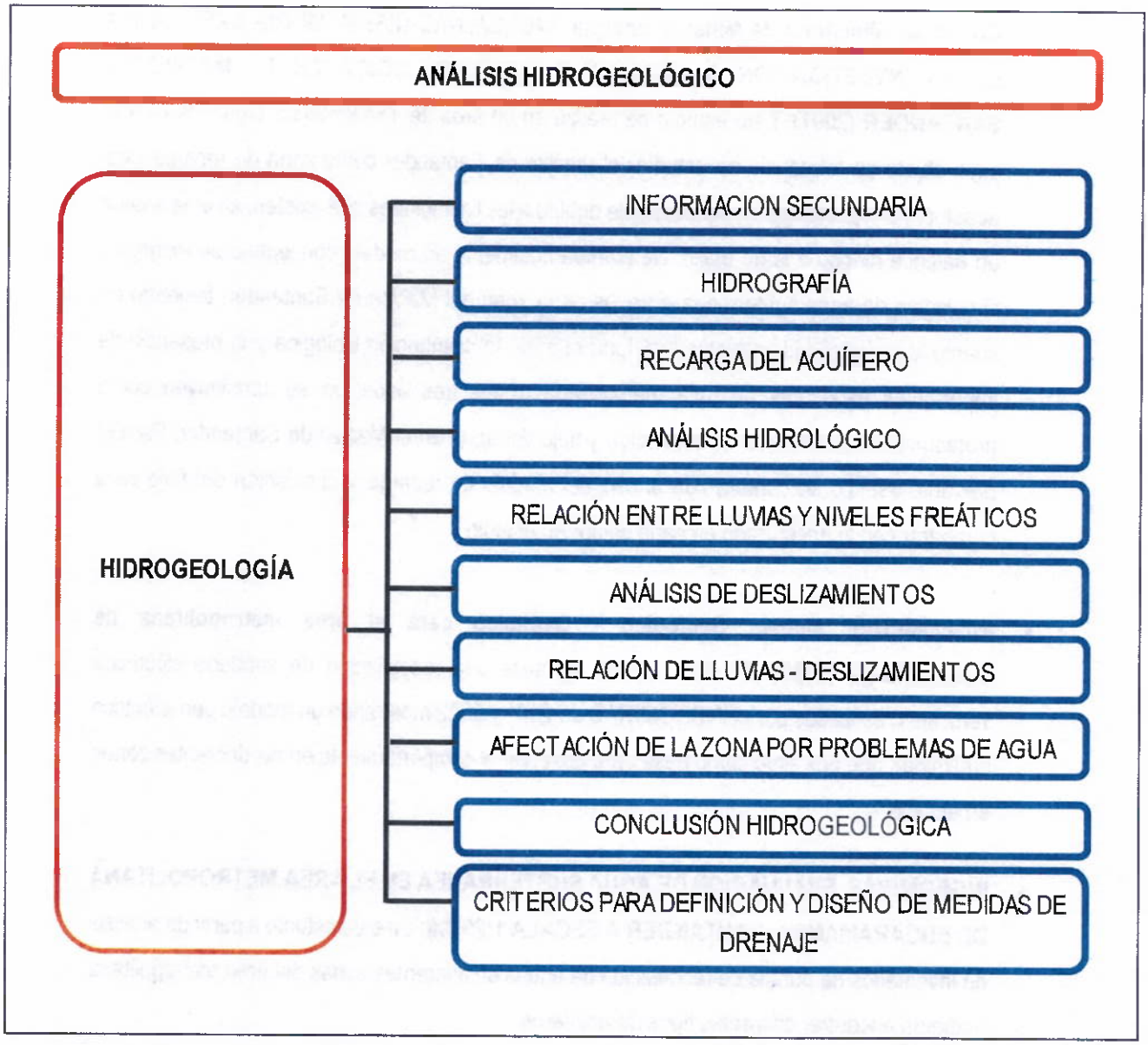
Ancho de Solera (B):

Para este caso se considera de 20 cm de tal forma que sea fácil de construir ya que se acopla a herramientas manuales comunes y a la fácil movilidad del obrero debido a que la excavación formara una base de 34 cm sobre el terreno natural.

Pendiente:

Esta se acopla con base al terreno, como se define la cuneta para captación de zona específica, esta se construirá de acuerdo con lo establecidos por el Manual de Drenaje para carreteras del INVIAS

8. HIDROGEOLOGÍA



8.1. IINFORMACIÓN SECUNDARIA

- **Colombia, Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS-UIS: MEMORIA EXPLICATIVA DE LA INVESTIGACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA EN EL MACIZO DE SANTANDER (2007).** Este estudio se realizó en un área de 134 km2 (ver siguiente figura), cuyo objeto se referencia en estudiar el macizo de Santander como zona de recarga para abastecer a la población de agua potable debido a las limitaciones que existen, en él se evalúa un balance hídrico a largo plazo. Se plantea finalmente un modelo conceptual de recarga y circulación de agua subterránea a través de la zona del Macizo de Santander, teniendo en cuenta la complejidad estructural de toda el área, la distribución litológica y la presencia de importantes espesores de roca meteorizada. Estos tres aspectos se constituyen como protagonistas del proceso de infiltración y flujo del agua en el Macizo de Santander. Para el presente estudio se contará con el uso del modelo de recarga y circulación del flujo para comparar con lo encontrado en cada sector en estudio.

- **INGEOMINAS, Modelo Geológico - Geofísico para el área metropolitana de Bucaramanga (2004).** En este estudio se hace una recopilación de sondeos eléctricos verticales realizados por el INGEOMINAS en 2001 y 2002 mostrando un modelo geo-eléctrico preliminar, que nos sirve como base para observar el comportamiento en las diferentes zonas en estudio.

- **INGEOMINAS, EVALUACION DE AGUA SUBTERRANEA EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, SANTANDER A ESCALA 1:25000:** En este estudio a partir de análisis de inventarios de puntos de recolección de aguas en diferentes zonas del área metropolitana pudieron encontrar diferentes tipos de acuíferos:

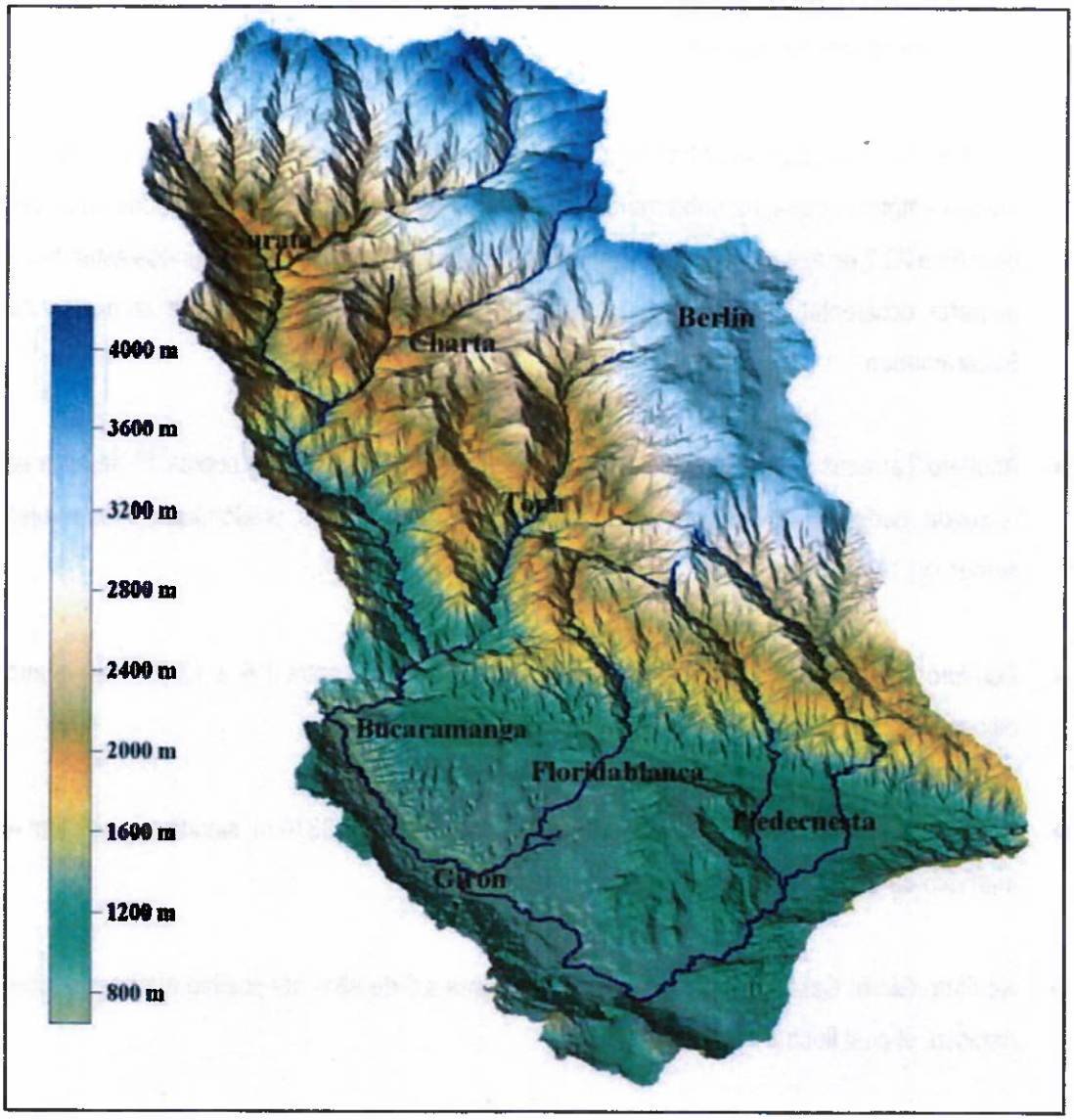


Ilustración 64 Localización cuenca en estudio con un área de 464km². Tomado de INGEOMINAS, 2007.

- Acuífero Órganos: Este acuífero fue captado por 13 pozos de los cuales 6 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran entre 3.2 a 37.5 m, encontrándose los niveles más profundos hacia la parte occidental del acuífero, es decir, hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga. Este también fue captado por 6 aljibes de los cuales 5 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran a profundidades que fluctúan entre 0.1 a 19 m y al igual que sucede

con los niveles estáticos medidos en los pozos, los niveles más profundos se encuentran hacia la parte occidental del acuífero.

- Acuífero Gravoso: Se encuentran 12 pozos de los cuales para 7 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran a profundidades que van de 2.65 a 22.2 m; al igual que para el acuífero Órganos los niveles más profundos están hacia la parte occidental del acuífero, es decir hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga.

- Acuífero Terrazas y depósitos aluviales: Captado por 19 aljibes de los cuales 17 de ellos se le puede medir el nivel estático. Los niveles varían entre 0 y 9.2m, predominando los niveles someros.

- Acuífero depósitos coluviales: Los niveles estáticos oscilan entre 1.4 a 13.7 m. en cuatro aljibes se pudo medir el nivel estático y va de 0.9 a 2.2 m.

- Acuífero Macizo de Santander: Se encuentra entre los 1400 a 3370 m, siendo 1600-200 m el intervalo de altura más predominante.

- Acuífero Girón: Captado por 11 pozos de los cuales a 6 de ellos fue posible medirles el nivel estático, el cual fluctúa entre 0.4 y 9.5 m.

- **CDMB - Gómez Sully. RELACIONES ENTRE NIVELES FREATICOS, PRECIPITACIONES Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES-1989:** Este estudio recopila información meteorológica, piezómetro e información de deslizamientos del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de observar el comportamiento de los niveles con base en las precipitaciones y su influencia en la escarpa occidental en todo lo que tiene que ver con la ocurrencia de deslizamiento. Para el presente estudio la base y uso de información será de suma importancia ya que evalúa hidrogeológicamente la terraza de Bucaramanga, que el lugar donde se asienta el sector en estudio.

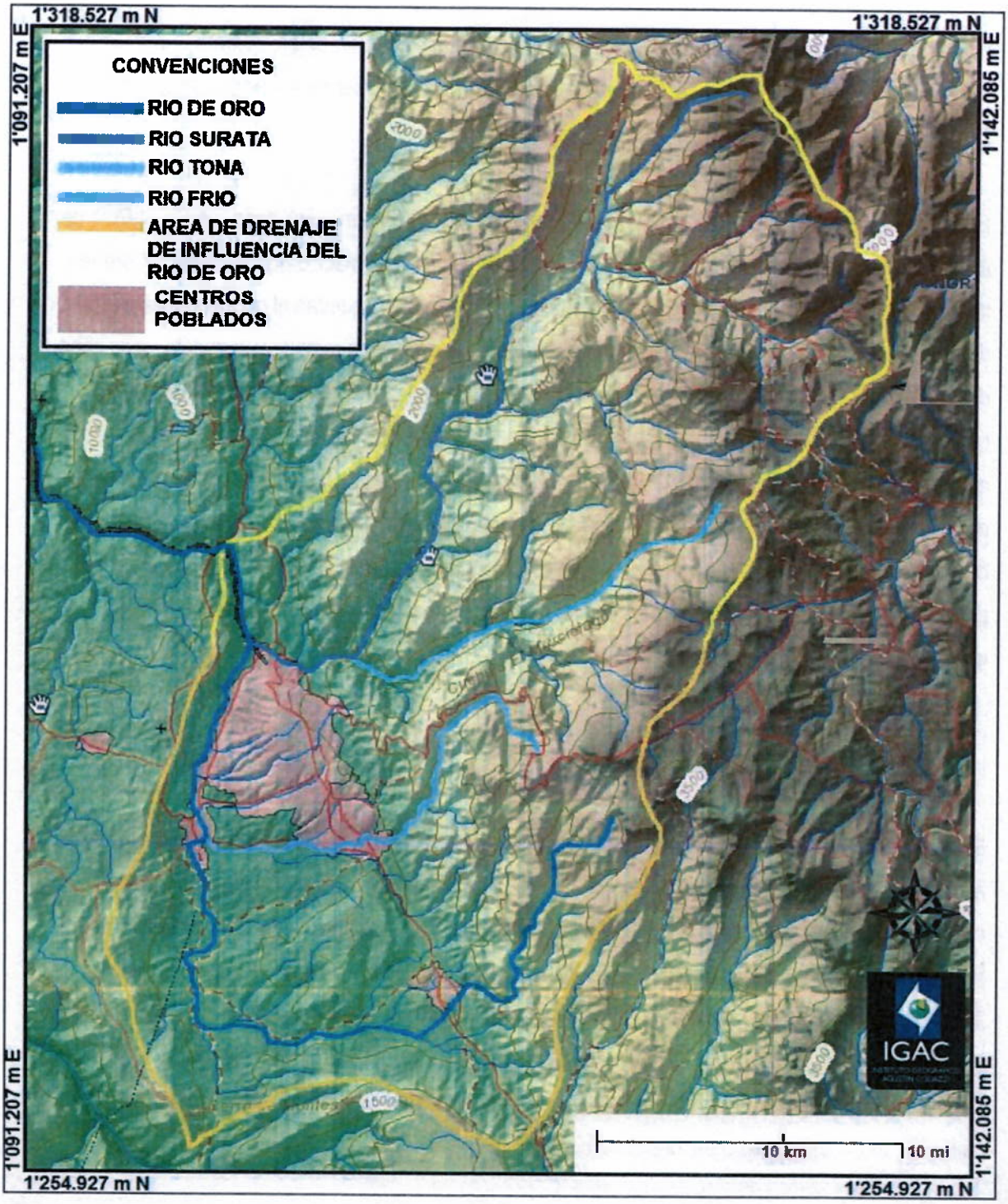


Ilustración 65 Mapa de localización de las principales afluentes de drenaje del área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia (Cuenca superior rio Lebrija. Fuente: IGAC – Autores).

8.2. HIDROGRAFÍA

Los ríos principales del área metropolitana de Bucaramanga son el Rio de oro, Surata, Toná, rio frio, y las quebradas de La flora, Honda, Chiquita, suratoque, La iglesia, Quebrada seca, Cacique, El Horno, san Isidro, Las Navas, La Rosita y Bucaramanga.

El rio de oro es uno de los más importantes que atraviesan el área metropolitana, según el POT de Bucaramanga, este se ubica en la escarpa occidental, nace en el macizo de Santander (Cordillera localizada al oriente de la falla de Bucaramanga – Santander donde quedan el páramo de santurban), desemboca en el los drenajes de Piedecuesta, la quebrada grande, suratoque y el rio loto, en la zona de girón recibe las aguas del rio frio, de la quebrada la iglesia, la quebrada chimita, la rosita que tiene como afluentes a la quebrada del loro y la quebrada seca que tiene a su vez a la quebrada la joya como afluente, estas últimas son los principales drenajes de la meseta de la ciudad de Bucaramanga, en el norte de la ciudad el rio de oro recibe al rio surata en el sector conocido como café Madrid, el cual tiene como afluente al rio toná y a la quebrada Honda, desde este sector a 8.0 Km agua abajo el rio de oro se une con el rio Negro formando el rio Lebrija en el corregimiento bocas del municipio de girón este último desembocando en el rio magdalena.

8.3. RECARGA DEL ACUÍFERO

Esta se realiza como consecuencia de las precipitaciones pluviales sobre el macizo de Santander, aunque no existe porosidad primaria en muchos de los casos ya que en este sector predominan rocas cristalinas debido al entorno geológico el cual está compuesto principalmente por unidades ígneo – metamórficas (Neis de Bucaramanga pEb – Ortogneis de Berlin pDo – Formación silgara pDs – Tonalita del páramo Rico TRt – Cuarzo monzonita de la corcova TRJc - Cuarzo monzonita de Santa Bárbara Jcs – Formación Girón Jg – Formación los Santos Kils – Formación Paja Kip y Formación Tablazo Kit) cuya porosidad y permeabilidad se limita a lo que puede ofrecer la meteorización y/o sistemas de fracturas presentes debido a la tectónica de la zona (porosidad secundaria)[6].

[6] INGEOMINAS – UIS Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander – 2007

Para el lugar de estudio, el cual se encuentra sobre depósitos del cuaternario como es la formación Bucaramanga Qb, de origen Fluvial, esta cuenta con porosidad primaria, de acuerdo a BERMOUDES Y VASQUEZ; 2004 , los cuales mencionan a los miembros Órganos (Qbo) y miembro gravoso (Qbg) como formaciones de interés Hidrológico, por su grado de porosidad e infiltración, pueden conducir y en un momento dado almacenar agua en espesores pequeños, para toda la zona urbana de Bucaramanga la recarga se genera de dos formas, la primera de manera lateral, la cual capta todo el fluido proveniente del macizo de Santander en el contacto que se especifica por la falla de Bucaramanga y la segunda hace referencia a una recarga distribuida que se da en las zonas libre de construcciones o zonas verdes localizadas en la meseta.

8.4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para la zona de estudio, de acuerdo al análisis de precipitaciones para Bucaramanga, se considera como precipitación promedio 1289 mm por año la estación meteorológica base es la floresta, que registra una intensidad de 158.3 mm/h para una concentración de 10 min y un periodo de retorno de 50 años, así mismo en esta caracterización, se reconoce que la zona de estudio tiene un régimen bimodal, lo cual se analizó en el capítulo que evalúa la hidrología de la zona en estudio. En la siguiente figura se observa un esquema del modelo hidrológico de Bucaramanga.

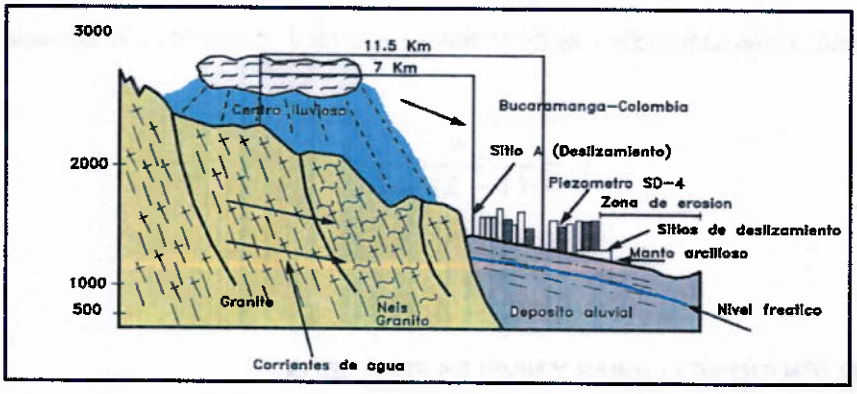


Ilustración 66 Esquema del modelo Hidrológico de Bucaramanga.[7]

[7] Tomado de Suarez Jaime. Libro de deslizamiento en zonas tropicales, capitulo 7: Lluvias, presión de poros y sus efectos.

En la figura anterior se generaliza el flujo de agua que se obtiene durante los procesos de infiltración primaria y secundaria que comienza en el masivo de Santander ingresando de manera lateral al depósito aluvial donde se ubica la zona de estudio y llega a la parte baja en la zona de Girón (Rio de Oro).

De acuerdo a ensayos registrados en el área metropolitana de Bucaramanga y a la formación aluvial descrita en el sector, se obtuvieron medidas de permeabilidad más bajos, 0.00002 m/s, siendo el más típico 0.00010 m/s a grandes profundidades (CDMB - Gómez Sully 1989[8]), además de dar a conocer un coeficiente de almacenamiento el cual es de 0.00611 y una transmisibilidad de 0.0003 m^2/s, determinándose una porosidad de 30% aproximadamente, los valores anteriores son obtenidos de una prueba de bombeo realizado y tomado del estudio de referencia.

Al comparar el ensayo de percolación realizado actualmente en la zona de estudio con los valores típicos mostrado en estudios anteriores, es posible deducir en superficie el alto contenido de infiltración el cual se reduce conforme se aumenta en profundidad, lo mismo ocurre con la porosidad ya que en superficie es superior.

En condiciones generales, cuando existe un evento de lluvia de manera normal o critica, dentro de suelo se genera un frente húmedo, el cual dependerá del grado de saturación, permeabilidad y porosidad, conociendo estas condiciones, se determina su velocidad de acuerdo a lo siguiente:

$$v = \frac{k}{(1 - S) * n}$$

8.5. RELACIÓN ENTRE LLUVIAS Y NIVELES FREÁTICOS

De acuerdo al estudio "Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes", durante el análisis el cual se realiza mediante la medición de precipitaciones

[8] CDMB - Gomez Isidro, Sully. Relaciones entre Niveles freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes

y el nivel freático en diferentes sectores del área metropolitana de Bucaramanga, se observa el incremento de los niveles piezómetros debido a eventos de lluvia, este incremento del nivel freático sucede dos meses después de ocurrida la precipitación para la zona occidental de la meseta y de manera inmediata para la zona oriental, esto se atribuye al espesor de la capa de la formación Bucaramanga, la cual es amplia al occidente y además por la presencia de la falla Bucaramanga que se encuentra al oriente y que genera mayor fracturamiento de las formaciones.

8.6. ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS

De acuerdo a los modelos hidrogeológicos, el agua infiltrada corre de oriente a occidente con un gradiente hidráulico bajo y paralela al terreno, cuando se acerca a la zona de escarpa, el gradiente aumenta y se presentan afloramientos.

Los afloramientos se presentan de dos tipos, el primero ocurre por encima o en el pie del talud, por lo cual allí se presentan mayores velocidades de flujo y fuerzas de filtración, generándose una zona crítica por la cual se debilita la superficie de contacto produciendo caídos de suelo.

El segundo tiene que ver con la obstrucción de la salida del afloramiento por depósitos de deslizamientos recientes (Coluviones). El agua fluye saturando dichas masas, produciendo así un movimiento paulatino, generando perdida de soporte del talud que soportaba el coluvión y generando fallas de corte que desembocan en un fracturamiento del terreno que favorecen en un caso dado el proceso de infiltración agilizando el deslizamiento.

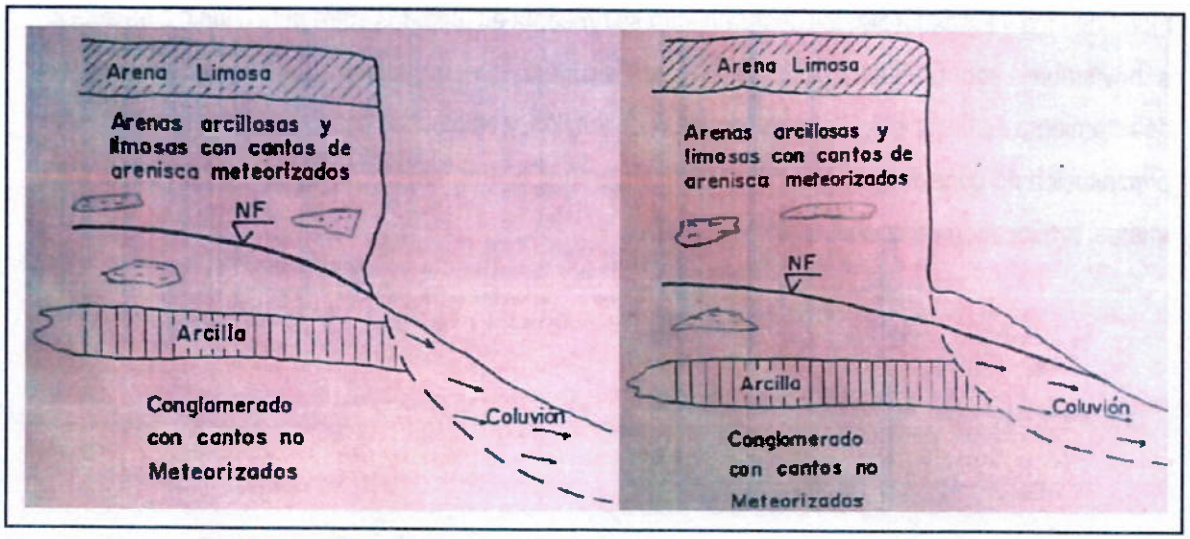


Ilustración 67 Mecanismos de falla (CDMB-Gómez Sully-1989)

Para la zona de estudio no se tiene evidencia la presencia de grandes masa de coluvión, así mismo no se evidencia la existencia de afloramientos, por lo que es poco probable la presencia de fallas causada por el acuífero existente o por saturación total del suelo, pero la falla tipo que se puede presentar si es una falla de corte que genere caídos de suelo, ya que es posible la creación de grietas de tensión generadas por los esfuerzos de cimentación debido a la cercanía de viviendas a la escarpa del sector. De acuerdo a Rankine la profundidad de la grieta a tensión se estima mediante la siguiente formula:

$$Z_{CRIT.} = \frac{2 * C}{\gamma \sqrt{\tan\left(45 - {}^{\varphi}/_{2}\right)^{2}}}$$

8.7. RELACIÓN DE LLUVIAS - DESLIZAMIENTOS

De acuerdo al estudio de la CDMB –Gómez Sully de 1989, se evidencia en el análisis de frecuencia de las lluvias en el área metropolitana de Bucaramanga y la frecuencia de los deslizamientos, se concluyó que el deslizamiento ocurre en épocas de verano y no en las épocas de lluvia, se presenta cuando han trascurrido 2 o 3 meses de la lluvia más representativa del periodo de precipitación, y en su mayoría se asocian a lluvia presentadas en periodos secos.

Para la zona de Bucaramanga (el sector de la meseta) y donde existen depósitos aluviales (Girón, Floridablanca y Piedecuesta) los deslizamiento se presenta en periodos entre abril a junio o en agosto a noviembre, son productos del aumento de acuífero que en algunas ocasiones provoca un debilitamiento de la superficie generando fallas de tensión, y en muchas ocasiones al someterse a una precipitación no considerada, genera el deslizamiento al ocurrir mayor infiltración y saturación de las grietas, provocando desprendimientos de suelos.

8.8. AFECTACIÓN DE LA ZONA POR PROBLEMAS DE AGUA

Durante el recorrido por los taludes descubiertos de la zona de estudio, no se evidencio problemas severos de inestabilidad por afloramientos de agua, se encontró problemas de erosión superficial leve por ausencia de capa vegetal.

8.9. CONCLUSIÓN HIDROGEOLÓGICA

De acuerdo a lo recopilado tanto en campo como en estudios anteriores se reconoce que el área metropolitana de Bucaramanga es de interés Hidrogeológico, reconociendo zonas potenciales de recarga por precipitación y procesos de infiltración primaria y secundaria.

La infiltración primaria se relaciona con los depósitos aluviales que se encuentran en la zona de la meseta reconocida por el servicio geológico como Formación Bucaramanga (Qb), la cual contiene dos miembros potenciales de almacenamiento y conducción de agua como son miembro órganos (Qbo) y miembro gravoso (Qbg).

La infiltración secundaria tiene que ver con el macizo de Santander y la influencia de la falla de Bucaramanga sobre este, ya que las fracturas de la roca y el grado de meteorización por tectonismo contrarrestan la baja porosidad de las formaciones localizada en el lugar.

Se define en el modelo hidrogeológico que el flujo de agua va de oriente a occidente, siendo parte impórtate del flujo base del rio de Oro, así mismo se reconoce que los procesos de infiltración generados durante los periodos de lluvia causan variaciones en los niveles freáticos asociados al acuífero y con una reacción de dos (2) meses después de acontecido el evento, haciendo énfasis a la zona occidental de la meseta ya que es allí donde existe el mayor espesor aluvial.

Debido a la existencia de flujo dentro del suelo, en las zonas de escarpe durante los años se han generado desprendimiento que pueden ser asociados al aumento y variación de los niveles freáticos después de un evento de lluvia, dicha variación no ha superado los dos metros de altura en el aumento

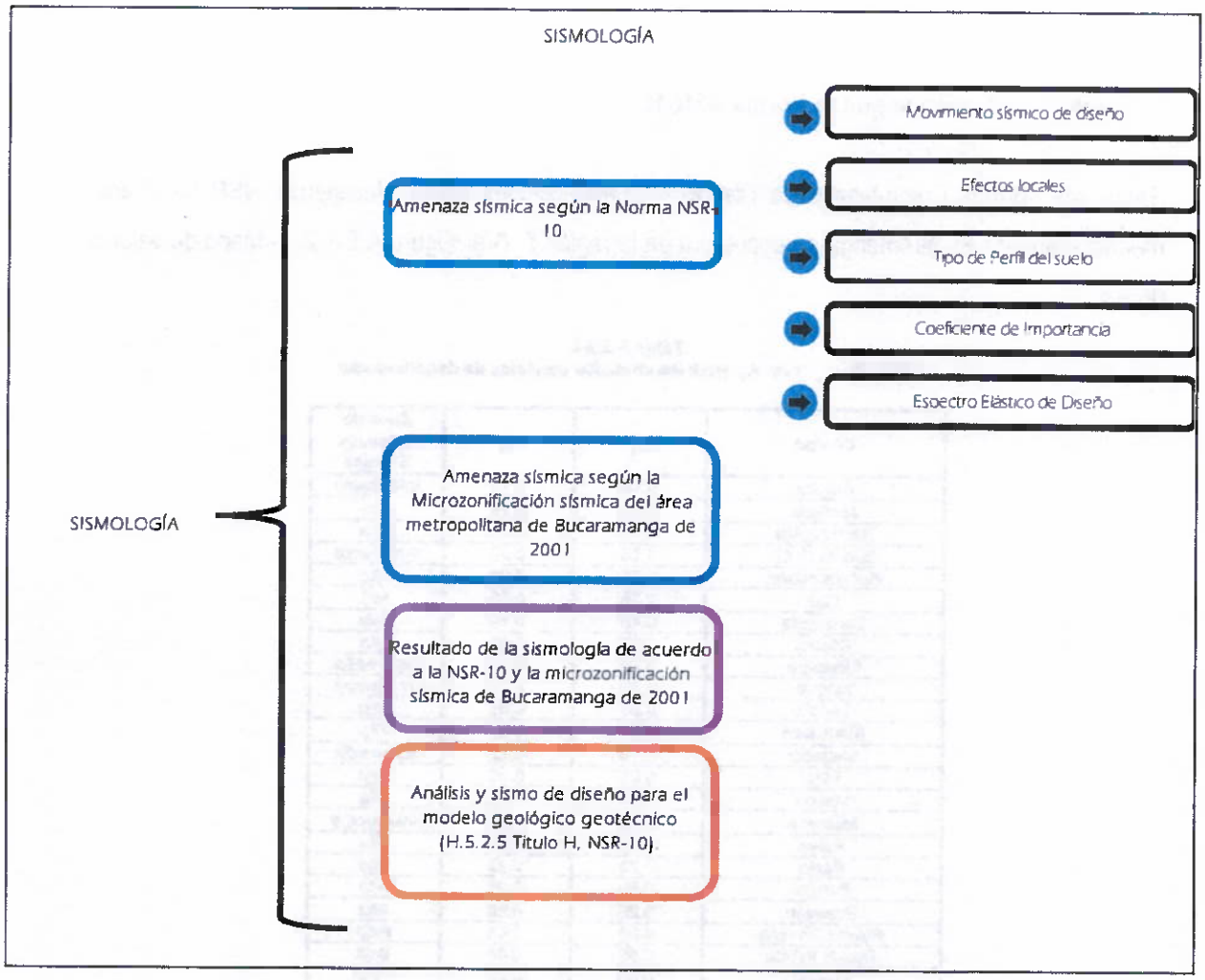
de nivel. Se asocian los deslizamientos a las precipitaciones en la zona principalmente por el afloramiento que se produce del acuífero en zonas de escarpa, dicho afloramiento genera debilitamiento de las propiedades del suelo, es decir produce inestabilidad de la base o intermedio del talud y causa un desprendimiento de la masa del suelo. Si no se produce el desprendimiento, simplemente se generaría un aumento de tensiones del suelo, lo que ocasiona grietas en la superficie, dicho fenómeno ayudara a activar la inestabilidad y producirá falla cortante inmediata cuando exista otro evento de lluvia, pero en general los deslizamientos asociados a los eventos de lluvia en el sector se producen en los meses de verano ya que la reacción del agua subterránea se genera entre dos a tres meses después de generada la precipitación.

Como la influencia sobre el talud es por precipitación, se tomará el tiempo de concentración hallado en el capítulo de análisis hidrológico para determinar ciertas características del frente húmedo el cual es la masa de agua que por efectos de la gravedad ingresa al suelo. El ingreso del frente húmedo al suelo solo se realizar por zonas descubiertas, de acuerdo al análisis de uso o cobertura del suelo, se determinó que más del 50% del área corresponde de zonas arbustivas o arbóreas, entre otras y lo demás corresponde a zona urbana, por lo cual la incidencia de la lluvia solo se presentara en la zona donde existe el escarpe, que es la única superficie no construida y que en ciertos sectores tiene deficiente cobertura vegetal, luego la incidencia de la precipitación se ve reflejada en procesos de erosión superficial o en fenómenos de desprendimiento de masa de suelo, sobre todo en el sector donde el talud es más vertical, ya que allí se generan grietas de tensión producto de las cargas de las viviendas emplazadas en el lugar, las cuales pueden ser infiltradas más rápidamente y producir la falla de corte del bloque de suelo.

8.10. CRITERIOS PARA DEFINICIÓN Y DISEÑO DE MEDIDAS DE DRENAJE

Debido a que en la zona no existen afloramientos de agua, más del 50% del área se encuentra descubierta y es propensa a generar infiltraciones, así mismo la mayor parte de la zona se encuentra como cara del escarpe, se recomienda seguir todos los criterios determinados desde el punto hidráulico ya que las medidas de drenaje que se tengan que proponer más adelante dentro de este estudio serán de control superficial.

9. SISMOLOGÍA



En el desarrollo del presente estudio, se analizaron condiciones especiales del subsuelo con el fin de efectuar modelamientos geotécnicos que contemplen los parámetros sísmicos de diseño, por lo cual se han desarrollado metodologías para la determinación de este comportamiento, por medio de fuerzas estáticas ideales, que representan el comportamiento del máximo pico de un sismo probable de acuerdo a la norma NSR 10.

Como no es viable efectuar estudios de efectos locales a todos los proyectos, debido a su complejidad y necesidad de parámetros dinámicos, que son costosos, el estado colombiano ha adoptado unas normas nacionales, donde se caracterizó, por medio de análisis regionales el comportamiento sísmico

de las zonas, de acuerdo a la estructura y actividad tectónica del área, donde se encuentra determinado municipio.

9.1. Amenaza sísmica según la Norma NSR-10.

Según las normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente, NSR-10 el área metropolitana de Bucaramanga se encuentra en la región 5. (Ver Figura A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa.

Tabla A.2.3-2
Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Tabla 23 Tabla A.2.3-2 Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento

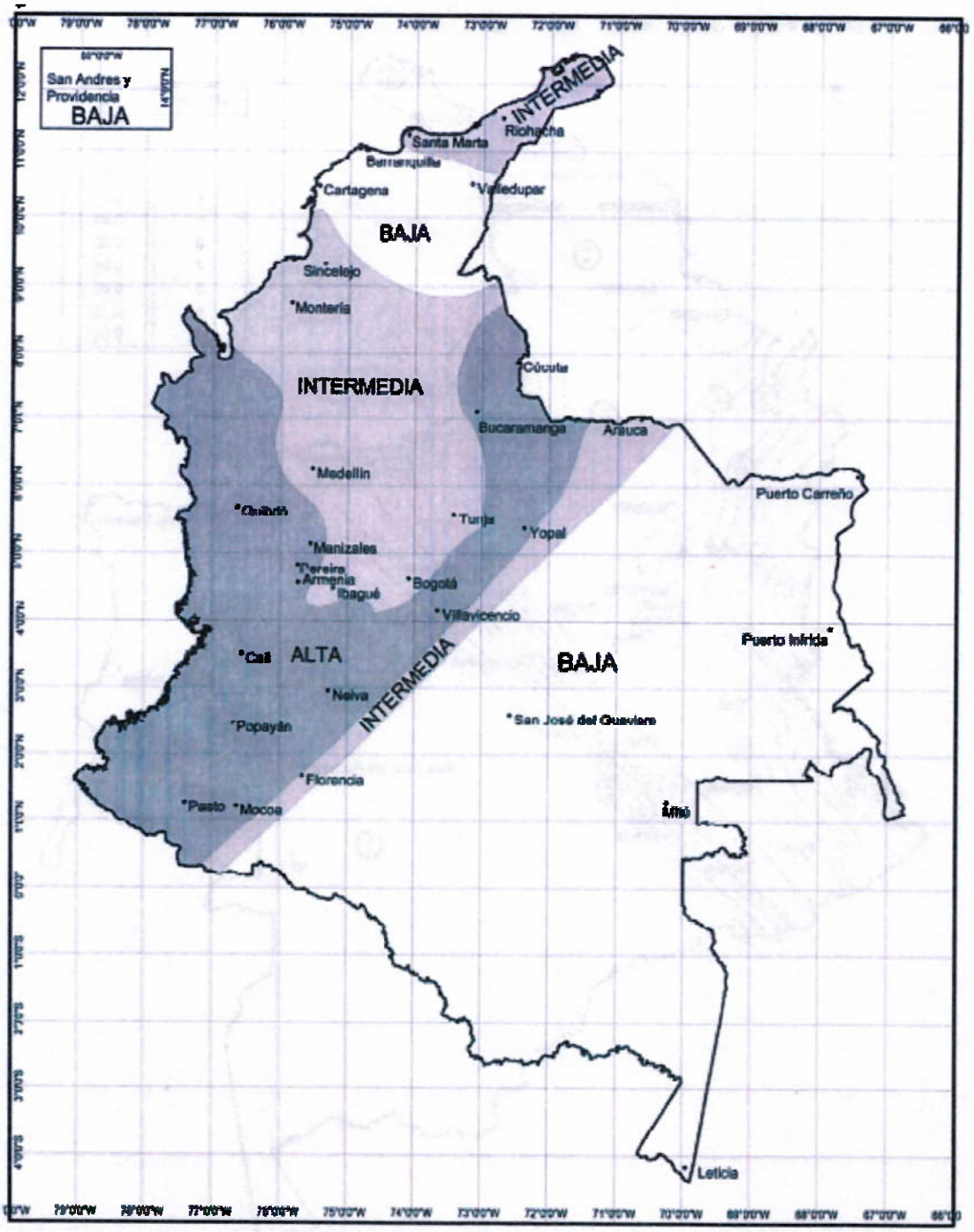


Ilustración 68 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av

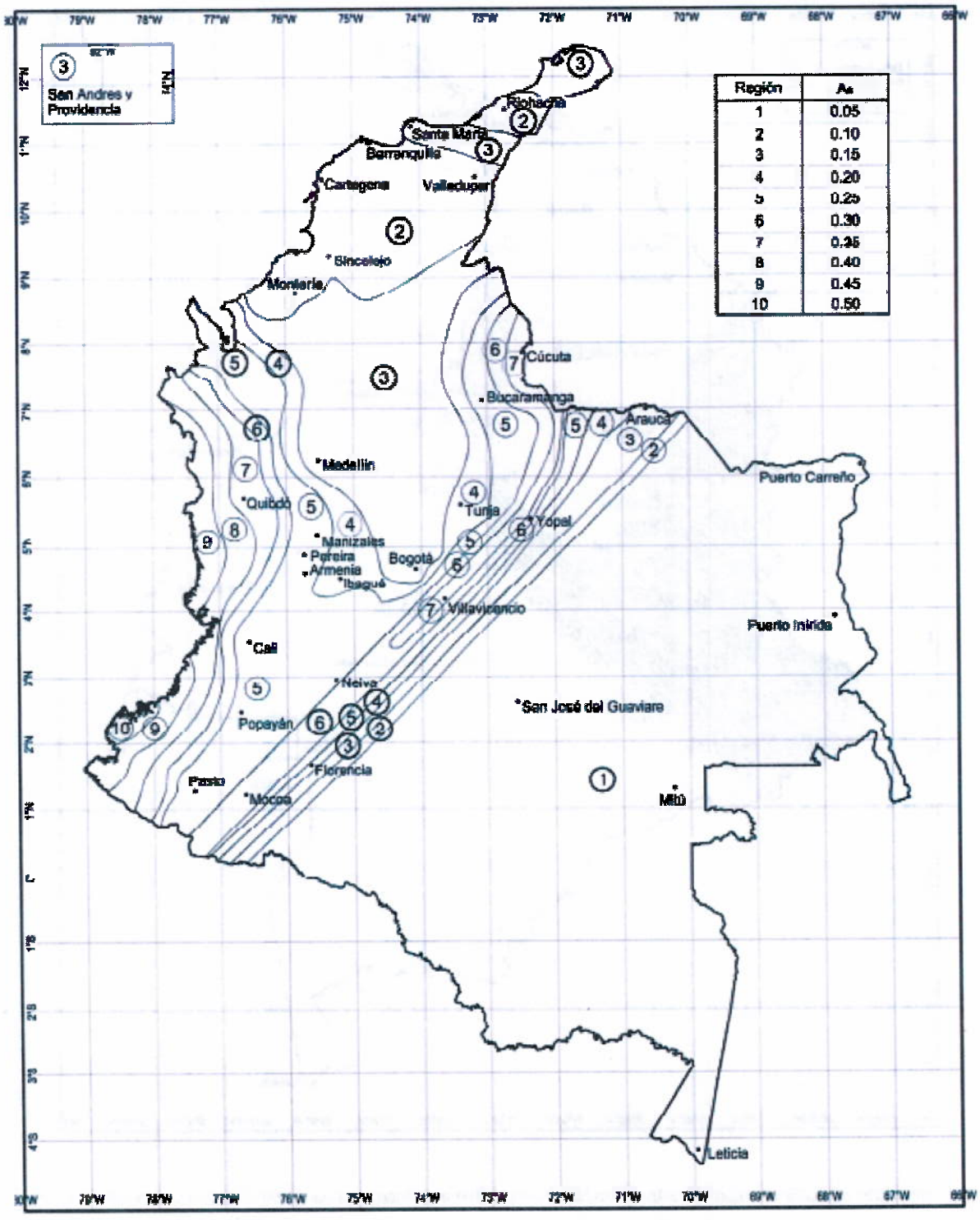


Ilustración 69 A.2.3-2 — Mapa de valores de Aa) (NSR-10)

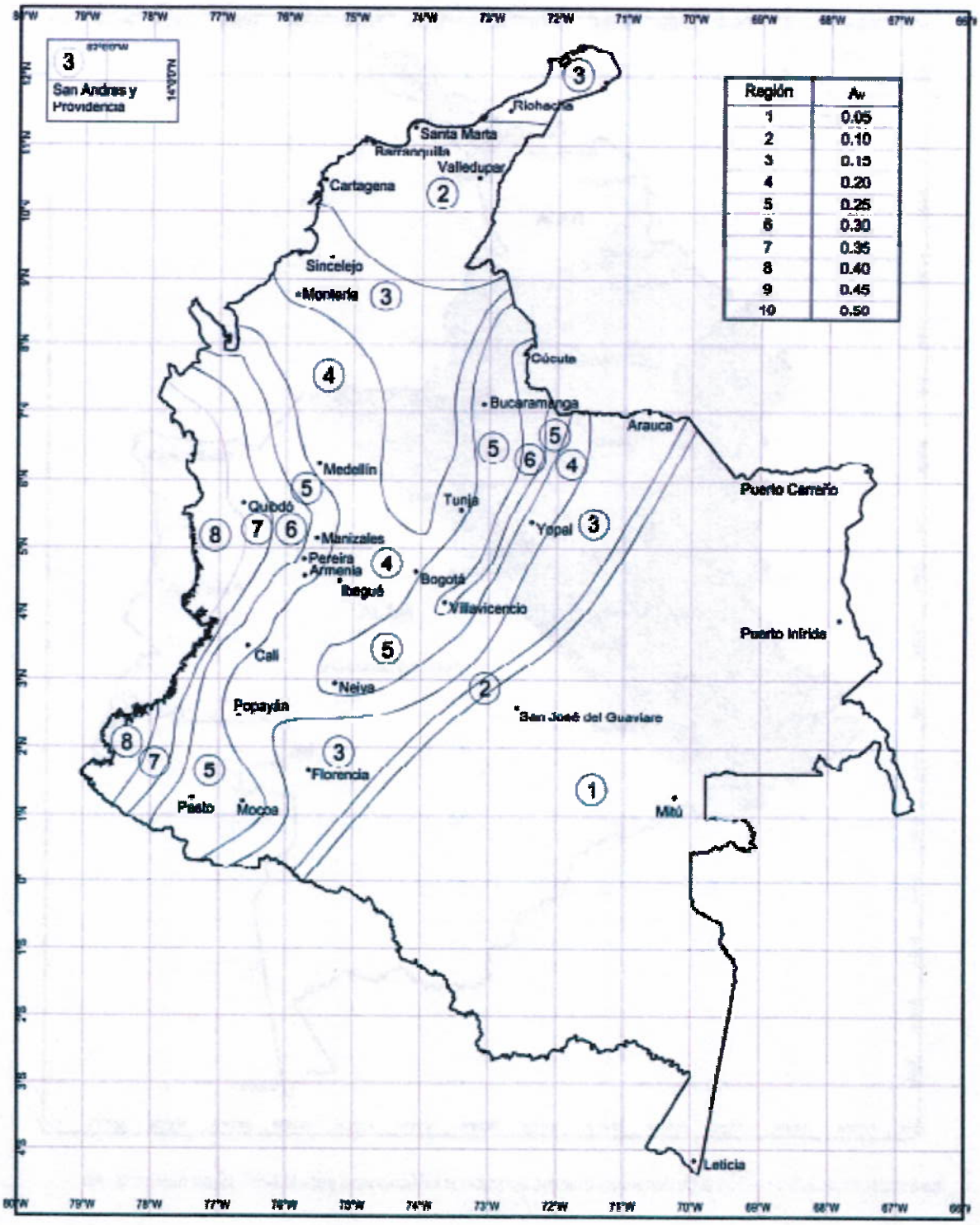


Ilustración 70 A.2.3-3 - Mapa de valores de Av) (NSR-10)

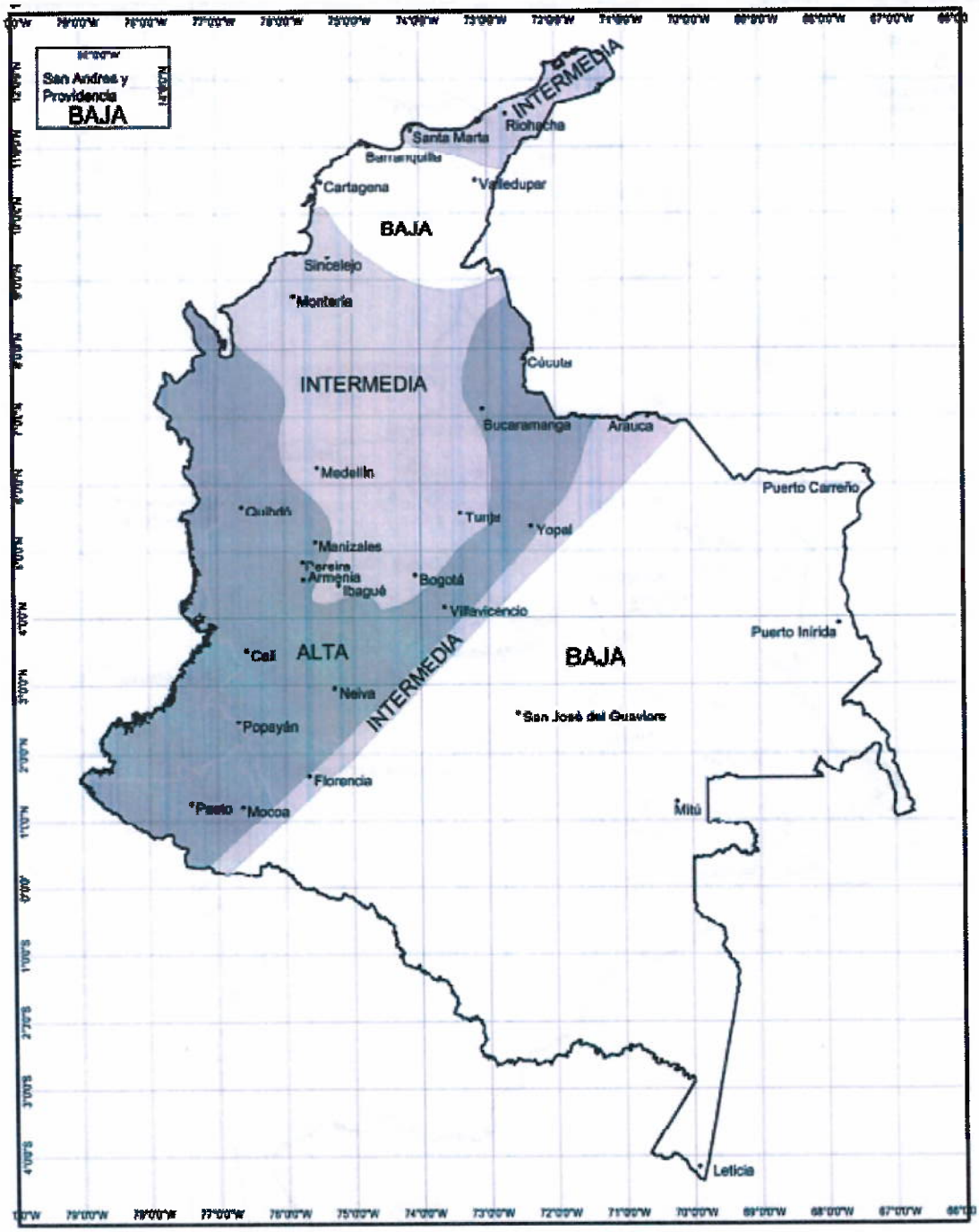


Ilustración 71 A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av (NSR-10)

Según lo anterior, el sector de estudio se define como amenaza sísmica alta. (Ver ilustración A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av). Aa = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Av = coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2. Ad= coeficiente de umbral de daño.

Con el propósito de modelar estas cargas pseudo estáticas probables, se consultaron los parámetros obtenidos del estudio a nivel nacional, realizado por la norma Sismo Resistente Colombiana NSR 10, para ingresarlos en los modelos de estabilidad geotécnica. Esta norma recomienda tener en cuenta solo la fuerza pseudo estática horizontal, ya que es la que más aporta solicitación en un evento sísmico, las demás direcciones se omiten.

Mayor valor entre Aa y Av	Asociado en mapas de las figuras A,2,3-2 y A,2,3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0,50	10	Alta
0,45	9	Alta
0,40	8	Alta
0,35	7	Alta
0,30	6	Alta
0,25	5	Alta
0,20	4	Intermedia
0,15	3	Intermedia
0,10	2	Baja
0,05	1	Baja

Tabla 24 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A

Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro Aa, y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro Av, para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años. Los valores de estos coeficientes para el Municipio de Bucaramanga, son:

Departamento	Municipio	Cod Municipio	Aa	Av	Z A S	Ae	Ad
Santander	Bucaramanga	68001	0,25	0,25	Alta	0,15	0,09

Tabla 25 Nivel de amenaza sísmica según valores de Aa y de A (NSR10)

MUNICIPIO	Bucaramanga
DEPARTAMENTO	Santander
Aa	0,25
Av	0,25

Tabla 26 Nivel de amenaza sísmica para el sector de Estudio según el municipio en el que se ubica Aa y de A (NSR10)

9.1.1. Efectos locales

El perfil de suelo debe ser determinado por el ingeniero geotecnista a partir de unos datos geotécnicos debidamente sustentados.

9.1.2. Tipo de Perfil del suelo.

Se determinan dos factores de amplificación del espectro por efectos de sitio, Fa y Fv; Fa = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional. Fv = coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional.

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	Vs ≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca de rigidez Media	1500 m/s > Vs ≥ 760 m/s
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda	760 m/s > Vs ≥ 360 m/s
		N ≥ 50 - Su ≥ 100 Kpa
D	Perfil de suelos rígidos	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
		50> N ≥ 15 - 100 Kpa > Su ≥ 50 Kpa
E	Suelos que cumplan con el criterio de Vs	180 m/s > Vs
	Espesores H mayores a 3m de arcillas blandas	IP>20 - w≥ 40% - 50 Kpa > Su
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: - F1. Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como Suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados - F2. Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H> 3m de estos materiales) - F3. Arcillas de muy alta plasticidad (H> 7.50m con IP>75) - F4. Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H>36)	

Tabla 27 A.2.4-1 Clasificación de los perfiles de suelo (NSR10)

De acuerdo a las características geológicas del terreno sobre el área de análisis, este se caracteriza por poseer un perfil de suelo TIPO C (perfil de suelos muy densos o roca blanda). Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles de suelo dados en el presente estudio independientemente del tipo de obra proyectada.

Tipo de Perfil	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS				
	Aa≤ 0,1	Aa=0,2	Aa=0,3	Aa=0,4	Aa≥ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Tabla 28 A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro. suelo (NSR10)

Tipo de Perfil	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS				
	Av≤ 0,1	Av=0,2	Av=0,3	Av=0,4	Av≥ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Tabla 29 A.2.4-4 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos intermedios del espectro.suelo (NSR10)

PERFIL DEL SUELO	D
Fa	1,3
Fv	1,9

Tabla 30 Tipo de suelo de acuerdo al título A de la NSR-10, tabla A.2.4-1 y valores de Fa (tabla A.2.4-3) y Fv (tabla A.2.4-4) suelo (NSR10)

9.1.3. Coeficiente de Importancia.

Todas las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los siguientes Grupos de Uso:

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1,50
III	1,25
II	1,10
I	1,00

Tabla 31 A.2.5-1Valores del coeficiente de importancia, I (NSR10)

Se define el grupo de tipo de uso de la estructura de mitigación que se plantee con su respectivo grupo y su coeficiente de importancia de la siguiente manera:

GRUPO DE USO	II
IMPORTANCIA	1,1
ZONA DE AMENAZA SISMICA	Alta

Tabla 32 Valores del coeficiente de importancia para el presente estudio (NSR10)

9.1.4. Espectro Elástico de Diseño.

La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño.

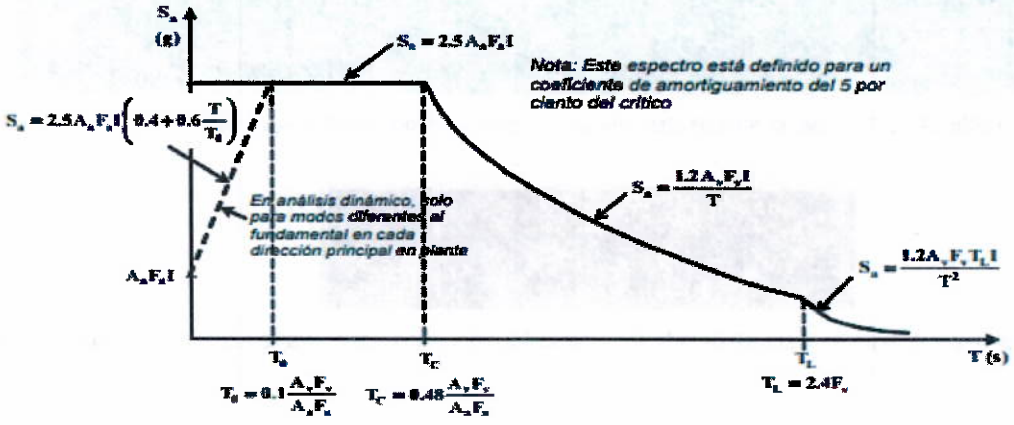


Ilustración 72 A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g (NSR-10)

	T	Sa
To	0,146	0
	0,146	0,894

	T	Sa
Tc	0,702	0
	0,702	0,894

	T	Sa
TL	4,560	0
	4,560	0,138

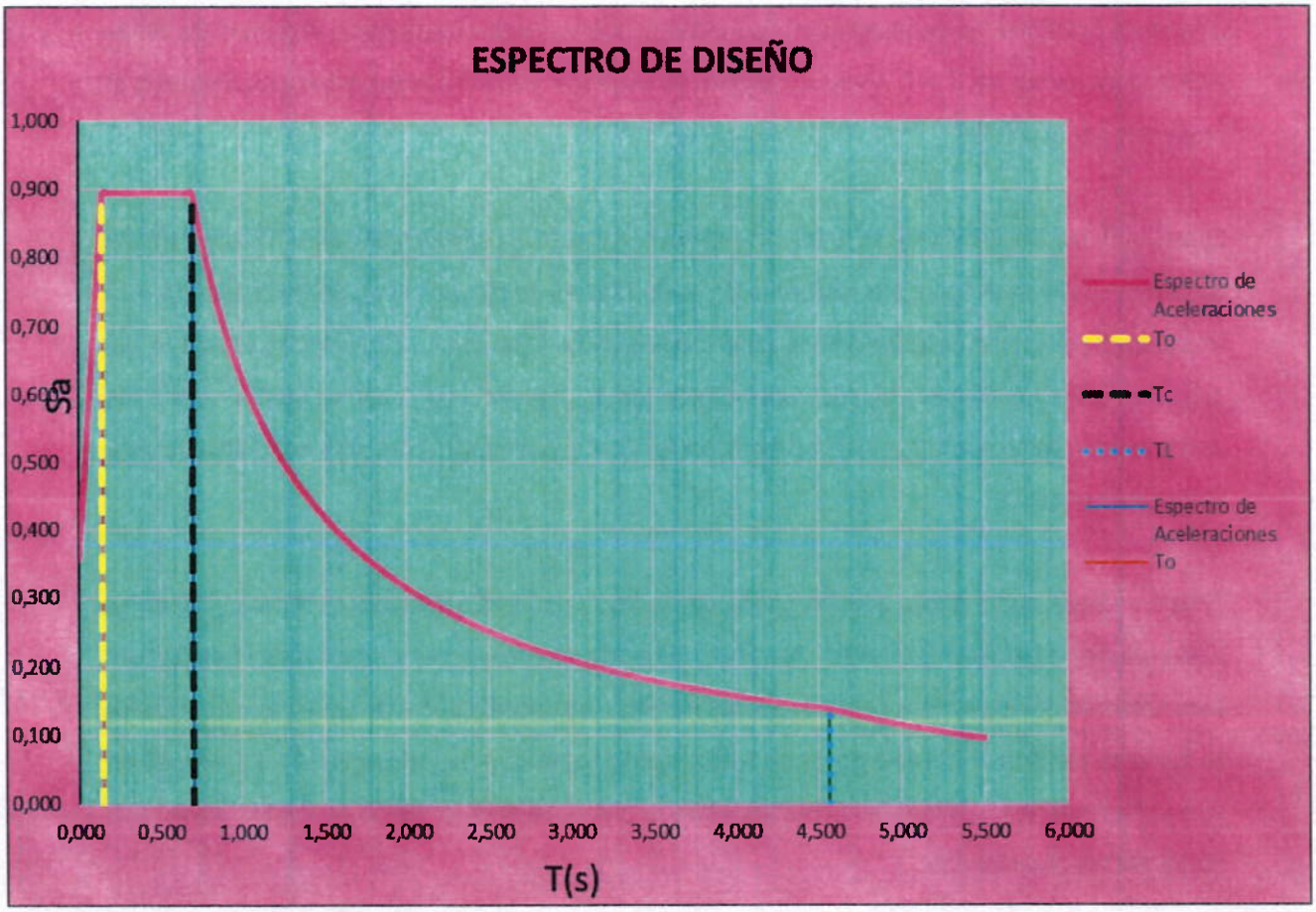


Ilustración 73 Espectro elástico de diseño

9.2. Amenaza sísmica según la zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Junio de 2001).

En total son tres zonas de respuesta dinámica diferente para las cuales se pueden hacer las siguientes observaciones (Ver mapa de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa):

Zona 1 - Roca: Esta zona comprende los depósitos de roca correspondientes a la formación Girón (1G), cualquier depósito que se pueda considerar como roca pura (R), los depósitos considerados como roca blanda y/o suelos residuales competentes sobre manto rocoso, que comprende las zonas identificadas como 1N, 3 y 7. Teniendo una forma espectral y aceleraciones máximas similares a lo propuesto por la NSR98.

Zona 2 – Suelo Rígido: donde se encuentra la mayor parte de la población del área metropolitana de Bucaramanga, y corresponde a depósitos de suelo rígido y reúne las zonas geotécnicas 2, 4 y 5. Presenta aceleraciones espectrales máximas considerablemente altas. Dicha forma espectral, así como los valores máximos están en concordancia con la propuesta de la norma UBC97 para sitios donde efectos de campo cercano son esperados; tal y como podría ser el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Zona 3 - Llenos: corresponde a los llenos (6), que deben tener consideraciones especiales, dadas las aceleraciones espectrales tan altas obtenidas. Es pertinente mencionar que los datos geotécnicos para caracterizar estas zonas son muy pobres y como tal la incertidumbre de su respuesta dinámica es bastante elevada. Sin embargo, es de anotar que el espectro propuesto aquí ha sido reducido en su amplitud máxima. Es también importante aclarar que pueden existir llenos de menor tamaño que no han sido cartografiados.

Existen 2 zonas adicionales para las cuales no existe un espectro de respuesta debido a que se encuentran en zonas de áreas restringidas para su uso en edificación como son la zona de coluviones y las rondas de los ríos.

Con base en el estudio de microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga de 2001, se sectoriza los valores sísmicos en tres zonas fundamentales debido a la cercanía de la falla Bucaramanga – Santa Marta.

	Zona 1 (Roca)	Zona 2 (Suelo Rigido)	Zona 3 (Llenos)
To (s)	0,10	0,05	0,15
Tc (s)	0,50	0,4	0,5
TL (s)	4,00	3,6	4
Am (g)	0,30	0,4	0,65
Sm (g)	0,63	0,9	1,25

Tabla 33 Parámetros de control para la construcción de espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga. (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga)

La tabla anterior indica los datos inmersos en el desarrollo de los espectros de respuesta para las tres zonas de respuesta dinámica (Roca, Suelo Rígido y Llenos); a continuación, se describen las variables necesarias para construir el espectro:

Am: aceleración máxima del terreno en un periodo (T=0s),

Sm: valor máximo de aceleración espectral, el cual corresponde a la parte plana del espectro.

To: periodo que define el inicio de la parte plana del espectro.

Tc: periodo que define el final de la parte plana del espectro.

TL: Periodo posterior en el que las aceleraciones espectrales se vuelven constantes (Am/4).

En el siguiente mapa se establecen las diferentes zonas sismogeotécnicas dentro del estudio de Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

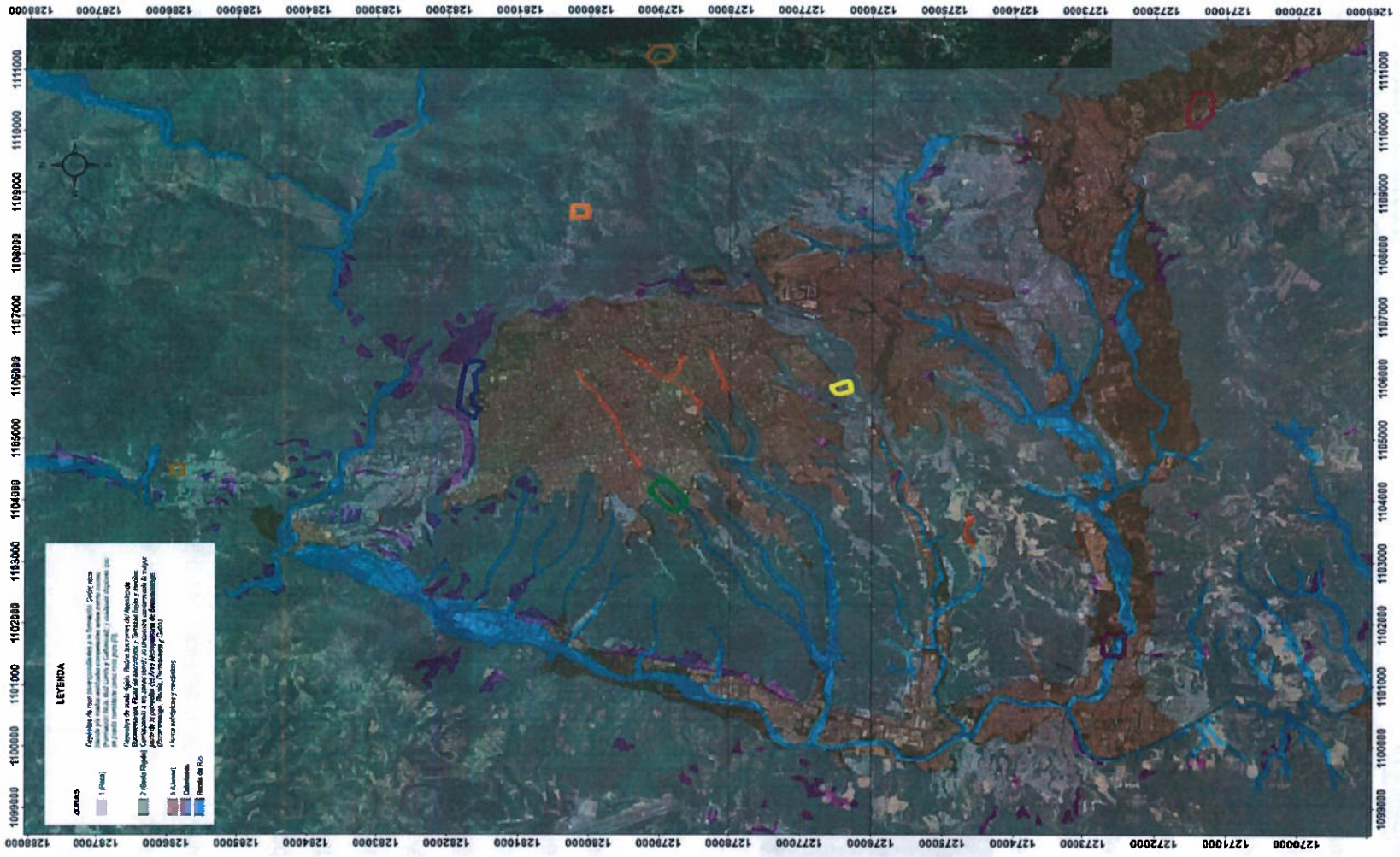


Ilustración 74 Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001, Subdirección de amenazas Geoambientales (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS))

En el siguiente mapa se ubica la zona de estudio respecto a las diferentes zonas sismogeotécnicas dentro del estudio de Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

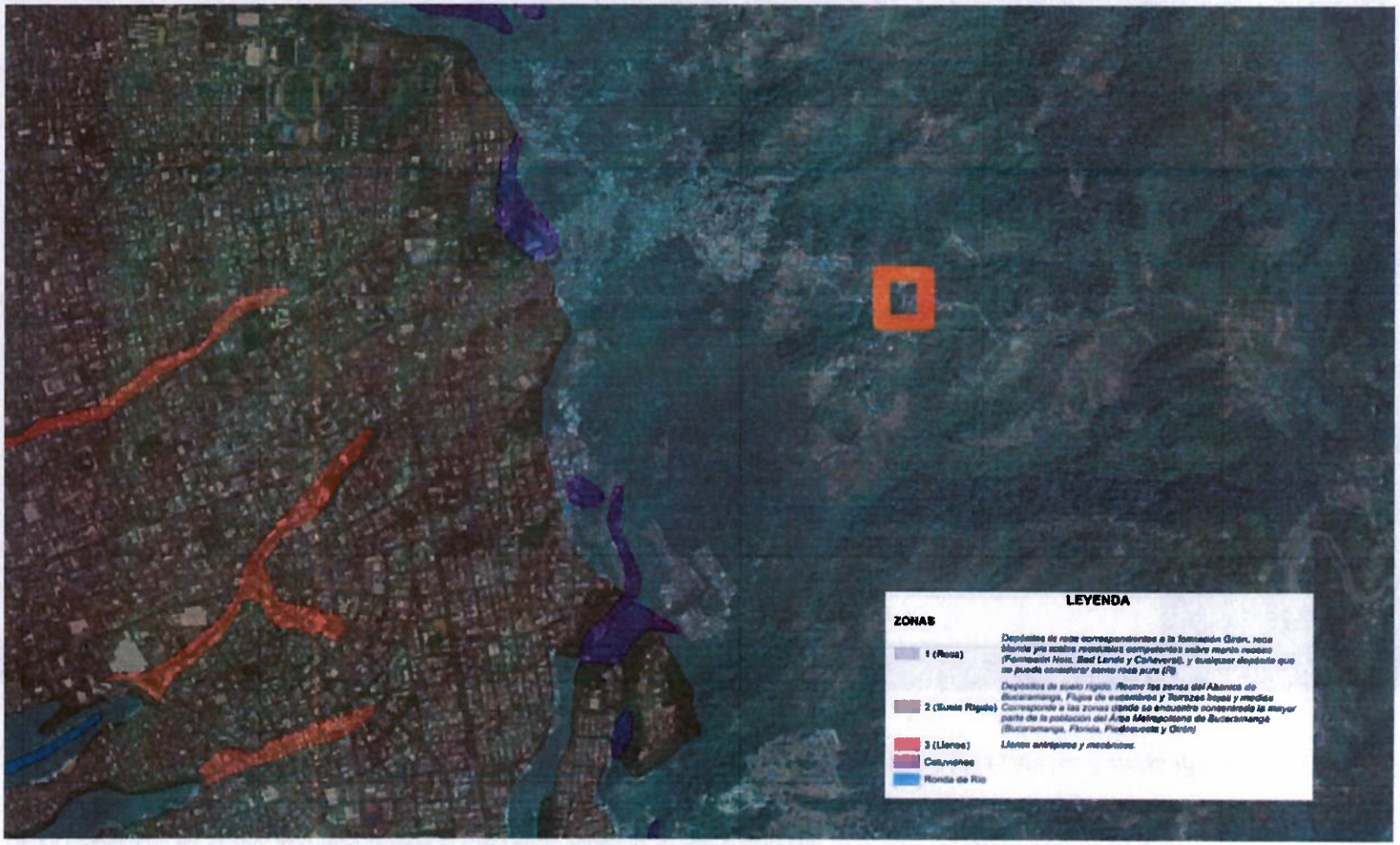


Ilustración 75 Ubicación área de estudio en el Mapa modificado de la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (Servicio Geológico Colombiano anterior INGEOMINAS)

9.2.1. Espectros de diseño propuestos para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

A continuación, se muestran los espectros y la forma esquemática con la cual fueron desarrollados para las 3 zonas (Roca, Suelo Rígido y Llenos):

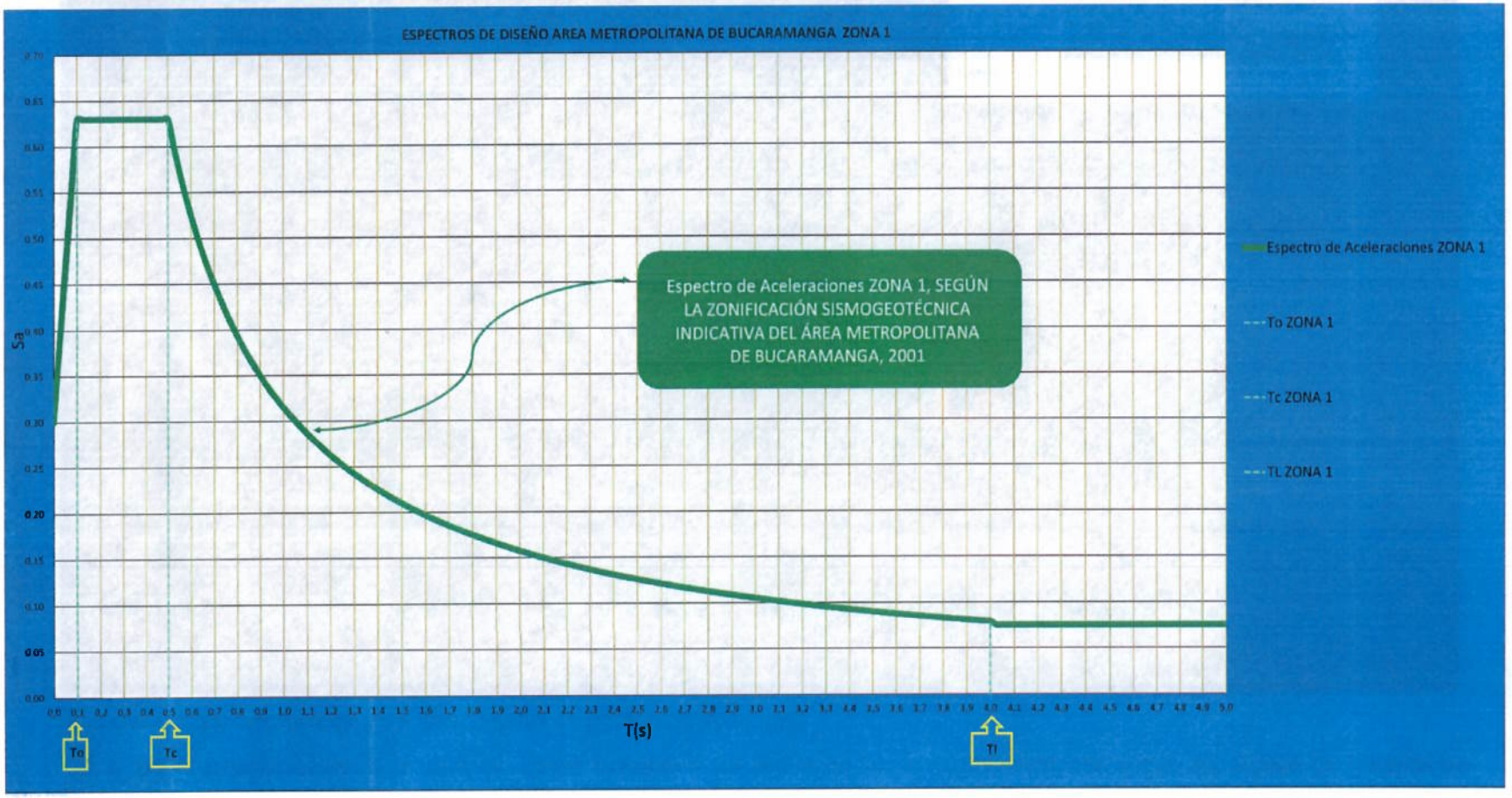
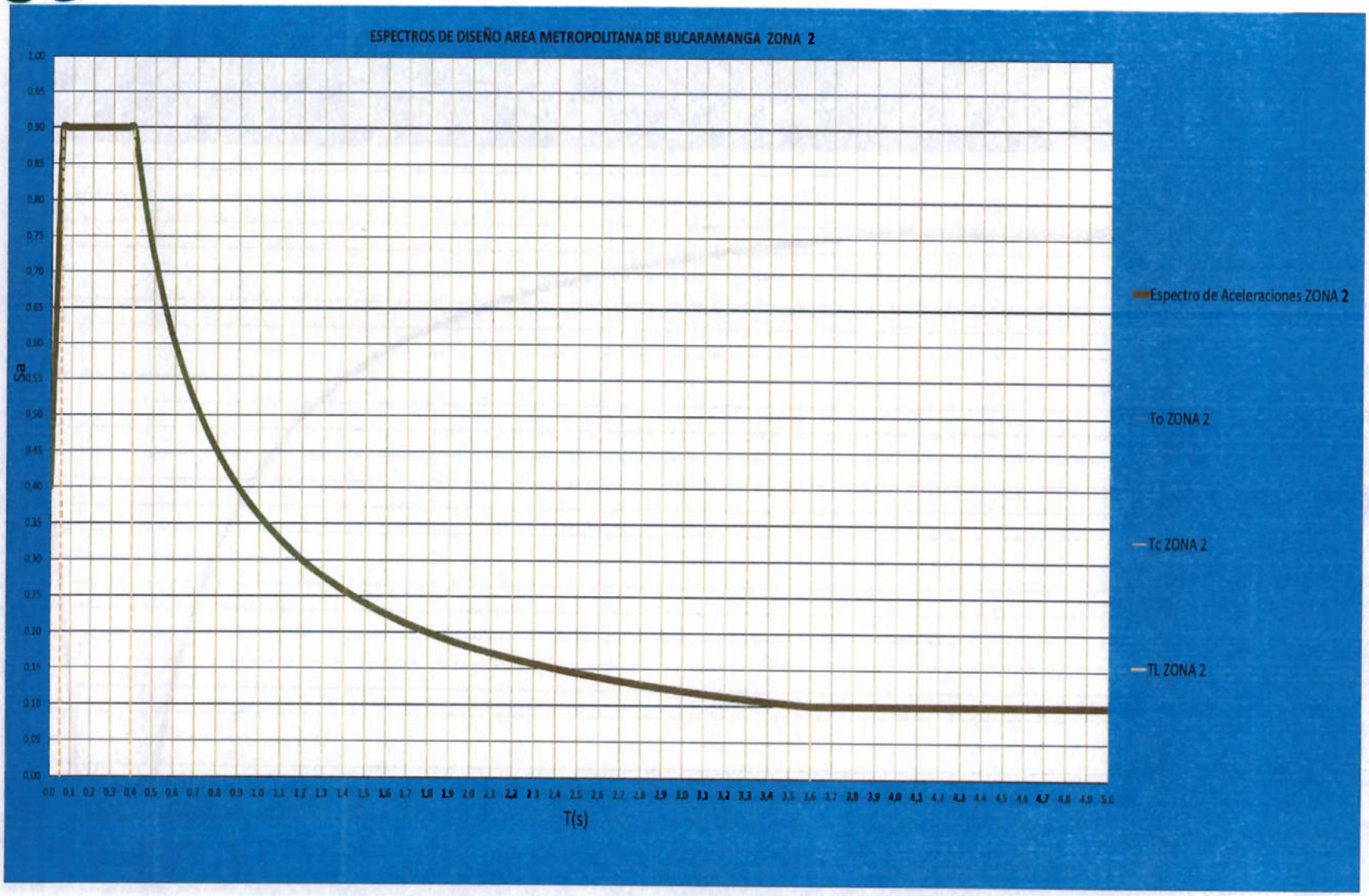


Ilustración 76 Espectro de diseño para la Zona 1 (Roca) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.


ESPECTROS DE DISEÑO AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA ZONA 2
Sa
T(s)
Espectro de Aceleraciones ZONA 2
To ZONA 2
Tc ZONA 2
TL ZONA 2

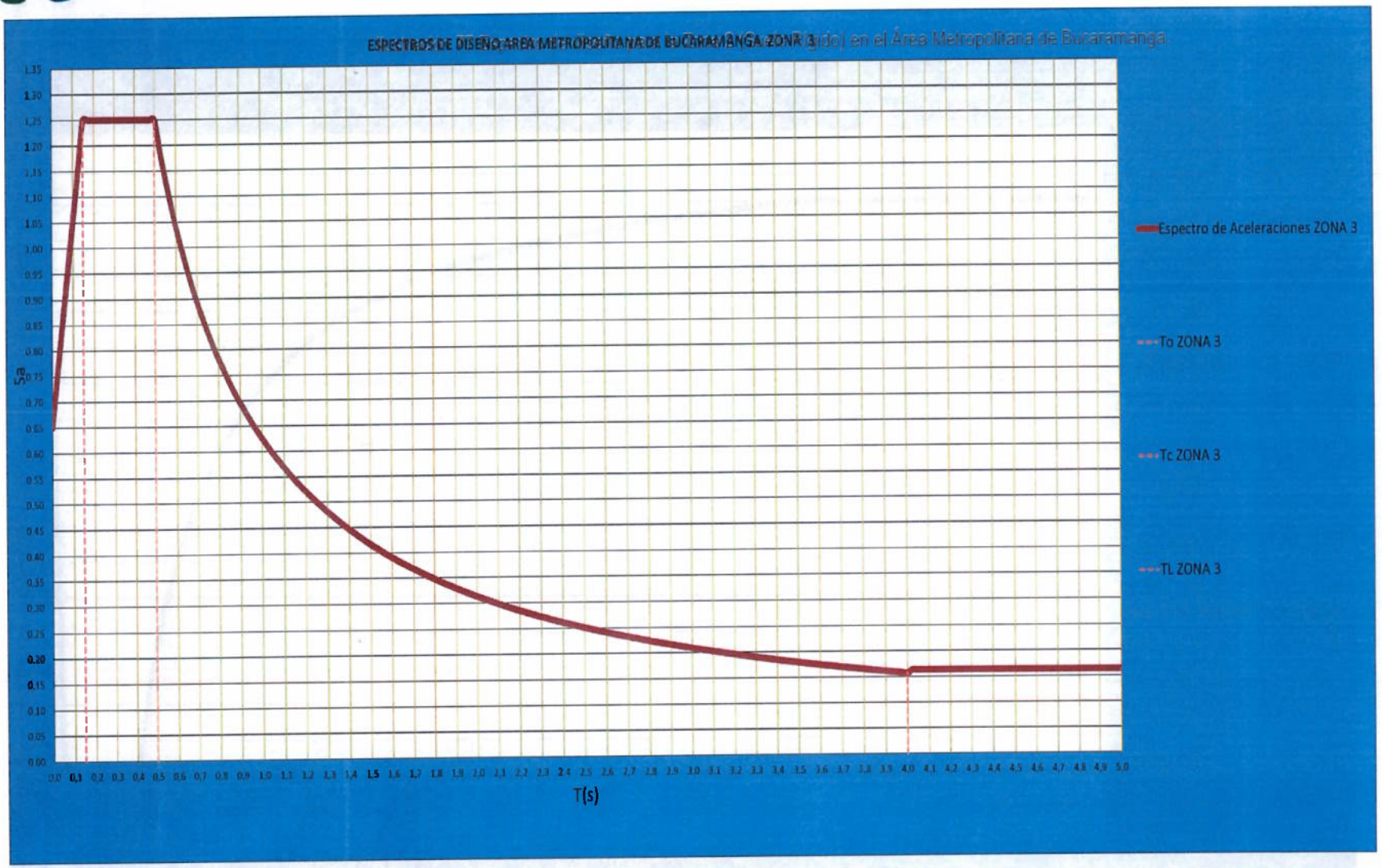


Ilustración 78 Espectro de diseño para la Zona 3 (Llenos) en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

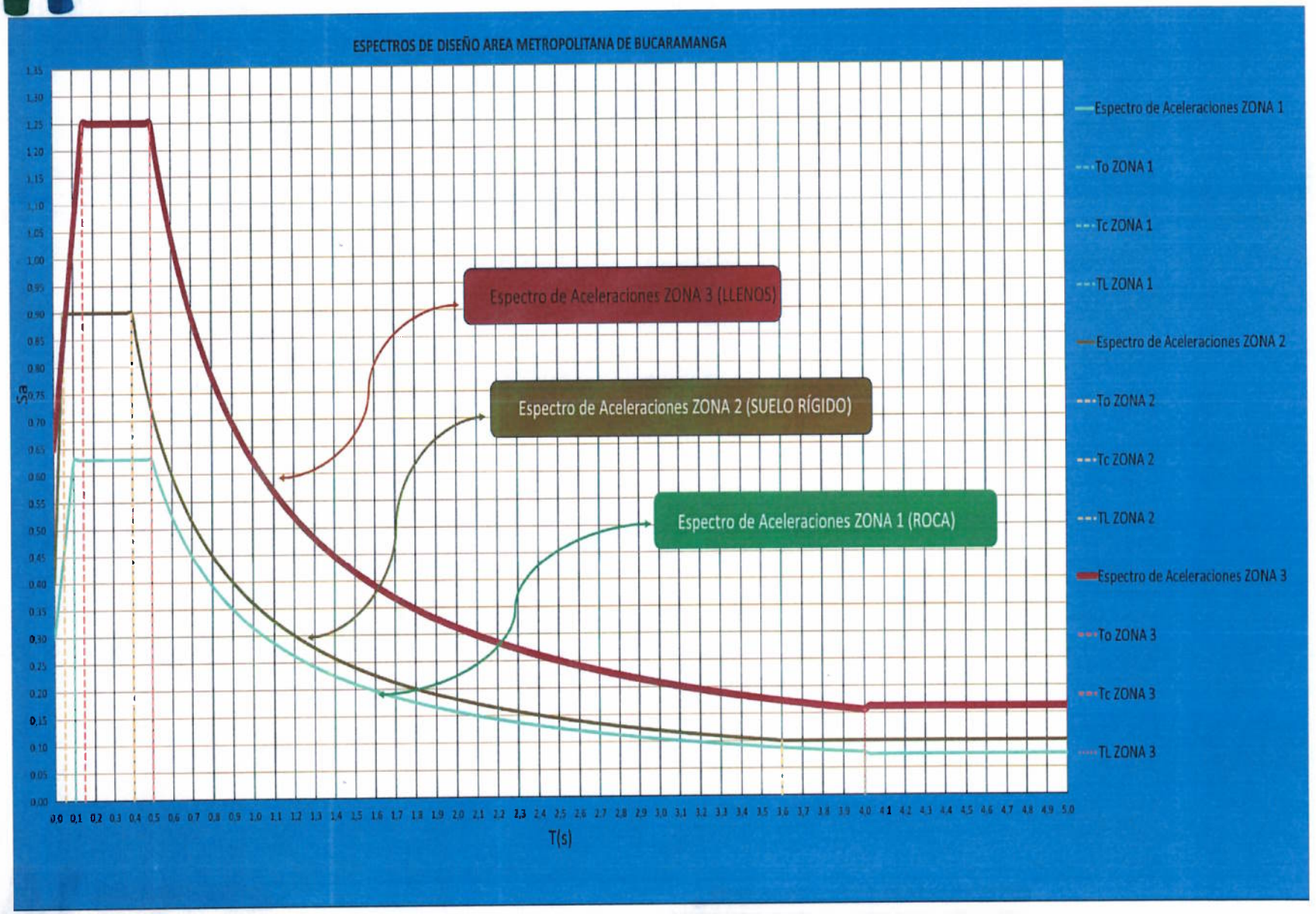


Ilustración 79 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

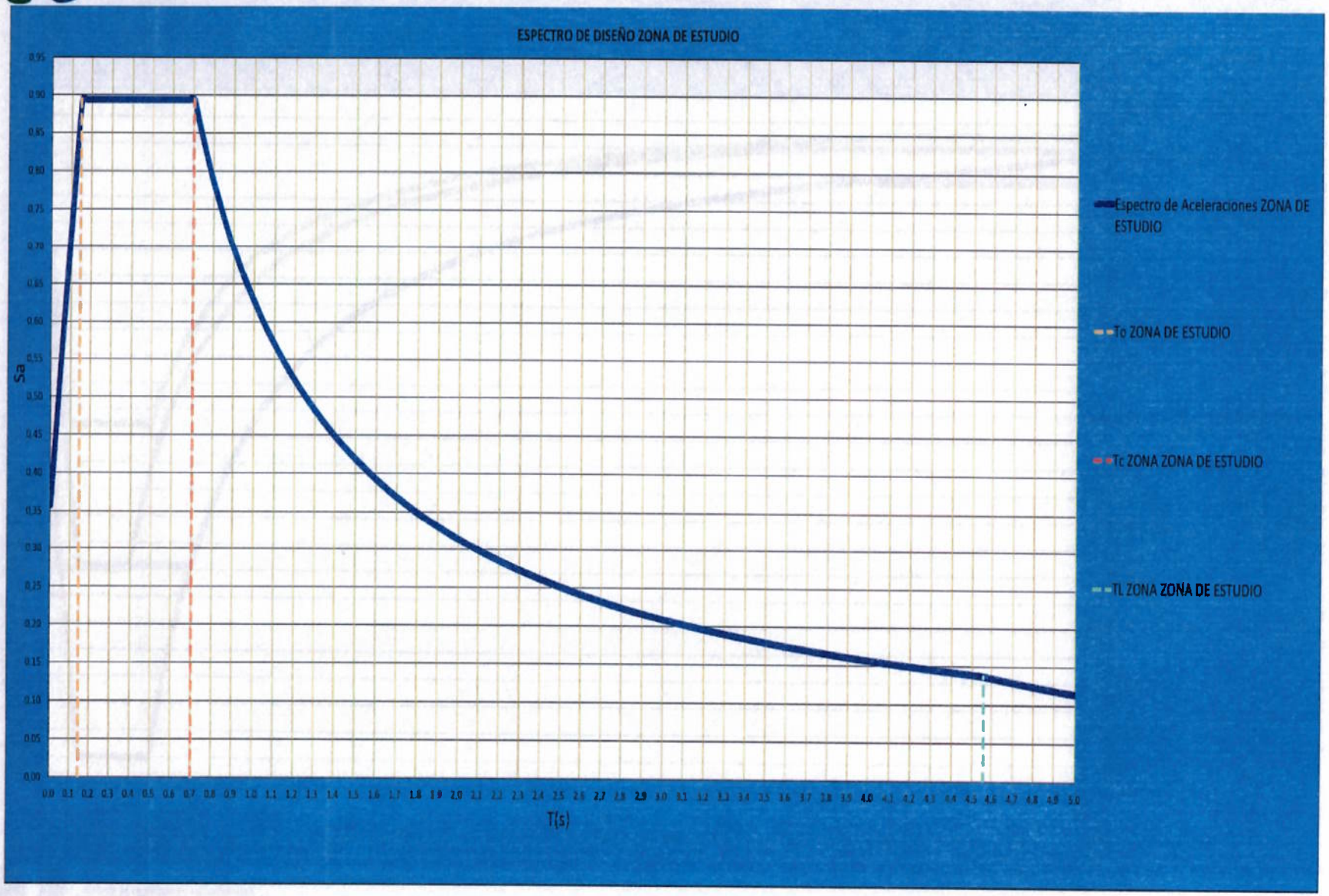


Ilustración 80 Espectro de diseño en zona de Estudio

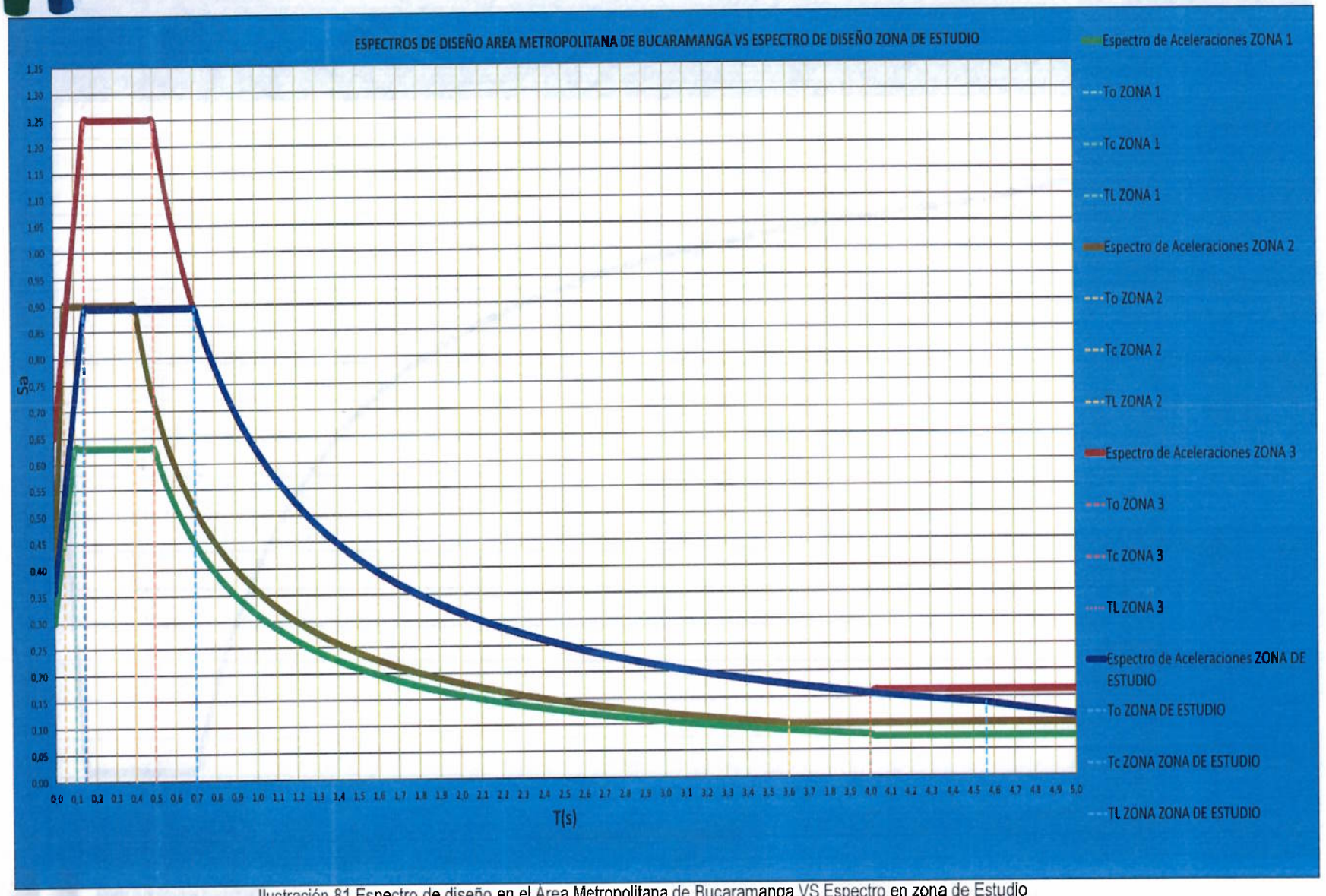


Ilustración 81 Espectro de diseño en el Área Metropolitana de Bucaramanga VS Espectro en zona de Estudio

Esta zonificación presenta un valor para el lugar de estudio de Am igual a 0,358 y según el espectro de diseño del Área metropolitana de Bucaramanga la aceleración máxima del terreno es de 0.30g ya que el sector de estudio se emplaza en la zonificación (Zona 1); este es inferior al calculado según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, por ende, se establece el mayor para el diseño y caracterización sísmica en la zona de estudio.

9.3. Resultado de la sismología de acuerdo a la NSR-10 y la microzonificación sísmica de Bucaramanga de 2001.

De la zonificación sísmica se tienen en cuenta los siguientes valores para el sector de estudio:

MUNICIPIO	Bucaramanga
DEPARTAMENTO	Santander
Aa	0,25
Av	0,25
PERFIL DEL SUELO	D
Fa	1,3
Fv	1,9
GRUPO DE USO	II
IMPORTANCIA	1,1
ZONA DE AMENAZA SISMICA	Alta
Mapa A.2.3-2 y A.2.3-3 (NSR-10)	

Tabla 34 Resultados de análisis sismológico

9.4. Análisis y sismo de diseño para el modelo geológico geotécnico (H.5.2.5 Titulo H, NSR-10).

El sismo de diseño para el análisis Pseudoestatico en taludes se analiza de acuerdo a la aceleración sísmica máxima predominante, como se indicó anteriormente la NSR – 10 se establece un Amax de 0.431 g, por lo tanto, se tomará como valor base para realizar el sismo de diseño de acuerdo al calculado según la Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga; el cual arrojo como resultado un Amax de 0.4 g

Para establecer el sismo de diseño, según la NSR-10 para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno, amax obtenida bien sea de un espectro (aceleración del espectro de diseño para periodo cero). En caso de que el sitio objeto de análisis haga parte de un estudio de microzonificación sísmica aprobado, se utilizará la aceleración máxima superficial del terreno establecida en el espectro de diseño respectivo en lugar de lo estipulado en la sección A.2. El coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestático de taludes KST tiene valor inferior o igual al de amax y se admiten los siguientes valores mínimos de KST / amax, dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

El Kst se define como el sismo de diseño a ingresar en el modelo geológico geotécnico y análisis pseudo-estático en los modelos de estabilidad ante movimientos en masa.

MATERIAL	Kst/amax	Análisis de Amplificación mínimo
Suelos, enrocados y Macizos Rocosos muy Fracturados (RQD < 50%)	0,80	Ninguno
Macizos Rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales Térreos	0,67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales Térreos	0,50	Amplificación de onda bidimensional

Tabla 35 Valores de KST / amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes (NSR-10)

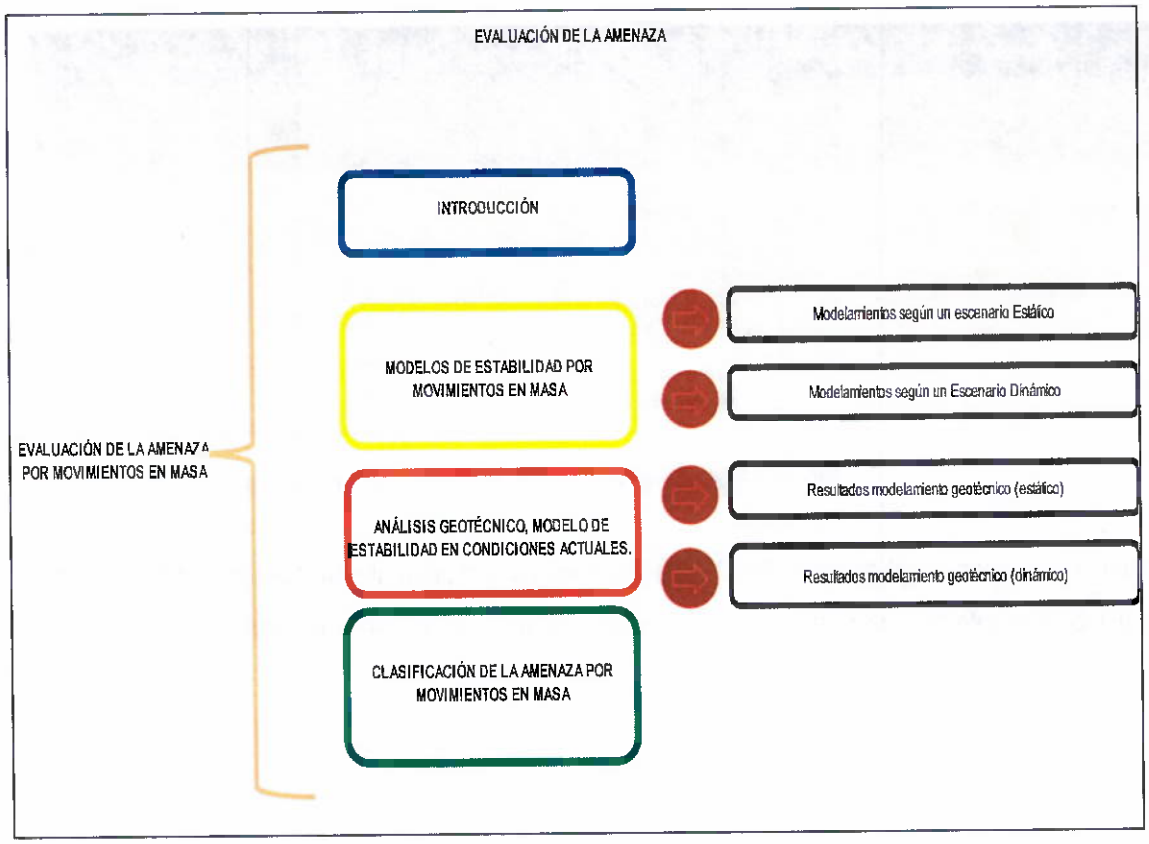
Según las tablas de Valores de KST / amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes y la de resultados de análisis sismológico, se obtuvieron los siguientes resultados:

Material	Kst/amax	Análisis de Amplificación mínimo	Kst	amax = Aa * Fa * i		amax	Kst
Suelos, enrocados y Macizos Rocosos muy Fracturados (RQD < 50%)	0,8	Ninguno	0,8 * amax	Aa	0,25	0,3575	0,2860
				Fa	1,3		
				i	1,1		
Macizos Rocosos (RQD > 50%)	1	Ninguno	1,0 * amax	Aa	0,25	0,3575	0,3575
				Fa	1,3		
				i	1,1		
Todos los materiales Térreos	0,67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar	0,67 * amax	Aa	0,25	0,3575	0,2395
				Fa	1,3		
				i	1,1		
Todos los materiales Térreos	0,5	Amplificación de onda bidimensional	0,5 * amax	Aa	0,25	0,3575	0,1788
				Fa	1,3		
				i	1,1		

Tabla 36 Resultados sismo de diseño para el modelo geológico geotécnico

Según los resultados del análisis sismológico plasmados en el presente capitulo, los modelamientos de estabilidad ante movimientos en masa se deben ejecutar con un sismo de diseño de 0,29.

10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA



10.1. INTRODUCCIÓN

Para la zona de estudio, se identificó el talud crítico con el objetivo de realizar el modelamiento geotécnico, el modelo se define conforme a las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI presentes en el sector de análisis, estas permiten agrupar sectores con materiales que presentan comportamiento mecánico y origen geológico similares. Estas unidades constituyen el insumo principal para la evaluación del terreno, ya que facilitan distinguir entre suelos y rocas, reconocer espesores significativos de suelo residual o transportado, y establecer las condiciones estructurales y de meteorización del macizo rocoso cuando está presente. Con los datos adquiridos en los ensayos de laboratorio realizados y las secciones transversales generadas con la topografía, se establecen los perfiles a los cuales se les realizan los respectivos modelamientos geotécnicos por medio del software Geo-Slope International Ltd tanto en condiciones estáticas y dinámicas.

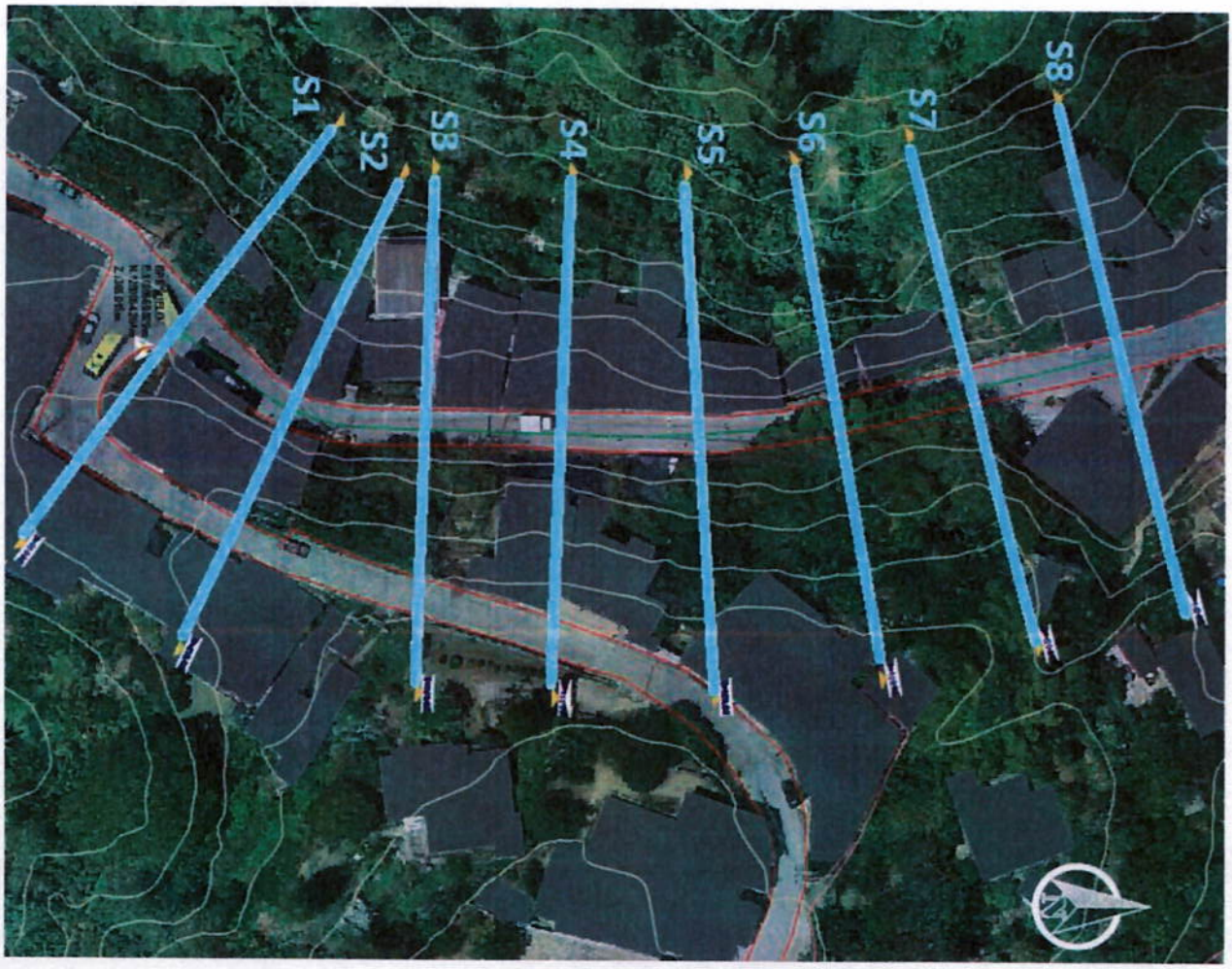


Ilustración 82 Ubicación de perfiles transversales

10.2. MODELOS DE ESTABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Una vez se cargan los perfiles al software con sus respectivas propiedades mecánicas, se calculan los resultados en el análisis de estabilidad según el método seleccionado, a continuación, se enuncian los métodos de equilibrio limite utilizados en el presente estudio:

- Método de Morgenstern-Price
- Método de Janbu
- Método Ordinary (Fellenius o método de cortes ordinario)
- Método de Spencer

Una vez definido el método, se ejecutan los modelamientos tanto en condición estática como dinámica.

La realización de los modelos geotécnicos se efectúa teniendo en cuenta dos escenarios, estos corresponden a:
El talud se modela en su condición actual, sin sismo y con la carga muerta aportada por los paramentos ubicados en el eje del perfil.
El talud es modelado con un efecto pseudoestatico (sismó) con la carga muerta aportada por los paramentos ubicados en el eje del perfil.

El escenario seudo estático que se encuentra definido por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10.

10.2.1. Modelamientos según un escenario Estático:

- Talud definido es su eje con las condiciones normales.
- Talud sin presencia de niveles freáticos.

10.2.2. Modelamientos según un Escenario Dinámico:

- Talud definido es su eje con las condiciones normales (carga muerta)
- Talud sin presencia de niveles freáticos.
- Modelamiento con aceleración pseudo estática de 0.32g (con base en el al análisis sísmico realizado en el análisis sismológico calculado en el presente estudio).

10.3. ANÁLISIS GEOTÉCNICO, MODELO DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES.

Una vez cargados los perfiles en el software con los respetivos parámetros mecánicos para cada estrato, niveles freáticos (si a ello hubiere lugar), carga muerta aportada por viviendas, vías y demás cargas presentes en el eje longitudinal del mismo, dirección del movimiento, Ru (si el análisis lo requiere) y carga sísmica para el modelamiento dinámico; se define el método al cual el programa arrojara el factor de seguridad correspondiente (Método de Morgenstern-Price, método de Janbu, método Ordinary o método de Spencer.

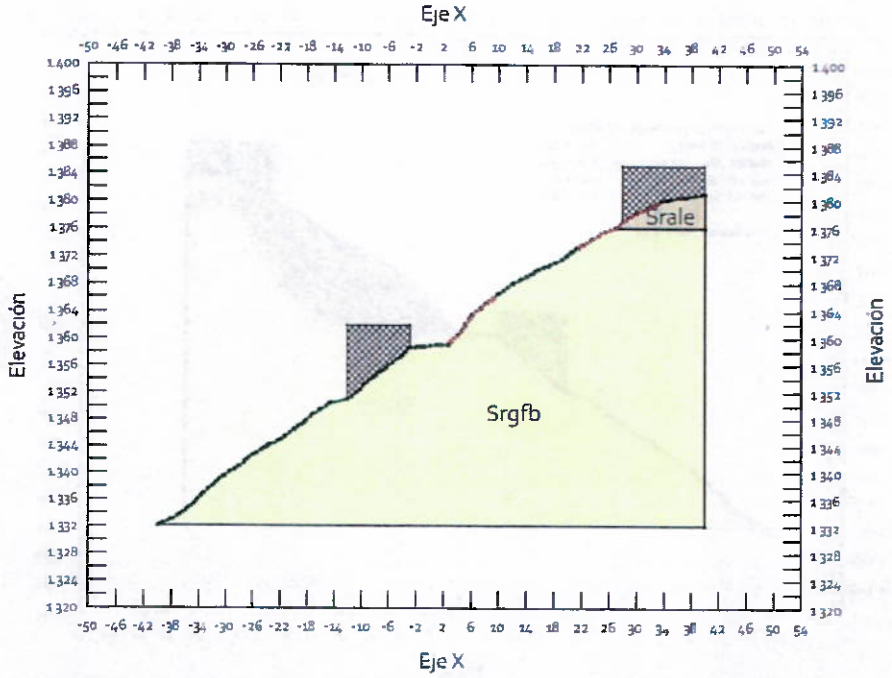


Ilustración 83 Perfil 5 se muestran los diferentes estratos en profundidad.

10.3.1. Resultados modelamiento geotécnico (estático)

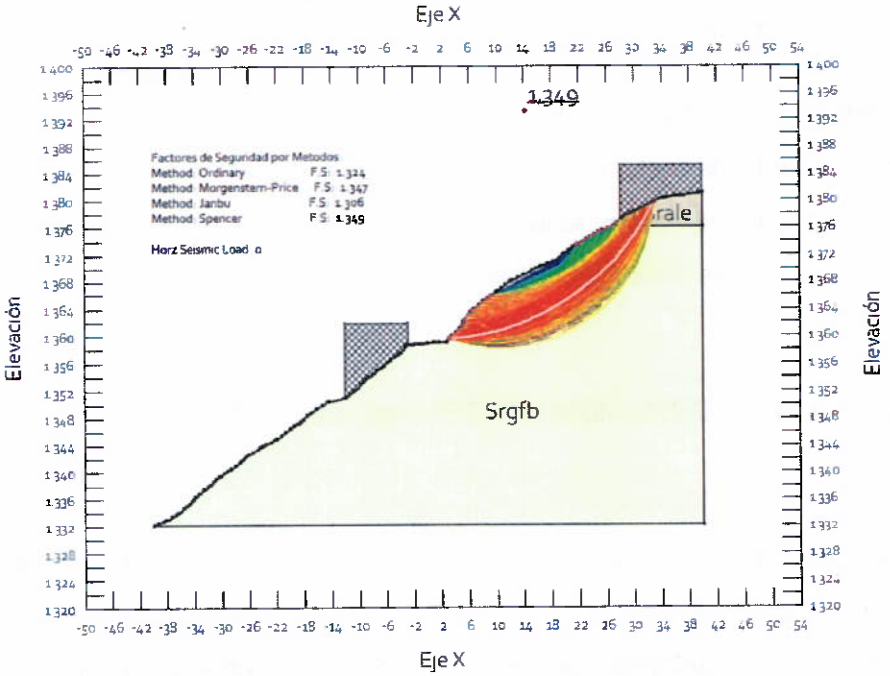


Ilustración 84 Modelamiento geotécnico en condiciones estáticas

10.3.2. Resultados modelamiento geotécnico (dinámico)

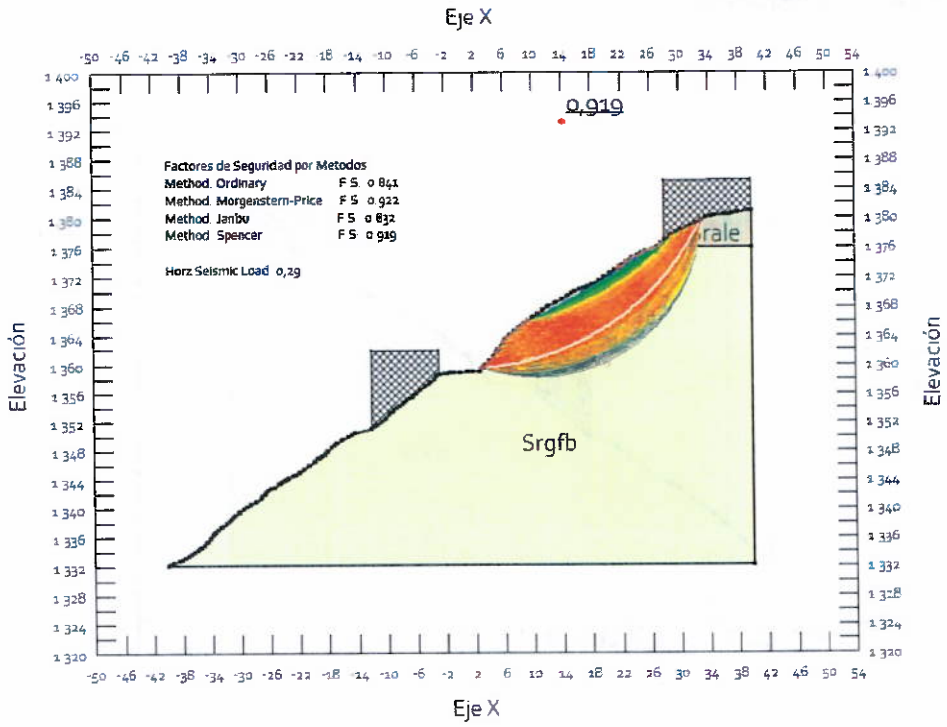


Ilustración 85 Modelamiento geotécnico en condiciones dinámicas

11. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Según las normas geotécnicas locales establecidos por la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), la amenaza ante movimientos en masa se clasifica según su valor y de acuerdo a las siguientes ilustraciones:

NIVEL DE AMENAZA ALTA

Terrenos afectados por amenazas geológicas, geotécnicas o hidrológicas graves.

A los deslizamientos: Pertenecen a esta clasificación terrenos clasificados como "inestables" en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa. Se deben destinar a zonas verdes, reforestación o de tratamientos especiales a largo plazo

A la erosión: Son terrenos afectados por amenazas graves de erosión en surcos, cárcavas, o erosión hidráulica por corrientes de agua, en los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación es muy compleja, o demasiado costosa.

Los factores de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes deben ser:

Condiciones Estáticas	F.S <	1,25
Para eventos Sísmicos	F.S <	1,0

Ilustración 86 Clasificación Alta ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB.

NIVEL DE AMENAZA MEDIA

Terrenos afectados por amenazas, las cuales se pueden estabilizar totalmente mediante la construcción de obras de ingeniería.

A los deslizamientos: clasificados geológicamente como "relativamente inestables", en los cuales para adelantar la construcción de obras es necesario la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.

A la erosión: Son terrenos afectados por amenazas medianas de erosión en surcos, cárcavas, o erosión hidráulica por corrientes de agua, y para adelantar la construcción de obras es necesario la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad o se establecen condicionantes para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.

Los factores de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes deben ser:

Condiciones Estáticas	F.S	≤	1,5
	F.S	≥	1,25
Para eventos Sísmicos	F.S	≤	1,2
	F.S	≥	1,0

Ilustración 87 Clasificación Media ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB.

NIVEL DE AMENAZA BAJA

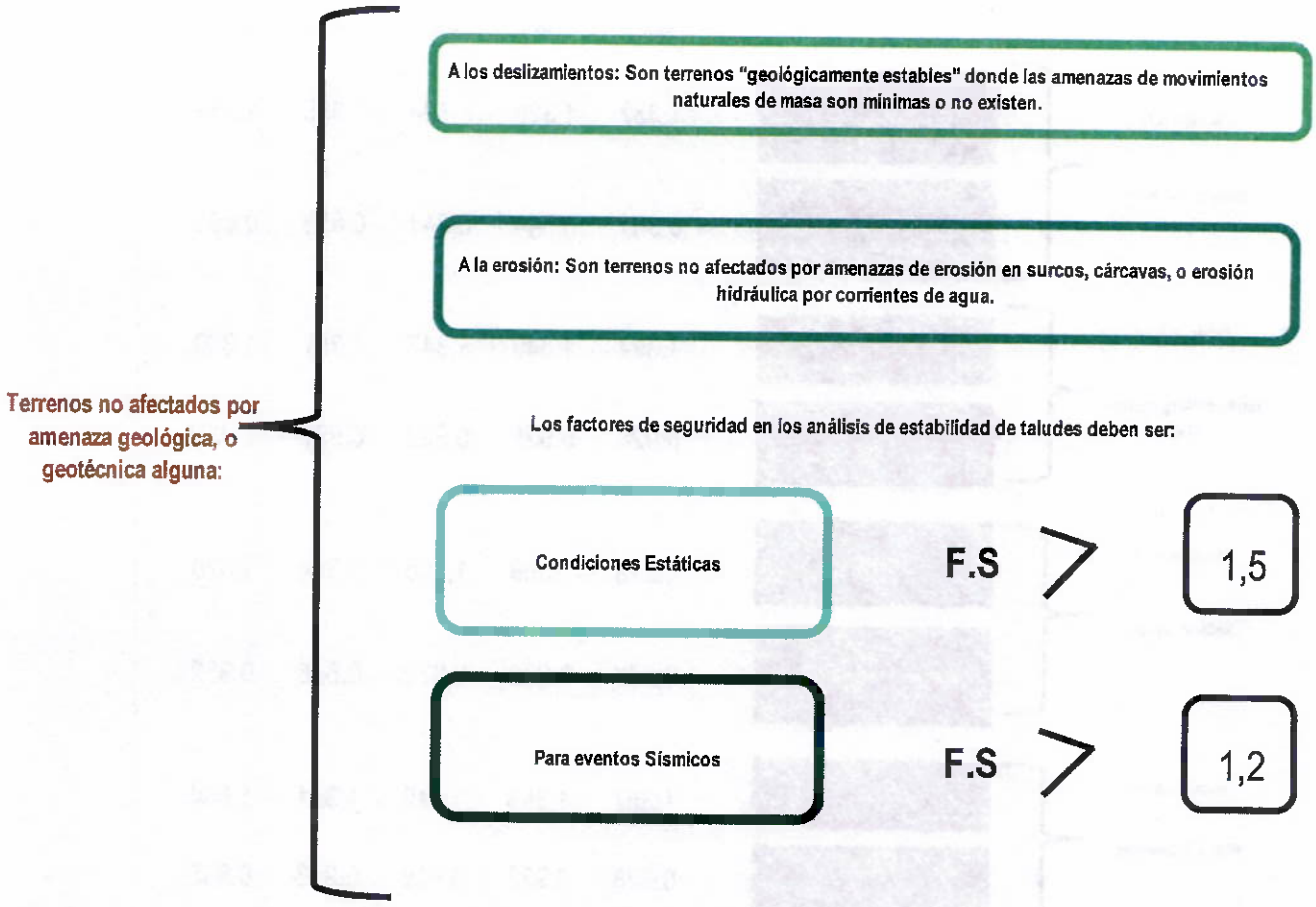


Ilustración 88 Clasificación Baja ante movimientos en masa según la resolución 1294 de 2009, Normas Geotécnicas, CDMB.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras el modelamiento geotécnico para los diferentes métodos con su respectivo perfil o sección.

FACTORES DE SEGURIDAD (ANÁLISIS GEOTÉCNICO, MODELO DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ACTUALES)

		Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7
AMENAZA ALTA Method: Ordinary	Static	1,332	1,328	1,324	1,335	1,339
	With Horz Seismic Load	0,851	0,844	0,841	0,856	0,861
AMENAZA ALTA Method: Morgenstern-Price	Static	1,354	1,349	1,347	1,357	1,360
	With Horz Seismic Load	0,928	0,925	0,922	0,932	0,936
AMENAZA ALTA Method: Janbu	Static	1,313	1,308	1,306	1,316	1,320
	With Horz Seismic Load	0,842	0,836	0,832	0,846	0,952
AMENAZA ALTA Method: Spencer	Static	1,357	1,353	1,349	1,361	1,664
	With Horz Seismic Load	0,928	0,922	0,919	0,933	0,938

Ilustración 89 Resultados Factores de Seguridad una vez se modelaron las secciones trasversales definidas previamente

12. MEDIDAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA.

Según el análisis efectuado en el anterior capitulo, los taludes objeto del presente estudio se encuentran en amenaza alta por movimientos en masa (se define como todo desplazamiento de material litológico y o de escombros hacia abajo vertical o en dirección del pie de una ladera debido a la gravedad).

Los movimientos en masa, comúnmente se conocen como deslizamientos, derrumbes y movimientos de terreno entre otros. La ocurrencia de un movimiento en masa desarrolla varios rasgos geomorfológicos y morfométricos característicos. Los elementos morfológicos pueden asociarse a la masa desplazada o al terreno intacto circundante.

Los taludes objeto del presente estudio requieren intervención de manera inmediata, debido a que en la ecuación de estabilidad las fuerzas resistentes son inferiores a las fuerzas actuantes en los mismos; lo cual indica que en un escenario en que llegase a presentarse un sismo y los taludes se encuentren saturados o tengan un incremento en la presión de poros tienen alta probabilidad de falla y por ende se generarían posibles movimientos en masa. La presión de poros (Ru) corresponde a una relación adimensional que estima la presión del agua intersticial (la presión del agua atrapada en los poros del suelo o roca) y su impacto en la estabilidad del talud analizado. Este valor es una forma simplificada de representar la carga adicional de agua que reduce la resistencia del suelo al cortante.

Si bien es cierto los taludes actualmente se encuentran en reposo manteniendo así un gradiente de carga que no permite que se generen movimientos en masa, sin embargo, si sus condiciones presentan variaciones en lo que corresponde a cargas (pseduestáticas y de Ru) o a algún foco erosivo con apertura abierta ante la infiltración de aguas superficiales, estos detonantes críticos descritos desencadenarían un posible evento de movimiento en masa.

De acuerdo a lo anterior y dado que los taludes estudiados requieren ser intervenidos para minimizar la amenaza geotécnica y garantizar que la masa de suelo no se vea afectada; se requieren medidas correctivas para mitigar la amenaza ante movimientos en masa con el objetivo de mejorar sus condiciones de estabilidad y disminuir directamente el riesgo.

A continuación, se especifican las obras necesarias para mitigar la amenaza y se detalla cada componente:

Las medidas correctivas estarán incluidas dentro de una alta gama de obras de ingeniería:

- Se deben construir obras de control de drenajes superficiales debido a que corresponde al principal factor de disminución de la resistencia del talud y es necesario anular dichas presiones y efectos perjudiciales.
- Construcción de un sistema tipo Nails (Anclajes pasivos ejecutados con varillas de 1 ¼) anclados al terreno con un Angulo de inclinación con la horizontal de 15°.
- Ejecución del revestimiento de taludes por medio del sistema para control de erosión superficial

ANCLAJES PASIVOS:

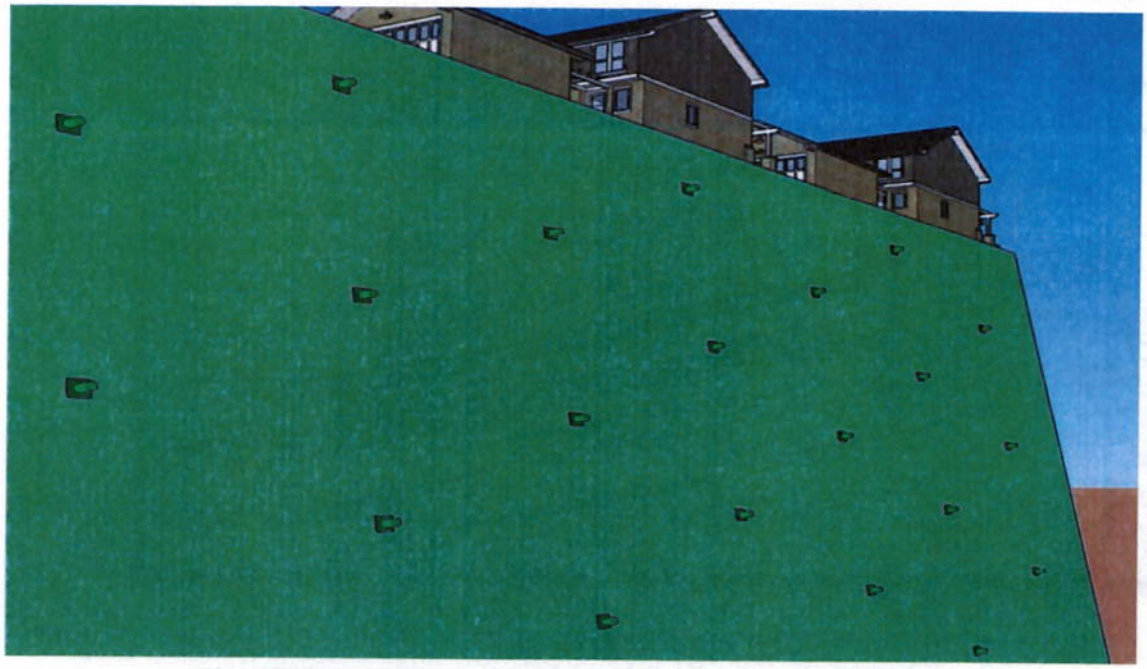
- Nails o clavos:

El sistema utiliza procedimientos similares a los de los muros anclados con la diferencia de que los refuerzos no son pretensados sino que actúan en forma pasiva, ya que las inclusiones pasivas de refuerzo dentro del suelo generan soporte a las estructuras, en este caso al sistema de bioingeniería para control de erosión superficial.

Se instala un arreglo de clavos, los cuales son inclusiones pasivas colocadas en un sistema de grilla para crear una masa coherente estable.

Los Clavos pueden ser varillas de acero, tubos o cables que se introducen dentro del suelo natural o la roca blanda y son inyectados dentro de huecos pre-perforados. Generalmente son espaciados a distancias relativamente pequeñas.

Los nails no son tensionados, pero deben estar cercanamente espaciados para que trabajen en grupo y para que le den soporte a la malla de recubrimiento del talud expuesto.



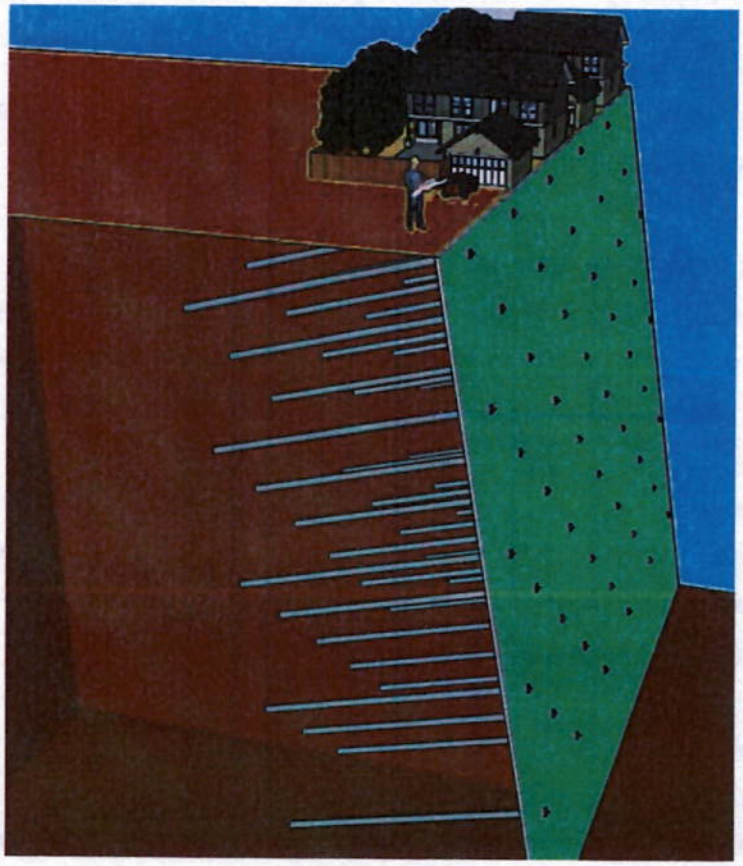


Ilustración 90 Sistema, Nails.

Clavos:

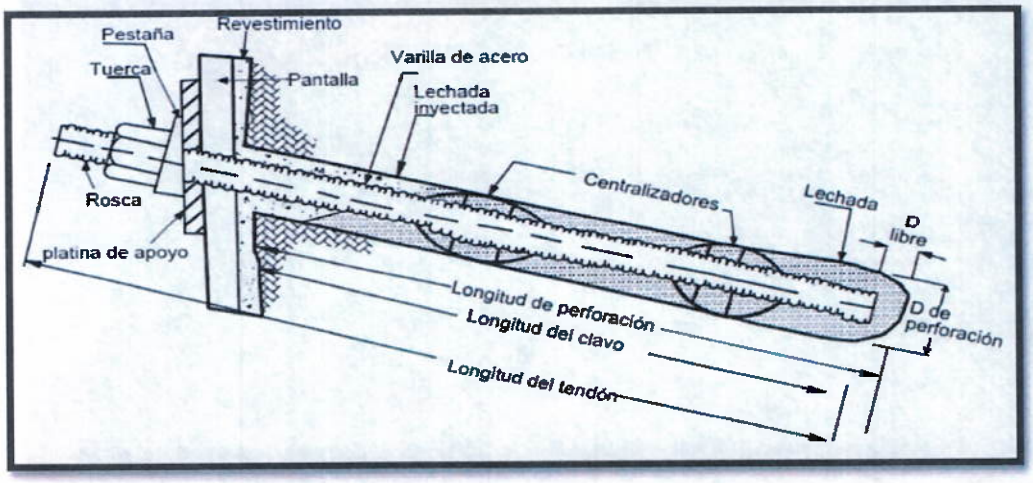


Ilustración 91 Nails o clavos

- Diámetros de la perforación:

Los diámetros de las perforaciones varían entre 3 y 12 pulgadas y los diámetros más comunes son los de 5 a 8 pulgadas.

- Inclinación de las perforaciones

La inclinación de las perforaciones varía generalmente de 10° a 20° y la típica es de 15°. Las inclinaciones de menos de 10° no son recomendables por la dificultad para inyectar la lechada

- Espaciamiento

Los espaciamientos varían generalmente entre 1 y 3 metros. Entre mayor sea el espaciamiento mayor es la carga sobre los nails y menor su efectividad como estructura de contención. El espaciamiento horizontal es comúnmente el mismo vertical.

- Refuerzos

El componente principal de un clavo es una varilla de acero sólida, la cual se coloca en las perforaciones pre-excavadas y luego se inyecta. Se utilizan generalmente varillas con

resistencia a la tensión de 420 a 520 MPa (grado 60 o 75). Se utilizan diámetros entre 19 y 43 milímetros (varillas número 6 a número 14).

- Lechada

En la mayoría de los casos se utiliza cemento tipo I. La relación agua/cemento típica varía de 0.4 a 0.5, pero en ocasiones se utiliza una lechada más viscosa con un slump de aproximadamente 30 milímetros (1 ½"). La lechada viscosa se utiliza cuando hay suelos muy permeables o roca muy fracturada.

- Cabeza de la varilla.

La platina puede quedar apoyada sobre la superficie del sistema. Con frecuencia se dobla la varilla para que quede unida a la pantalla superficial.

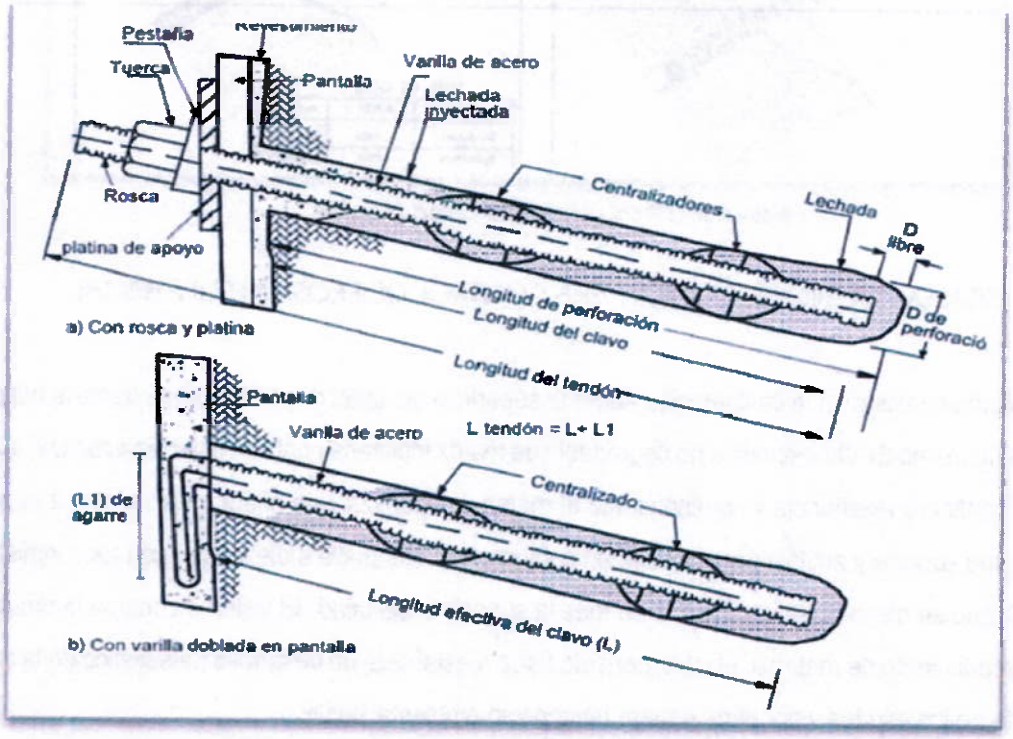


Ilustración 92 Esquema, tipos de clavo.

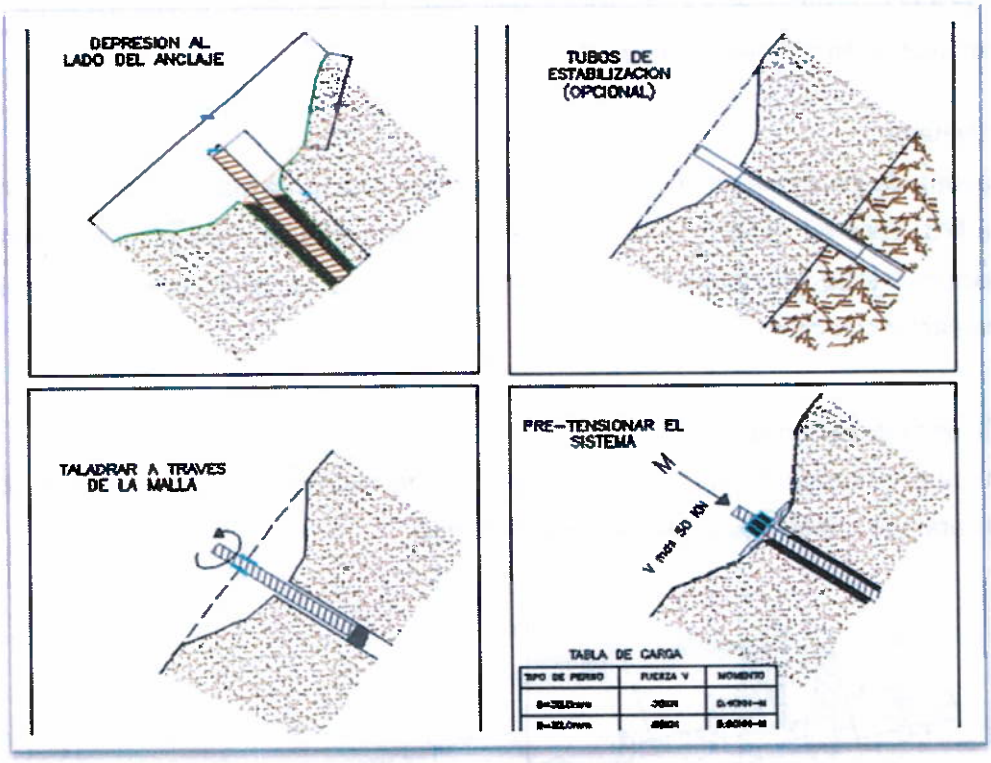


Ilustración 93 Proceso instalación Barras de anclaje

SISTEMA DE BIOINGENIERÍA PARA CONTROL DE EROSIÓN SUPERFICIAL

Este sistema consiste en la implantación sobre la superficie del talud desde la corona hasta la base o pata, de un manto de fibra sintética no degradable de matriz tridimensional con estabilización UV, cuya función confiriere resistencia y confinamiento al material superficial que aflora en el corte y a su vez servir como soporte y anclaje para trabajar en conjunto con una malla triple torsión con recubrimiento de PVC, que se dispone de igual forma en toda la superficie del talud. El sistema controla la erosión, el desprendimiento de material, el intemperismo físico y establece un desarrollo paisajístico en la cara expuesta de los taludes y por ende genera un impacto ambiental positivo.

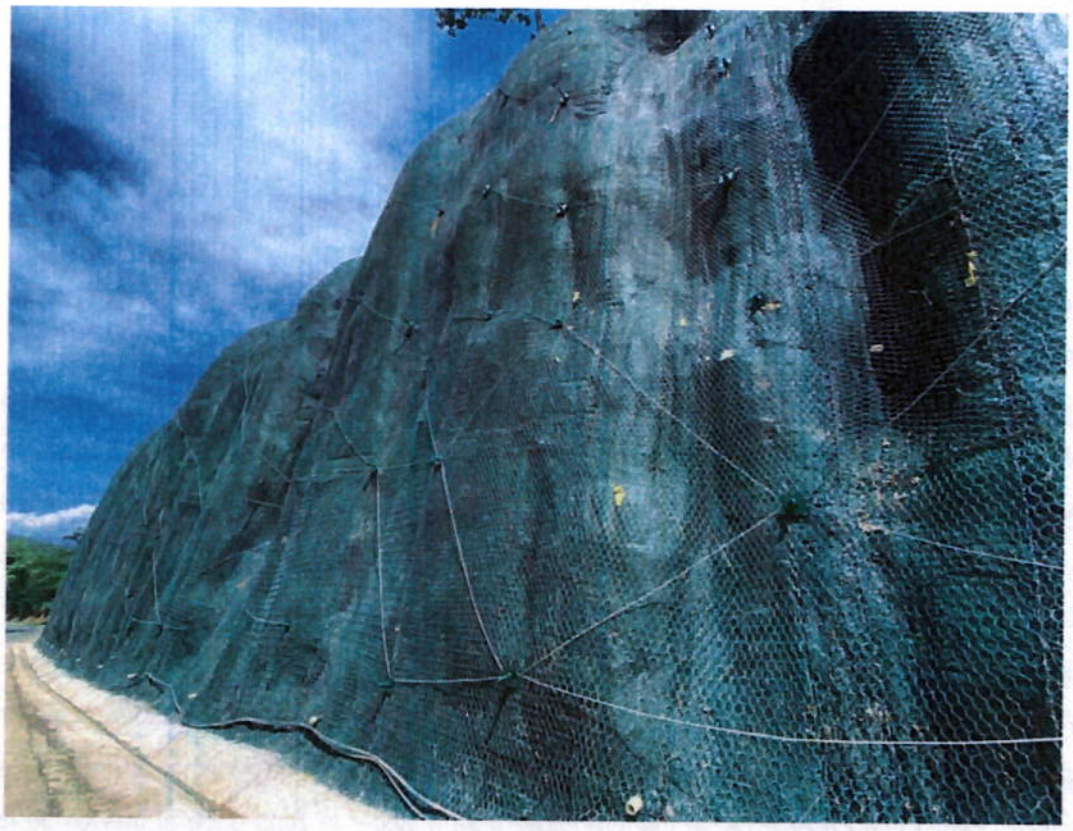


Ilustración 94 Instalación del sistema



Ilustración 95 Ejemplo de los resultados de la instalación del sistema.

OBRAS HIDRAULICAS:

Manejo de Aguas subsuperficiales

La principal causa de movimientos en masa está dada por la presencia de agua en el cuerpo de los taludes, provocando presión de poros en la masa y generando superficies internas de deslizamiento. Es por eso, que se deben construir obras complementarias, las cuales corresponde a líneas hidráulicas de infiltración interna, estas son fundamentales para el equilibrio estático del talud y así mismo la protección de las estructuras estabilizadoras construidas, ya que el agua se comporta de tal manera que en la ecuación de estabilidad de taludes incrementa exponencialmente las fuerzas actuantes disminuyendo el factor de seguridad; por esta razón las presiones hidrostáticas se deben disminuir mediante un mecanismo de alta resistencia a la compresión ya que la distribución de cargas solicitada entre la estructura y la cara expuesta del talud es alta. Se debe garantizar uniformidad (espesor constante) que no genere deformaciones ni discontinuidades en la obra geotécnica. El sistema de abatimiento debe conducir el agua de manera eficaz para proteger la zona entre el trasdós de la estructura y el intradós del talud y de esta manera tener la capacidad hidráulica requerida. El sistema de abatimiento es ideal para este tipo de obra ya que es eficiente debido a que es ligero, fácil de transportar y tiene una elevada capacidad hidráulica para conducir los flujos internos y proteger la estructura estabilizante.

Manejo de Aguas Superficiales

Para el control de aguas superficiales se plantean canaletas perimetrales a la obra principal (Pantalla Anclada), estos detalles se encuentran en el anexo "Planos".

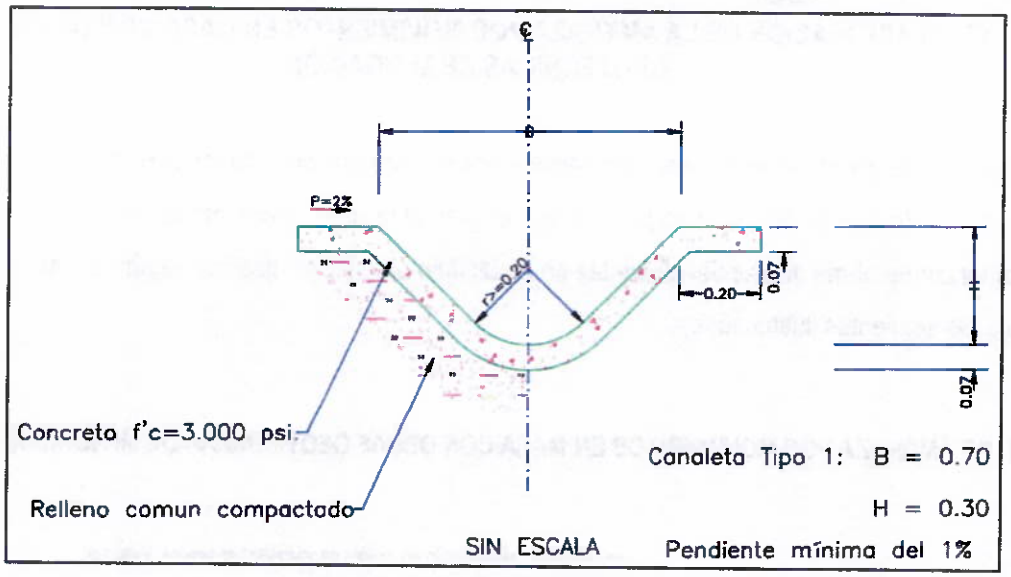


Ilustración 96 Detalle de canaleta.

En resumen, las obras Geotécnicas propuestas para mitigar la amenaza ante movimientos en masa en el sector estudiado son:

- Desmonte y Limpieza
- Retiro de Basuras y escombros del talud
- Perfilado a mano descolgado de talud
- Excavación en material granular
- Excavación en roca
- Excavación a mano con acarreo libre descolgado para zapata
- Ejecución de perforaciones horizontales para anclajes pasivos.
- Ejecución de Jacket de respaldo para revestimiento de perforación horizontal en anclajes.
- Llenado de inyección con lechada cementicia para anclajes
- Instalar un sistema tipo Nails (Anclajes pasivos ejecutados con varillas de 1 ¼) anclados al terreno con un Angulo de inclinación con la horizontal de 15°.
- Ejecución del revestimiento por medio de una protección de taludes con un sistema para control de erosión superficial
- Cada anclaje debe contar con una placa de fijación.
- Construcción de canaletas perimetrales
- Cerramiento del sector para garantizar aislamientos

13. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CON OBRAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN.

Según las normas geotécnicas locales establecidos por la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), la amenaza ante movimientos en masa con la implementación de obras geotecnias descritas en el capítulo anterior se clasifica según su valor y de acuerdo a las siguientes ilustraciones:

NIVEL DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CON OBRAS GEOTÉCNICAS DE MITIGACIÓN.

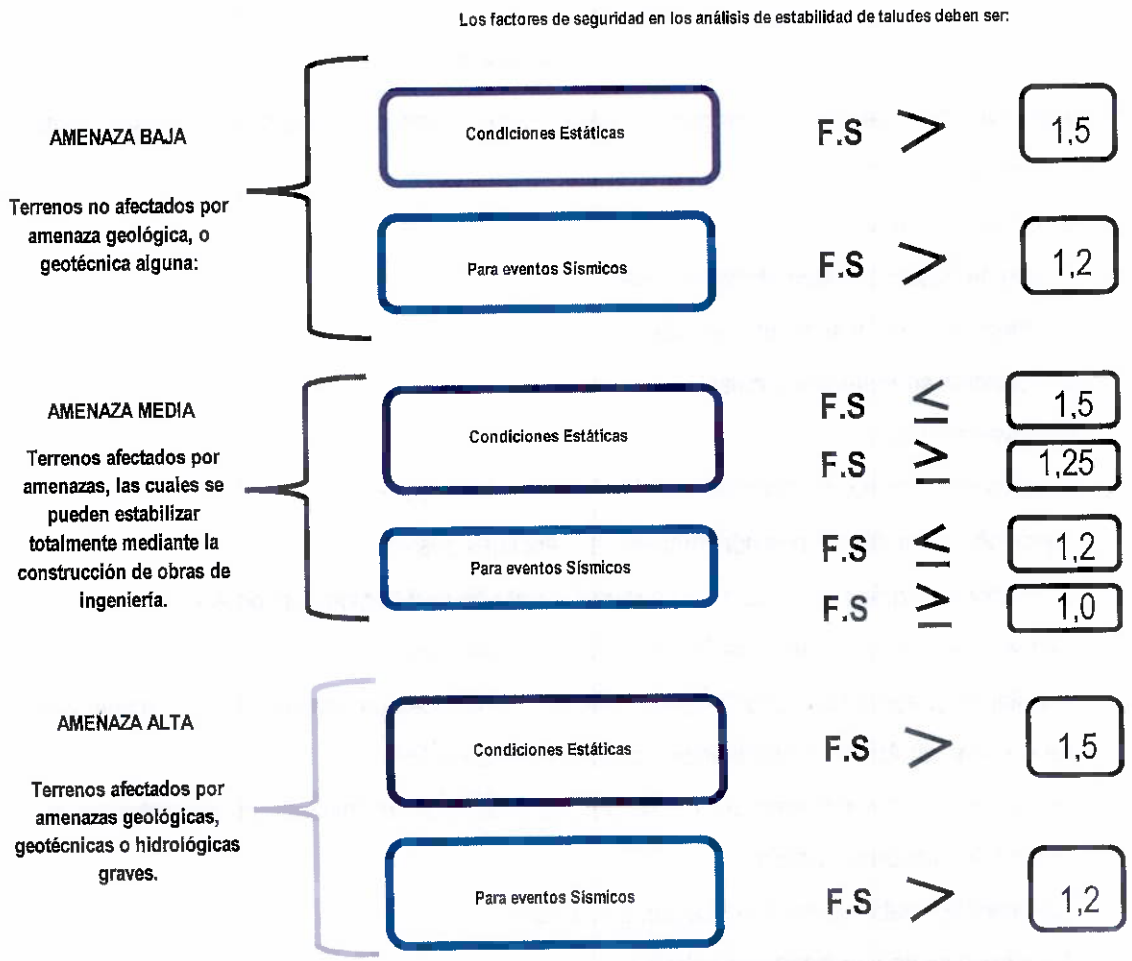


Ilustración 97 Detalle de canaleta.

13.1. Resultados modelamiento geotécnico (estático) con obra geotécnica de mitigación (pantalla anclada):

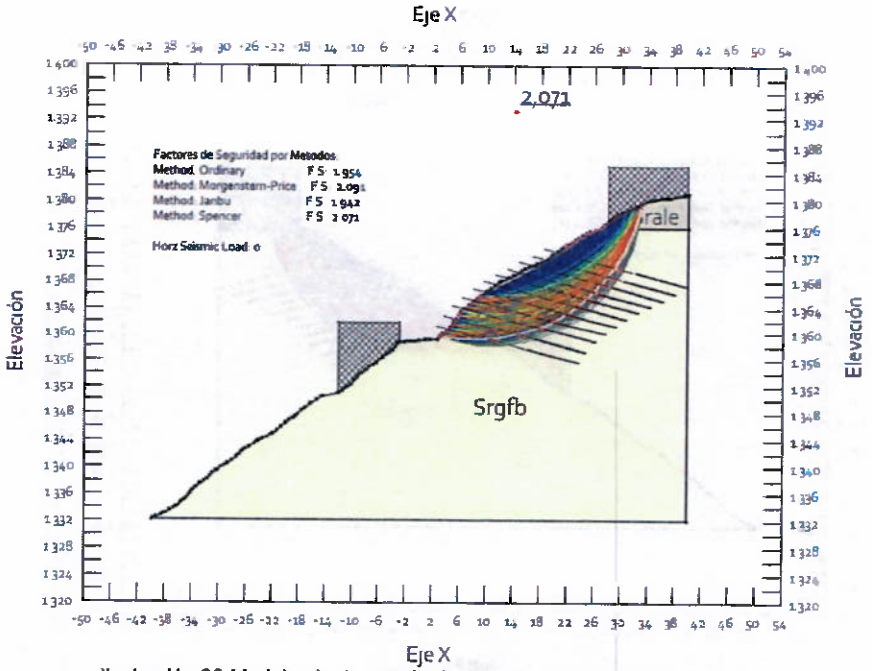


Ilustración 98 Modelamiento geotécnico en condiciones estáticas (sección 5)

13.2. Resultados modelamiento geotécnico (estático) con obra geotécnica de mitigación (sistema Nails)

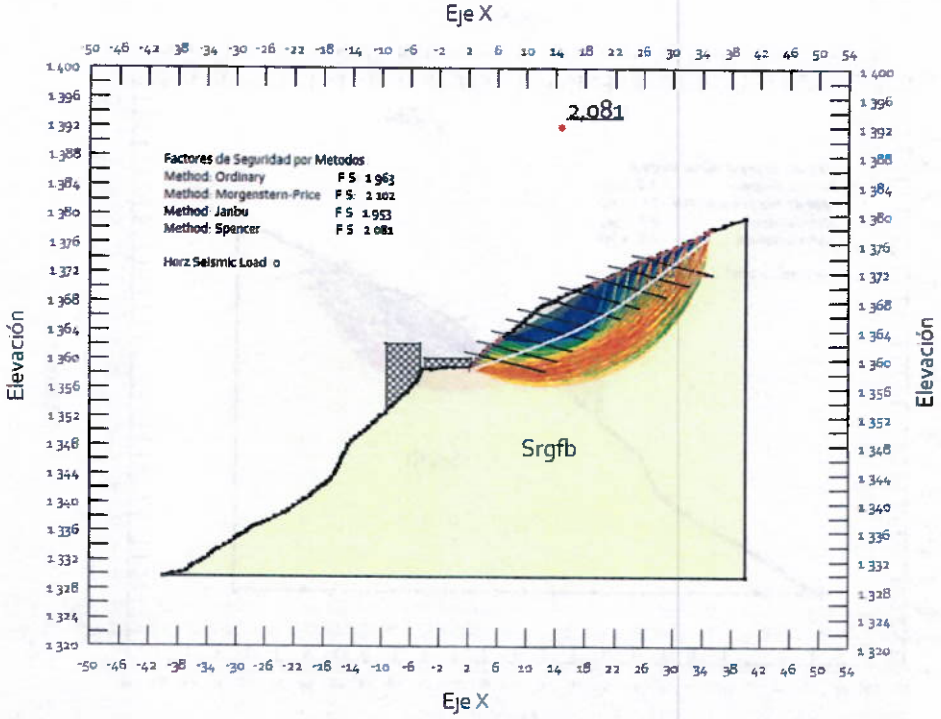


Ilustración 99 Modelamiento geotécnico en condiciones estáticas (sección 6)

13.3. Resultados modelamiento geotécnico (dinámico) con obra geotécnica de mitigación (pantalla anclada):

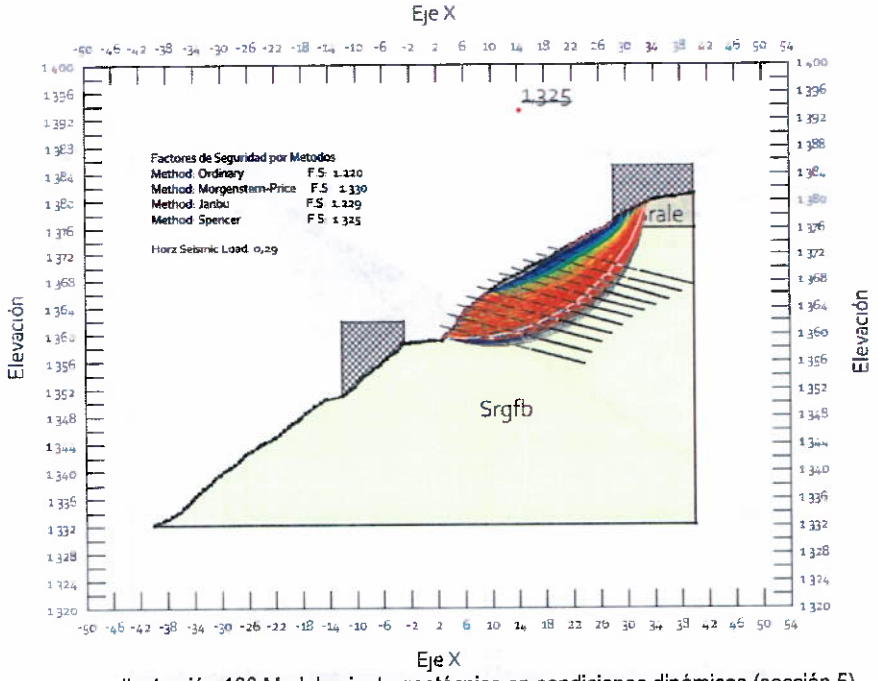


Ilustración 100 Modelamiento geotécnico en condiciones dinámicas (sección 5)

13.4. Resultados modelamiento geotécnico (dinámico) con obra geotécnica de mitigación (sistema Nails)

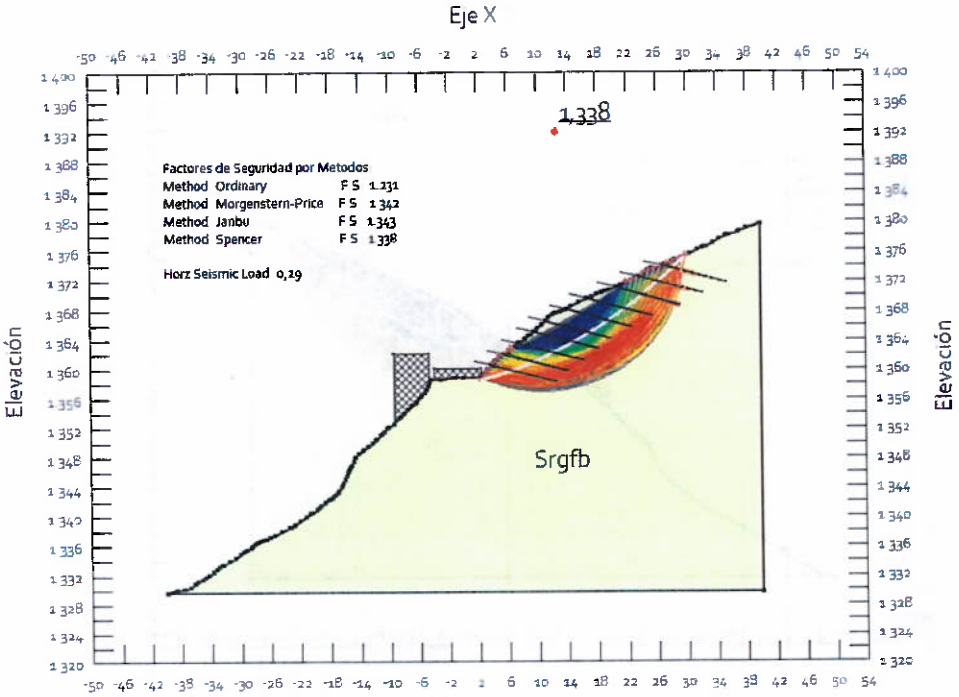


Ilustración 101 Modelamiento geotécnico en condiciones dinámicas (sección 6)

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras el modelamiento geotécnico con la inclusión de obras geotécnicas de mitigación ante movimientos en masa para los diferentes métodos con su respectivo perfil o sección.

FACTORES DE SEGURIDAD (ANÁLISIS GEOTÉCNICO, MODELO DE ESTABILIDAD CON OBRA GEOTÉCNICA DE MITIGACIÓN)

		Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7
AMENAZA BAJA Method: Ordinary	Static	1,957	1,954	1,963	1,967
	With Horz Seismic Load	1,223	1,220	1,231	1,235
AMENAZA BAJA Method: Morgenstern-Price	Static	2,093	2,091	2,102	3,006
	With Horz Seismic Load	1,333	1,330	1,342	1,348
AMENAZA BAJA Method: Janbu	Static	1,946	1,942	1,953	1,957
	With Horz Seismic Load	1,331	1,229	1,343	1,346
AMENAZA BAJA Method: Spencer	Static	2,074	2,071	2,081	2,084
	With Horz Seismic Load	1,329	1,325	1,338	1,342

Tabla 37 Resultados Factores de Seguridad, con obras de mitigación

14. CONCLUSIONES

El sector Buenavista presenta un relieve denudacional dominado por laderas de pendiente moderada a empinada, donde las geoformas de origen natural representan cerca del 42 % del área, mientras que los planos y rellenos antrópicos ocupan aproximadamente el 58 %, concentrados en el sector urbanizado. La configuración del terreno evidencia una acción continua de la escorrentía superficial, con concavidades que canalizan flujos y sectores convexos que actúan como divisorias locales, condicionando la movilidad de materiales y la presencia de zonas con mayor erosión superficial.

Las unidades geológicas para ingeniería están conformadas principalmente por suelo residual antrópico con escombros, que representa alrededor del 63 % del área, seguido por suelo residual desarrollado sobre gneis cuarzo-feldespático, con cerca del 37 %. Esta distribución refleja el predominio de terrenos intervenidos, donde los rellenos y modificaciones antrópicas introducen mayor heterogeneidad y condiciones de inestabilidad puntual frente a cambios de humedad y escorrentía.

La cobertura del suelo se distribuye de manera equilibrada entre tejido urbano continuo, que ocupa aproximadamente el 46 % del área, y herbazales densos arbolados, con cerca del 43 %, mientras que la red vial y el centro deportivo representan en conjunto alrededor del 11 %. La vegetación secundaria contribuye a la estabilidad en sectores de pendiente moderada, mientras que las superficies urbanizadas y descubiertas favorecen la concentración de escorrentía y la pérdida de materiales finos.

Previamente identificados los sectores críticos, se establecieron medidas para eliminar la amenaza y garantizar la estabilidad de los taludes que en el caso de que se llegasen a presentarse condiciones de lluvias fuertes acompañadas de un evento sísmico estos permanezcan estables debido a que en la ecuación de estabilidad las fuerzas resistentes sean superiores a las fuerzas actuantes sobre ellos.

Se advierte que las obras planteadas en el presente estudio se diseñaron sobre las condiciones actuales en cada uno de los taludes (Topografía, cortes, rellenos e intervención antrópica).

Las obras Geotécnicas propuestas para mitigar la amenaza ante movimientos en masa en el sector estudiado son:

- Desmonte y Limpieza
- Retiro de Basuras y escombros del talud
- Perfilado a mano descolgado de talud
- Excavación en material granular
- Excavación en roca
- Ejecución de perforaciones horizontales para anclajes pasivos.
- Ejecución de Jacket de respaldo para revestimiento de perforación horizontal en anclajes.
- Llenado de inyección con lechada cementicia para anclajes
- Instalar un sistema tipo Nails (Anclajes pasivos ejecutados con varillas de 1 ¼) anclados al terreno con un Angulo de inclinación con la horizontal de 15°.
- Ejecución del revestimiento por medio de una protección de taludes con un sistema para control de erosión superficial
- Cada anclaje debe contar con una placa de fijación.
- Construcción de canaletas perimetrales
- Cerramiento del sector para garantizar aislamientos

En el desarrollo de la presente consultoría se identificó que el talud de Buenavista presenta diferentes condiciones, las cuales se describen a continuación:

- En la zona norte del sector de estudio existe un talud que presenta amenaza alta por movimientos en masa y que requiere ser intervenido con un sistema mixto de Nails con control de erosión superficial, el cual se muestra a continuación:



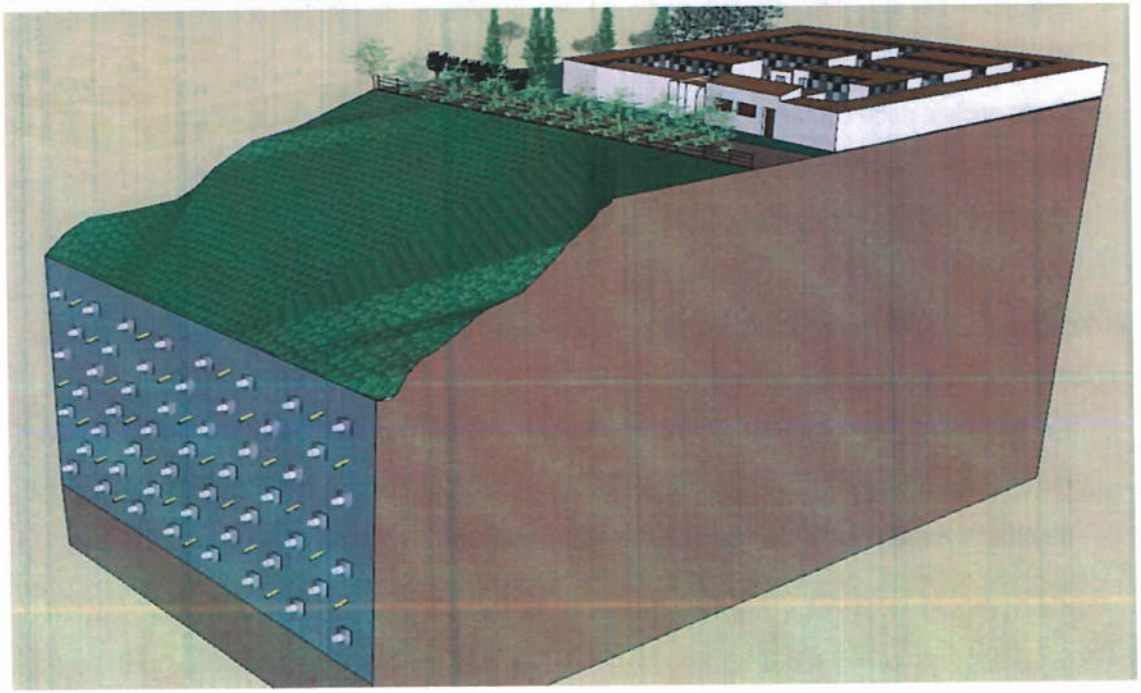


Ilustración 102 Obras Planteadas sector norte del área de estudio

Es necesario aclarar que existen taludes intervenidos por privados, los cuales cuentan con estructuras antrópicas inconclusas; el estudio acoge toda el área según el alcance del mismo, por ende, se establecen los insumos necesarios para el diseño de las obras de mitigación requeridas si ha ello hubiere lugar en estos puntos específicos. Estos insumos corresponden a:

- Topografía detallada.
- UGI
- Morfogénesis
- Morfometría
- Pendientes
- Curvatura
- Rugosidad
- Morfodinámica
- Elementos geomorfológicos
- Cobertura del suelo
- Evaluación hidrológica
- Sismología
- Sondeos geotécnicos
- Apiques
- Ensayos de laboratorio
- Modelo Geológico-Geotécnico

Con la materialización de las obras, las condiciones de estabilidad se garantizan ya que la amenaza alta pasa a ser de amenaza baja por movimientos en masa, tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

Con las medidas anteriores se obtienen factores de seguridad superiores a 1.2 para la condición con sismo y superiores a 1,5 en condiciones estáticas.

Se recomienda canalizar las aguas superficiales provenientes de las vías del sector y de los techos de las viviendas mediante la construcción de canales colectores de aguas lluvias, para evitar la infiltración y dispersión de la matriz de los materiales blandos.

Se debe informar a la comunidad en general de la importancia de no arrojar basuras sobre los escarpes, ya que esto permite la concentración de humedad y contribuye a la inestabilidad del terreno.

Se recomienda la total implementación de las obras de mitigación propuestas en el presente estudio con el fin de reducir la amenaza ante movimientos en masa para mejorar las condiciones de vida de la población del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOOM, A. Geomorphology: A systematic analysis of Late Cenozoic landforms. Waveland Pr Inc, Third edition, 482 p. 2004.

BONACHEA, JAIME Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos, PhD, tesis. 2006.

BOWLES, Joseph E. Foundation Analysis and Design. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company. Singapore, 1988.

BUENO y SOLARTE, Geología, geotecnia y comportamiento erosivo de las áreas de reserva forestal de Bucaramanga. Proyecto de grado (inédito). UIS, Escuela de Geología. Bucaramanga, Santander. Vol. 1, 140 Págs. 1994.

CARREÑO, M.L., CARDONA, O.D., Y BARBAT, A.H. Metodología para evaluación del desempeño de la gestión del riesgo. Monografías de Ingeniería Sísmica. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE, Barcelona. 2004

CASTRO, E., VALENCIA, A., OJEDA, J., MUÑOZ, F. Y FONCESA, S. Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, Guía metodológica, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia. 2001

CEDIEL, F. El Grupo Girón una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental: Servicio Geológico Nacional (Colombia), Bol, Geológico, v. XVI, p. 5-96. 1968.

CHOW, V., T., MAYS, L., W., MAIDMENT, D., R., "Hidrología Aplicada", McGraw-Hill, Santafé de Bogotá. 1994.

Decreto 1523 de 24 de abril 2012 por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

DE PORTA, J., La terraza de Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (Colombia), Bol de Geología, N°3, p. 3-13. 1959.

DELGADO VARGAS, Manuel. Ingeniería de Fundaciones. Primera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1996.

Departamento Nacional de Estadística (DANE), Censo general 2018, disponible en: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

DIEDERIX, H., TORRES, E., HERNÁNDEZ, C. Y BOTERO, P. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas, y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. INGEOMINAS, 84 p. 2008

ETAYO,. ET AL., Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones geológicas especiales INGEOMINAS, (14-I): 235 p. 1983.

GLADE, T.,. Vulnerability assessment in landslide risk analysis. Die Erde 134, 121- 138. 2003

GOMEZ, I. MALDONADO, E. CHIO, G. "Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de hormigón armado en sistema pórtico". 2008.

GONZALEZ DE VALLEJO, Luis et al. Ingeniería Geológica. Madrid. PEARSON Prentice Hall, 744 p. 2002

Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. 2015.

HERMELÍN, M. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 1987.

INGEOMINAS, Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga. Fase I. Bucaramanga. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 1997.

INGEOMINAS. Geología del departamento de Santander. (Hoy Servicio Geológico Colombiano) 1999.

INGEOMINAS. Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. (Hoy Servicio Geológico Colombiano) 2001.

INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Bogotá. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 2007.

INGEOMINAS. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. (Hoy Servicio Geológico Colombiano). 2009.

JIMÉNEZ, G., SPERANZA, F., FACCENA, C., BAYONA, G. Y MORA, A. Magnetic stratigraphy of the Bucaramanga alluvial Fan: Evidence for a < 3mm/yr slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. Journal of South American Sciences, In Press. 2014.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos Tomo II. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. México, 1991.

JULIVERT, M. Morfoestructura de la Zona de la Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.). p. 9-41. 1958.

LANGENHEIM, R. L., JR. Preliminary report on the stratigraphy of Giron formation in Santander and Boyacá: Inst. Geol. Nal. (Colombia), Informe 1011, 20 p. 1954.

LEONE, F., ASTE, J.P., LEROI, E., Vulnerability assessment of elements exposed to mass-moving: working toward a better risk perception. In: Senneset, K. (Ed.), Landslides. Balkema, Rotterdam, pp. 263– 269. 1996

FELL, R. Landslide risk assessment and acceptable risk. Canadian Geotechnical Journal 31, 261–272. 1994

MACCAFERRI, Página web principal. Canalización. http://www.maccaferri-arg.com.ar/soluciones/soluciones-hidraulicas/canalizacion-retangular-y-trapezodial/16198-2.html. 2014.

MESCHEDE, M. Y FRISCH, W. A plate-tectonic model for the Mesozoicand Early Cenozoic history of the Caribbean plate. Tectonophysic 296, p. 269-291. 1998.

Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. p. 92.

Ministerio de Minas y Energía, Servicio Geológico Colombiano SGC, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa,182 páginas. 2015

Monsalve, G.,"Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C. 1999.

Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-10. 2010.

NORMAS GEOTECNICA para el control y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB, Litografía Editar Impresores 2009.

PECK, Ralph, HANSON, Walter E. THORNBURN, Thomas H. Ingeniería de cimentaciones. Talleres de imprenta técnica de Azafrán. México, Enero de 1982.

PMA: GCA. Formato para el inventario de Movimientos en Masa, Versión 1.1. Proyecto Multinacional Andino. 2005.

ROYERO J. & CLAVIJO J. Mapa geológico generalizado. Departamento de Santander. Escala 1:400.000 Memoria explicativa. Instituto de Investigación e información geo científica, 2001.

Servicio Geológico Colombiano (SGC), Documento Metodológico De la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:100.000. Versión No 2. 2013.

Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), Coberturas de la tierra. Concepto. https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=471&conID=1447. 2014.

SUÁREZ, JAIME. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Publicaciones UIS. 1998.

SUAREZ, JAIME. Deslizamientos, Análisis geotécnico, Volumen 1. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 588 pag. 2009.

SUAREZ, JAIME Deslizamientos, Técnicas de remediación, Volumen 2. División de Publicaciones UIS, Bucaramanga, 417 pag. 2009.

Verstappen, H. & Van Zuidan, R. 1975. ITC System of Geomorphological Survey. ITC, Amsterdan, 52 p.

TERZAGHI, Karl; PECK Ralph B. Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Editorial El Ateneo S.A. España, 1980.

U. S. ARMY CORPS ENGINEERS. "Hydrologic Modeling System HEC-HMS" Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachuusetts. 2000.

VARGAS, R., M. DÍAZ-GRANADOS. "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia," XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Cali. 1998

Vulnerabilidad (2004), Oficina de las Naciones Unidas para la prevención y atención de desastres, Disponible en: http://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page8-spa.pdf.

WARD, D. Y GOLDSMITH, R. Geología de los cuadrangulos H-12: Bucaramanga y H-13: Pamplona, Departamento de Santander. Memoria explicativa. Boletín geológico, Vol. XXI, N°1-3, p. 1-131. 1973.

WARD, D.E. et al. Mapa Geológico de la Plancha 109 Rionegro. INGEOMINAS, 1977. Versión Digital 2010.

ZAFIRI, Z., HAVSOK, J. Y HANYGA. An insight into the Bucaramanga nest. Tectonophysics 443, p. 93-105. 2007

BARRIO BUENAVISTA

ANEXO CARACTERIZACION GEOTECNICA