Dependencia responsable	*SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE*
Fecha (dd/mm/aa):	*30 DE SEPTIEMBRE DE 2026*
Proyecto de Decreto /Resolución:	***POR EL CUAL SE REGULA LA INTERVENCIÓN, RESTAURACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS VALLADOS Y SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE - SUDS EN EL MUNICIPIO DE CHIA- CUNDINAMARCA***

1. ANTECEDENTES Y RAZONES DE OPORTUNIDAD Y CONVENIENCIA QUE JUSTIFICAN SU EXPEDICIÓN.

La gestión de las aguas lluvias ha constituido históricamente uno de los principales retos para el ordenamiento territorial y ambiental del municipio de Chía. Debido a sus características geomorfológicas, a la presencia de una extensa red de vallados y al crecimiento urbanístico experimentado durante las últimas décadas, el municipio ha debido desarrollar instrumentos para garantizar la correcta conducción de escorrentías superficiales, prevenir inundaciones y conservar las condiciones hidráulicas y ambientales del territorio.

Con este propósito, la Administración Municipal expidió el Decreto Municipal 104 de 2004, mediante el cual se reguló el manejo de los vallados del municipio. Sin embargo, desde la expedición de dicha norma se han producido importantes cambios normativos, técnicos y ambientales relacionados con la gestión del recurso hídrico, el cambio climático, la gestión del riesgo de desastres y la incorporación de infraestructura verde para el manejo sostenible de aguas lluvias.

De igual forma, el desarrollo normativo nacional ha incorporado nuevas herramientas como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), cuya implementación fue incluida en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y posteriormente fortalecida mediante la Resolución 799 de 2021 y la Ley 2476 de 2025, que promueven la incorporación de infraestructura verde y azul en los procesos de planificación territorial y desarrollo urbano.

Adicionalmente, desde la Secretaría de Medio Ambiente se ha identificado que una proporción significativa de los vallados existentes presenta problemas asociados a taponamientos, sedimentación, pérdida de capacidad hidráulica, ocupaciones indebidas y deficiencias en su mantenimiento, situaciones que incrementan la vulnerabilidad del territorio frente a eventos de inundación y afectan el normal funcionamiento de la red de drenaje municipal.

Necesidad de regulación

La expedición del presente Decreto resulta necesaria por las siguientes razones:

- Actualizar el marco normativo municipal frente a los avances normativos nacionales en materia de drenaje sostenible, gestión ambiental y gestión del riesgo.
- Incorporar expresamente los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como

herramientas para la gestión de escorrentías y adaptación al cambio climático.
- Establecer procedimientos claros para la intervención y restauración de vallados.
- Definir responsabilidades de propietarios, poseedores, urbanizadores, constructores, establecimientos comerciales e industriales.
- Fortalecer los mecanismos institucionales de prevención, seguimiento y control.
- Garantizar la conservación de la funcionalidad hidráulica y ambiental de los vallados y canales artificiales existentes.

Alcance

El presente Decreto regula las actividades de intervención, restauración y mantenimiento de los vallados y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible ubicados dentro del territorio municipal, definiendo competencias institucionales, procedimientos técnicos, medidas preventivas y mecanismos de articulación interinstitucional para su adecuada gestión.

Asimismo, se establecen los requisitos técnicos para la ejecución de obras sobre estos sistemas, las condiciones para nuevas conexiones hidráulicas y las medidas aplicables en situaciones de emergencia relacionadas con inundaciones o afectaciones a la red de vallados.

Fin que se pretende

- Garantizar el adecuado manejo de las aguas lluvias.
- Conservar y recuperar la funcionalidad hidráulica de los vallados.
- Reducir riesgos asociados a inundaciones y eventos hidrometeorológicos.
- Promover la implementación de soluciones basadas en la naturaleza mediante SUDS.
- Fortalecer la adaptación al cambio climático.
- Proteger la conectividad hídrica y ecológica del municipio.
- Mejorar la coordinación institucional para la gestión de drenajes y vallados.

Implicaciones con otras disposiciones

N/A

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN Y SUJETOS A QUIENES VA DIRIGIDO

Ámbito de aplicación

Territorial

El Decreto tendrá aplicación en todo el territorio del municipio de Chía, tanto en suelo urbano como rural, y comprenderá la totalidad de la red de vallados, canales artificiales y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible existentes o que se implementen en el municipio.

Ambiental

La regulación se aplicará sobre las actividades de intervención, restauración, mantenimiento, protección y conexión a vallados y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento hidráulico y ambiental.

Institucional

Será aplicable a las entidades municipales con competencias en materia ambiental, obras públicas, gestión del riesgo, convivencia ciudadana y servicios públicos.

Sujetos obligados o destinatarios

- Propietarios, poseedores y tenedores de predios.
- Conjuntos residenciales y copropiedades.
- Constructores y urbanizadores.
- Establecimientos comerciales, industriales y de servicios.
- Personas naturales o jurídicas que pretendan realizar intervenciones sobre vallados o SUDS.
- Secretaría de Medio Ambiente.
- Secretaría de Obras Públicas.
- Secretaría de Gobierno.
- EMSERCHÍA.
- Inspecciones de Convivencia y Paz.

3. VIABILIDAD JURÍDICA

3.1 Análisis de las normas que otorgan la competencia para la expedición del proyecto normativo

La competencia del Alcalde Municipal para expedir el presente Decreto se sustenta en:

- Constitución Política en sus Artículos 311, 315 y 365: Establece la autonomía de los municipios para gestionar sus intereses, define las atribuciones del alcalde como primera autoridad administrativa del municipio y dispone que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado.
- Decreto Ley 2811 de 1974, particularmente los artículos 126, 142 y 314 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente): Regula la conservación, protección y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Sus artículos sobre aguas y cauces facultan a las autoridades para proteger sistemas de drenaje, prevenir afectaciones ambientales y regular intervenciones sobre cuerpos de agua.
- Ley 99 de 1993, artículo 65: Asigna a los municipios funciones relacionadas con la protección del ambiente, la gestión de los recursos naturales y el control de factores de deterioro ambiental.

- Ley 136 de 1994 modificada por la Ley 1551 de 2012: Establece las normas de organización y funcionamiento de los municipios y fortalece sus competencias en materia de planificación territorial, protección ambiental, gestión de servicios públicos y prevención de riesgos.
- Ley 142 de 1994: Regula la prestación de los servicios públicos domiciliarios, incluyendo los relacionados con acueducto, alcantarillado y saneamiento básico, aspectos estrechamente vinculados con la gestión de aguas lluvias y drenajes urbanos.
- Ley 1801 de 2016 (Código Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana): Define medidas correctivas y competencias de las autoridades para prevenir comportamientos que afecten el ambiente, el espacio público, los sistemas de drenaje y la seguridad de las personas.
- Ley 2476 de 2025 (Ley de Ciudades Verdes): Promueve la incorporación de infraestructura verde y azul en los municipios, así como la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, incluyendo los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), para la adaptación climática y la gestión sostenible del territorio.
- Decreto 1076 de 2015: Compila la normativa ambiental nacional y regula aspectos relacionados con el manejo, protección y uso sostenible de los recursos naturales renovables, así como los instrumentos de gestión ambiental.
- Decreto 1077 de 2015: Compila la reglamentación del sector vivienda, ciudad y territorio, incluyendo disposiciones sobre ordenamiento territorial, urbanismo, espacio público y sistemas de servicios públicos asociados al desarrollo urbano.
- Resolución 330 de 2017 modificada por la Resolución 799 de 2021: Adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), incorporando criterios técnicos para el diseño y manejo de sistemas de drenaje urbano y estableciendo la evaluación e implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).
- Acuerdo Municipal 100 de 2016 (Plan de Ordenamiento Territorial de Chía): Establece las directrices de ordenamiento, protección ambiental, estructura ecológica principal y manejo del recurso hídrico en el municipio, constituyéndose en el principal instrumento de planificación territorial local.

3.2 Vigencia de la ley o norma reglamentada o desarrollada

Las disposiciones constitucionales, legales y reglamentarias que fundamentan el proyecto normativo se encuentran vigentes y constituyen el marco jurídico actual para la regulación municipal del manejo de aguas lluvias, vallados y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

3.3 Disposiciones derogadas, subrogadas, modificadas, adicionadas o sustituidas

Derogación expresa:

Decreto Municipal 104 de 2004.

La derogatoria del Decreto Municipal 104 de 2004 se justifica por la necesidad de actualizar la regulación del municipio de Chía frente a los avances normativos, técnicos e institucionales ocurridos en las últimas dos décadas. Es importante señalar que dicho decreto fue expedido en desarrollo de las disposiciones contenidas en el Acuerdo Municipal 17 de 2000, mediante el cual se adoptó el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Chía, instrumento que estableció los lineamientos generales para la protección y manejo de la estructura hídrica y la red de drenaje del municipio.

Sustitución normativa:

N/A

3.4 Revisión y análisis de la jurisprudencia que tenga impacto o sea relevante para la expedición del proyecto normativo (órganos de cierre de cada jurisdicción). N/A

3.5 Circunstancias jurídicas adicionales

La expedición del presente decreto fortalece la seguridad jurídica en materia de manejo de vallados y sistemas de drenajes sostenibles, actualiza la normativa local frente a la Ley 2476 de 2025 y materializa los principios de prevención, precaución, sostenibilidad ambiental y adaptación al cambio climático en el ámbito municipal.

4. IMPACTO ECONÓMICO (si se requiere)

N/A

5. VIABILIDAD O DISPONIBILIDAD PRESUPUESTAL (Si se requiere)

N/A

6. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL O SOBRE EL PATRIMONIO CULTURAL DEL MUNICIPIO (Si se requiere)

De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), la Ley 1931 de 2018 que incorpora la adaptación al cambio climático como responsabilidad de las entidades territoriales, la Guía para Gestionar Fenómenos Asociados a la Variabilidad Climática Mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (DNP, 2025) y la Estrategia Nacional de Soluciones Basadas en la Naturaleza del DNP, las medidas orientadas a la protección, restauración y mantenimiento de la red hídrica artificial y de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible generan efectos ambientales favorables al promover una gestión más eficiente de las aguas lluvias, contribuir a la reducción de la escorrentía superficial, fortalecer la infraestructura verde y azul, favorecer la conectividad ecológica y aumentar la resiliencia territorial frente a los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

7. ESTUDIOS TÉCNICOS QUE SUSTENTEN EL PROYECTO NORMATIVO (Si cuenta con ellos)

El proyecto normativo se sustenta en:

- Plan Maestro de Vallados.
- Lineamientos técnicos para la intervención de Vallados.

ANEXOS Seleccione con una X	
Certificación de cumplimiento de requisitos de consulta, publicidad y de incorporación en la agenda regulatoria *(Firmada por el servidor público competente - entidad originadora)*	
Informe de observaciones y respuestas *(Análisis del informe con la evaluación de las observaciones de los ciudadanos y grupos de interés sobre el proyecto normativo, formato de análisis de comentarios)*	
Concepto de la Secretaría de Planeación Municipal *(Cuando los proyectos normativos requieran este concepto)*	N/A
Otro *(Cualquier otro aspecto que la entidad originadora de la norma considere relevante o de importancia)*	

Aprobó:

_____

Firma
EILEN LIZETH VARELA BELLO
Secretaria de Medio Ambiente

LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INTERVENCIÓN DE VALLADOS

Secretaria de Medio Ambiente

Alcaldía Municipal De Chía

Chía, Cundinamarca

unesco Member Global Network of Learning Cities
CAM CENTRO ADMINISTRATIVO MUNICIPAL - CHÍA
Carrera 9 N° 11-24
PBX: (601) 884 4444 Ext. 3700 - 3702
sec.ambiente@chia.gov.co
www.chia-cundinamarca.gov.co

Contenido

Introducción 3

Requisitos 5

a. Conjunto de Datos Primarios del Sistema de Información del Recurso Hídrico. 5

i. Fuentes de información nacional y regional: 5

ii. Información geográfica: 6

iii. Modelamiento espacial 7

b. Modelo de datos y tareas de estandarización 7

c. Calidad de la información 8

Información Para Realizar Solicitud 9

Disponibilidad de Servicios en el Manejo de Aguas Lluvias Excedentes 10

a. Alcance de la disponibilidad de EMSERCHÍA ESP 10

b. Competencia de la Secretaría de Medio Ambiente 10

c. Procedimiento administrativo 10

d. Diseños hidráulicos e hídricos cuando no se cuenta con alcantarillado de aguas residuales o pluviales 11

Condiciones de aprobación 11

Recomendaciones 11

Condicionamientos 12

Bibliografía 13

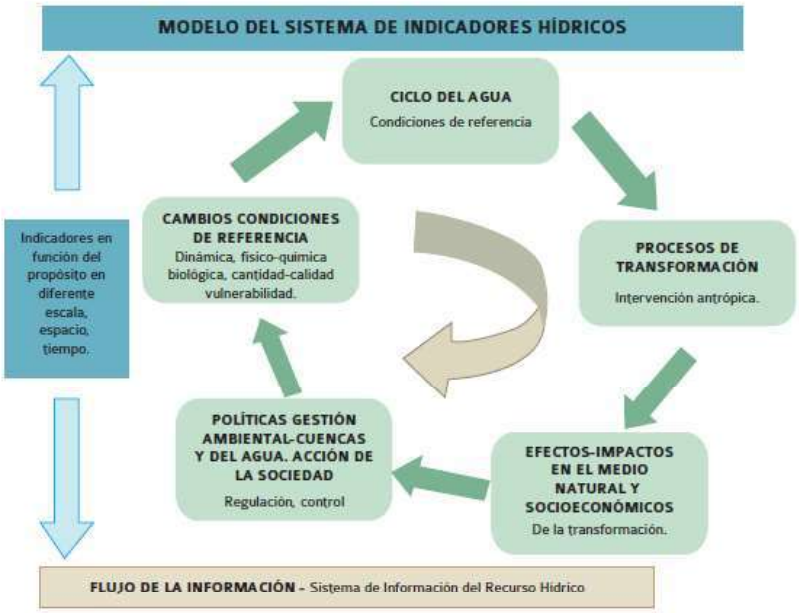
Introducción

Colombia es uno de los países más húmedos del planeta, con una gran riqueza hídrica reflejada en el régimen de lluvias de tipo bimodal y/o unimodal. Los promedios de precipitación superiores a 2000 mm/año casi en la totalidad de su territorio, lo llevan a ocupar el cuarto lugar en el mundo en cuanto a disponibilidad de agua después de Rusia, Canadá y Brasil(Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2009). Esta combinación de circunstancias hace especialmente necesarios el diseño y la construcción de sistemas de drenaje de cuya eficacia dependerá la calidad de los sistemas ya existentes, así como de las infraestructuras que se pretendan integrar a estos.

De acuerdo a la necesidad del municipio de Chía para dar un manejo adecuado a los canales abiertos antrópicos mejor conocidos en el municipio como vallados, se hace necesario identificar la literatura correspondiente a los lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua, en ellos cuales la caracterización de variables de oferta, demanda y calidad, y las correspondientes a alteraciones del régimen natural, permiten construir un sistema de indicadores hídricos que reflejan el estado de las situaciones que, en un enfoque sistémico con visión integral, son determinantes para la toma de decisiones en el marco de la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) adoptado en la “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia”.

La conceptualización de este sistema de indicadores se ilustra en la Figura 1. Se parte de unas condiciones de referencia que son afectadas por la intervención antrópica y procesos de transformación. De acá la relevancia que se tiene con respeto a tener el conocimiento de las condiciones a las cuales se puede enfrentar la inadecuada modificación o intervención de un canal antrópico, a pesar de que este no es un cuerpo natural, se genera un escurrimiento y conducción de las aguas lluvias presentadas en las áreas duras que se van construyendo en el municipio, o por infiltración, o demás aportes de las áreas aledañas. Este cambio de condiciones determina las acciones que se deben tomar para garantizar la sostenibilidad del agua, así como la disminución en cuanto a las condiciones de anegación, proliferación de vectores, y demás condiciones de riesgo que se puedan generar para la comunidad aledaña a estos canales abiertos de origen antrópico.

Figura 1. Modelo del Sistema de Indicadores Hídricos

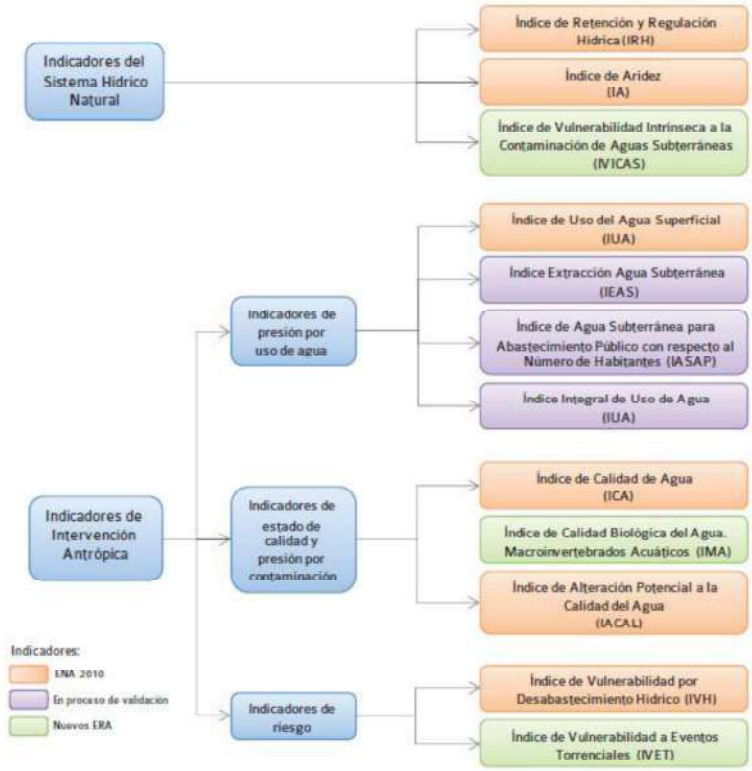


Fuente: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua 2013

Los indicadores hídricos que conforman el sistema se dividen en indicadores de sistema hídrico natural e indicadores de intervención antrópica. En este sentido se incorporan al dominio regional los seis indicadores del Estudio Nacional del Agua y se complementa el análisis con nuevos indicadores pertinentes en el nivel regional.

Con respecto a esta información, es importante tener en cuenta nuevos indicadores presentados por el municipio ya que este es el encargado de establecer el adecuado manejo a estos cuerpos antrópicos, y de igual forma generar lineamientos para el adecuado funcionamiento hidráulico para los proyectos urbanísticos mayores a cuatro unidades de vivienda. Esto debido a que muchas de estas aguas son vertidas a los cauces principales de los Ríos Bogotá y Frio, de igual manera estos canales abiertos funcionan provisionalmente como alcantarillado pluvial.

Figura 2 Sistema de Indicadores Hídricos Regionales



Fuente: Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua 2013

El municipio de Chia ordena la limpieza y recuperación de vallados por medio del Decreto 104 de 2004, en el ARTICULO PRIMERO: "*Ordenar a todos los moradores, residentes, poseedores, propietarios o simples tenedores de los predios ubicados dentro del municipio particularmente en las zonas suburbanas y veredales, limpiar, destapar y mantener en perfecto estado de drenaje y evacuación, el vallado o la parte del mismo correspondiente a los frentes y costados de cada inmueble afectados con esta servidumbre*."

En consecuencia, y de conformidad con la normatividad anteriormente señalada, los vallados son parte integral del sistema de manejo de aguas pluviales, que a la vez hacen parte del sistema hídrico, por tal motivo se propende y vela por la adecuada limpieza y recuperación física de los vallados, por parte de los propietarios, la empresa de servicios públicos del municipio y la administración municipal.

En la actualidad muchos de estos canales como consecuencia del desarrollo urbanístico, se han venido afectando por la ampliación de los paramentos de las viviendas, disposición de residuos (ordinarios, especiales y de demolición), vertimientos de aguas residuales domésticas, entre otras afectaciones. En conformidad de genera cumplimiento de la

normatividad con respecto al ARTICULO SEGUNDO: "*La contravención a lo señalado en el presente Articulo será sancionado con multa de uno (1) a diez (10) salarios mínimos legales mensuales, conforme a lo señalado en el Artículo Ciento Catorce (114) del Decreto 081 de 1991. sin perjuicio de hacer exigible la ejecución de las obras de limpieza y recuperación de vallados*."

Requisitos

El proceso de preparación de insumos es necesario para la abstracción de la información, con respecto a esto se hace necesario contar con parámetros e información técnica clara, en cuanto a: Conjunto de Datos Primarios del Sistema de Información del Recurso Hídrico, Fuentes de información nacional y regional, Modelamiento espacial, Información geográfica, Modelo de datos y tareas de estandarización y Calidad de la información.

Lo cual aportará a la Secretaría de Medio Ambiente datos asertivos con los cuales se podrá generar la interpretación y adecuada respuesta a las solicitudes realizadas por la comunidad en general.

a. Conjunto de Datos Primarios del Sistema de Información del Recurso Hídrico.

Un diseño eficiente exige, ante todo, la capacidad de identificar las posibles fuentes de información. El esfuerzo requerido para la recolección y recopilación de información deberá adaptarse a la importancia del proyecto. Se debe allegar toda la información disponible y efectuar un análisis somero de ella. Al efecto, deberá considerar las siguientes actividades:

i. Fuentes de información nacional y regional:

Las bases de datos y el sistema de información ambiental que coordina el IDEAM son el referente nacional. Es necesario complementar y consolidar las bases regionales que soporten la toma de decisiones sobre el agua.

- Obtención de la cartografía IGAC existente, a escala 1:2.000, tal como se cataloga en el RAS Título D (Ministerio de Vivienda, 2016).
- Identificación y recopilación de la información de las estaciones climatológicas e hidrométricas, operadas por el IDEAM o por entidades gubernamentales o privadas. (http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/)

Imagen 1 Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos



Fuente: IDEAM, http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

ii. Información geográfica:

La información geográfica es definida como “el conjunto de datos que posee un componente geométrico o espacial, que describe la localización de los objetos en el espacio y las relaciones espaciales entre ellos. También se entiende como información geográfica al producto de la georreferenciación de bases de datos temáticas que posean atributos geográficos, tales como las imágenes de sensores remotos satelitales y aerotransportados, la cartografía marítima y aeronáutica, entre otros”. La información geográfica es crucial para la toma de decisiones. Al comprender la distribución espacial de los fenómenos, se pueden identificar patrones, prever cambios, y desarrollar estrategias efectivas para gestionar recursos, planificar infraestructuras, y responder a emergencias, entre otros.

- Información geográfica (Shape).

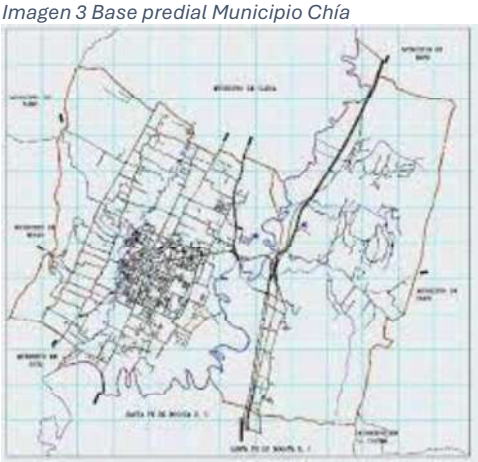
Imagen 2 Información geográfica SIG



Fuente: Cursencia, https://cursencia.com/cursos/sistema-de-informacion-geografica-gratis-en-cursencia/

- Base predial (límites municipales, de veredas y prediales).

Imagen 3 Base predial Municipio Chía



Fuente: Alcaldia Municipal de Chia, https://www.chia-cundinamarca.gov.co/POT/Acuerdo100de2016/DTS%20%20FINAL.pdf

- Red hidrológica (Vallado).

Imagen 4 Red hidrológica Área Hidrográfica



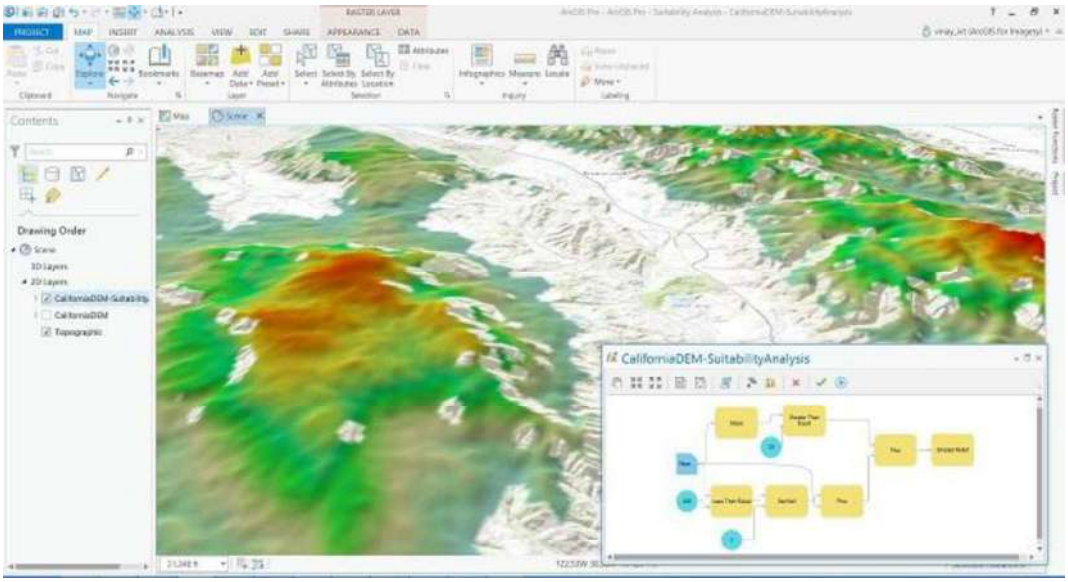
Fuente: Creación de redes hidrológicas de órdenes, https://www.gisandbeers.com/creacion-de-redes-hidrologicas-de-ordenes/

iii. Modelamiento espacial

La información espacial y alfanumérica es una herramienta para la toma de decisiones oportunas, especialmente en lo relacionado con la disponibilidad, uso y aprovechamiento del agua. Esta técnica permite analizar y entender patrones, tendencias y relaciones espaciales mediante el uso de datos geográficos mencionados en el anterior numeral. Las dificultades actuales para la consecución, ordenación, manipulación y distribución de la información muestran la necesidad de implementar sistemas de información que permitan almacenar y procesar los datos hidrológicos, los censos de usuarios, infraestructura, y demás información necesaria para optimizar la gestión del recurso hídrico. En este caso, para desarrollar la correspondiente evaluación en cuanto a la gestión de las cuencas hídricas.

- Planos de levantamiento batimétrico con los respectivos cortes (planta, longitudinal).

Imagen 5 Proyectos SIG



Fuente: ArcGIS Blog, https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/entendiendo-arcgis-pro/

b. Modelo de datos y tareas de estandarización

El procesamiento de datos hidrométricos e hidráulicos implica:

i) transformar los datos primarios en información para ser utilizada por los usuarios (registros analógicos, libretas de campo, y datos automáticos enviados desde instrumentos remotos, entre otros)

ii) someterlos a revisiones de calidad en las etapas correspondientes. Durante dicha conversión, es clave el uso de:

- Las mismas categorizaciones o listas controladas
- El mismo formato de datos
- Las mismas opciones de unidades de medida

Lo anterior, implementado dentro de un modelo de datos común deberá facilitar el tratamiento homogéneo de la información y su posterior consulta e intercambio a través de herramientas tecnológicas que puedan indexar los datos según las diferentes categorías acordadas.

Consecuentemente, se definirán las características de las cuencas, estableciendo con precisión los límites y el tamaño del área aferente de cada una, las áreas de drenaje, la pendiente del curso de agua más importante y la pendiente media de cada cuenca y demás características geométricas de las mismas, el uso actual y previsto de la tierra, y se identificarán, entre otros, los tipos de suelos y su clasificación. Asimismo, se entiende que la hoya hidrográfica es el ente físico natural de todo cálculo en hidrología. Se define como un área limitada topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple, localizada en el punto más bajo de la misma.

Las características físicas más importantes de las hoyas hidrográficas son las siguientes:

- Área de drenaje
- Forma de la hoya
- Sistema de drenaje
- Pendiente de la hoya
- Pendiente del cauce principal
- Tiempo de concentración

Si se cuenta con una estación hidrométrica sobre una corriente de agua, con datos históricos de caudal máximo instantáneo, se toman sus valores máximos instantáneos anuales, se ajustan a distribuciones probabilísticas conocidas.

Por otra parte, el modelo de escorrentía se utiliza cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en hoyas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial.

De esta manera, a través de datos históricos de lluvia de corta duración, existentes en la cuenca de interés y representativos de ella, aplicados a la hoya hidrográfica con características específicas geométricas, de suelos, vegetación, entre otros, se calcula el caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial sobre la hoya. Para esta calculo se recomienda realizarlo por el método racional, claro está que la aplicabilidad de este método se debe usar entre 1.3 a 2.5 km2.

Se debe adelantar el levantamiento topográfico y batimétrico de los cauces cruzados por ponteaderos o cruces en estructuras que contemplen la sostenibilidad del vallado.

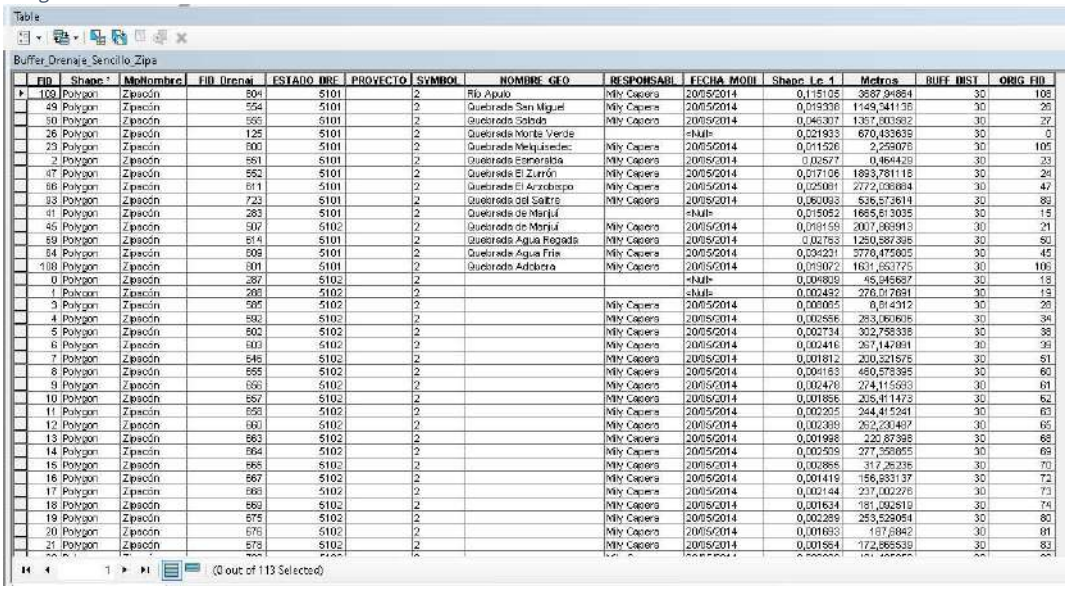
c. Calidad de la información

Los datos sobre variables hidrológicas, hidrogeológicas, meteorológicas cumplen un papel clave para realizar tareas de planificación, administración del recurso hídrico, determinar las

restricciones y usos posibles. Los procesos para la gestión de información en el Municipio son los siguientes:

- Diseñar guías y/o formatos para la recolección de información (Anexo 1).
- Garantizar que los datos suministrados, se levanten en campo haciendo uso de las Coordenadas en Sistema Único Nacional CTM-12.
- Inspeccionar que la digitalización de la información cuente con controles y validaciones como lo son: listas controladas, mínimos, máximos, unidades de medida, tipo de datos, que deberán ser suministrados en formato Shape
- Garantizar que los atributos del Shape, como mínimo contengan la siguiente información: Identificador Único, Coordenadas en Sistema Único Nacional CTM-12, Cota Clave en cada sección, Cota Batea en cada sección, Pendiente, Talud por sección, Vereda, Sector y Nombre de Vallado si aplica

Imagen 6 Tabla de atributos ArcGIS



Table

Buffer_Drenaje_Sencillo_Zipa

FID	Shape *	MpNombre	FID_Drenaj	ESTADO_DRE	PROYECTO	SYMBOL	NOMBRE_GEO	RESPONSABL	FECHA_MODI	Shape_Le_1	Metros	BUFF_DIST	ORIG_FID
109	Polygon	Zipacón	804	5101		2	Río Apulo	Mily Cepeda	20/05/2014	0,115105	3687,94864	30	108
49	Polygon	Zipacón	554	5101		2	Quebrada San Miguel	Mily Cepeda	20/05/2014	0,019336	1149,541138	30	26
50	Polygon	Zipacón	555	5101		2	Quebrada Salado	Mily Cepeda	20/05/2014	0,046307	1357,803582	30	27
26	Polygon	Zipacón	125	5101		2	Quebrada Monte Verde		<Null>	0,021933	670,433639	30	0
23	Polygon	Zipacón	800	5101		2	Quebrada Melquisedec	Mily Cepeda	20/05/2014	0,011526	2,259078	30	105
2	Polygon	Zipacón	551	5101		2	Quebrada Esmeralda	Mily Cepeda	20/05/2014	0,02677	0,464429	30	23
47	Polygon	Zipacón	552	5101		2	Quebrada El Zurrón	Mily Cepeda	20/05/2014	0,017106	1893,781118	30	24
66	Polygon	Zipacón	811	5101		2	Quebrada El Arzobispo	Mily Cepeda	20/05/2014	0,025081	2772,086894	30	47
93	Polygon	Zipacón	723	5101		2	Quebrada del Salitre	Mily Cepeda	20/05/2014	0,060093	536,573614	30	88
41	Polygon	Zipacón	283	5101		2	Quebrada de Manjuí		<Null>	0,015052	1665,813035	30	15
45	Polygon	Zipacón	807	5102		2	Quebrada de Manjuí	Mily Cepeda	20/05/2014	0,018159	2007,868913	30	21
59	Polygon	Zipacón	814	5101		2	Quebrada Agua Regada	Mily Cepeda	20/05/2014	0,02753	1250,887396	30	50
64	Polygon	Zipacón	809	5101		2	Quebrada Agua Fría	Mily Cepeda	20/05/2014	0,034231	3776,475805	30	45
108	Polygon	Zipacón	801	5101		2	Quebrada Addabra	Mily Cepeda	20/05/2014	0,019072	1631,653725	30	106
0	Polygon	Zipacón	287	5102		2			<Null>	0,004839	45,845687	30	18
1	Polygon	Zipacón	288	5102		2			<Null>	0,002492	276,017691	30	19
3	Polygon	Zipacón	585	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,000085	8,814312	30	28
4	Polygon	Zipacón	592	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002556	283,060606	30	34
5	Polygon	Zipacón	602	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002734	302,758338	30	38
6	Polygon	Zipacón	603	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002416	267,147891	30	39
7	Polygon	Zipacón	645	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,001812	200,521575	30	51
8	Polygon	Zipacón	655	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,004163	460,573395	30	60
9	Polygon	Zipacón	656	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002478	274,115693	30	61
10	Polygon	Zipacón	657	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,001856	205,411473	30	62
11	Polygon	Zipacón	658	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002205	244,415241	30	63
12	Polygon	Zipacón	660	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002389	262,230487	30	65
13	Polygon	Zipacón	663	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,001998	220,87398	30	68
14	Polygon	Zipacón	664	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002509	277,358655	30	69
15	Polygon	Zipacón	665	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002895	317,25236	30	70
16	Polygon	Zipacón	667	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,001419	156,931137	30	72
17	Polygon	Zipacón	668	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002144	237,002276	30	73
18	Polygon	Zipacón	669	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,001634	181,002619	30	74
19	Polygon	Zipacón	675	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,002289	253,529054	30	80
20	Polygon	Zipacón	676	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,001693	187,6842	30	81
21	Polygon	Zipacón	678	5102		2		Mily Cepeda	20/05/2014	0,001564	172,866539	30	83

(0 out of 113 Selected)

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente

Información Para Realizar Solicitud

Con respecto a lo planteado en el capítulo anterior, se debe entregar a la Secretaría de Medio Ambiente los correspondientes estudios y diseños donde se defina el contenido de los lineamientos técnicos establecidos de acuerdo con el área u hoya hidrográfica que aportará aguas de escorrentía a los vallados a intervenir, así como de las estructuras a desarrollar.

Las soluciones que finalmente se planteen, deberán garantizar que las aguas sean recolectadas y conducidas de la manera más eficiente y segura, sin producir afectaciones o riesgo aguas abajo, toda documentación deberá estar debidamente firmada por los profesionales responsables de los estudios.

De acuerdo con lo anterior para presentar a la Secretaría de Medio Ambiente proyectos de intervención a los vallados del municipio se requiere la siguiente información (física y digital):

- Introducción
- Justificación
- Objetivo, descripción de la intervención y datos generales (zonificación según el POT y vallado)
- Clasificación de la microcuenca.
- Análisis climatológico

- Caudales cuenca
- Batimetría propuesta de canalización
- Estudio hidráulico de la intervención.
- Estudio hidrológico de las áreas aferentes.
- Topografía y diseño hidráulico con el correspondiente acotamiento del tramo a intervenir.
- Certificado de disponibilidad de servicios (acueducto, alcantarillado sanitario y pluvial).
- Planos de detalle de los sistemas unitarios (desarenadores, box culvert, entre otros).
- Anexos.

Disponibilidad de Servicios en el Manejo de Aguas Lluvias Excedentes

a. Alcance de la disponibilidad de EMSERCHÍA ESP

La certificación de disponibilidad emitida por EMSERCHÍA ESP:

- Garantiza la cobertura del servicio en el área solicitada.
- Define las condiciones técnicas de conexión a las redes pluviales existentes.
- Establece parámetros de capacidad hidráulica y sostenibilidad en la conducción de caudales.

No obstante, dicha certificación no sustituye la autorización ambiental requerida para la disposición de aguas lluvias excedentes hacia los vallados, canales o cuerpos hídricos antrópicos.

Cuando el sector carece de red de alcantarillado pluvial o sanitario, EMSERCHÍA ESP consigna expresamente esta condición en el concepto de disponibilidad, indicando que la viabilidad del proyecto queda supeditada a la presentación y aprobación de los diseños hidráulicos e hídricos del sistema alternativo ante la Secretaría de Medio Ambiente, conforme se desarrolla en el numeral 5.

b. Competencia de la Secretaría de Medio Ambiente

De acuerdo con la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015 y las disposiciones municipales en materia de gestión ambiental, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente evaluar y aprobar la conexión de excedentes pluviales. Para ello, los urbanizadores deberán presentar:

- Diseños hidráulicos y memoria técnica del sistema de drenaje.
- Modelaciones hidrológicas que demuestren la capacidad de conducción y disposición.
- Planes de manejo ambiental que aseguren la prevención de impactos negativos.

c. Procedimiento administrativo

El trámite para la conexión de aguas lluvias excedentes se desarrolla en dos etapas complementarias:

1. Disponibilidad de servicios por EMSERCHÍA ESP, que certifica la viabilidad técnica de conexión.
2. Aprobación ambiental por la Secretaría de Medio Ambiente, que autoriza la disposición final de excedentes pluviales.

Cuando el proyecto se ubica en un área sin cobertura de alcantarillado, esta segunda etapa incorpora, adicionalmente, la evaluación de los diseños hidráulicos e hídricos del sistema individual o colectivo alternativo, en los términos descritos en los capítulos anteriores de este documento.

d. Diseños hidráulicos e hídricos cuando no se cuenta con alcantarillado de aguas residuales o pluviales

En ausencia de red pública de alcantarillado sanitario y/o pluvial, el urbanizador debe sustentar la viabilidad técnica y ambiental del proyecto mediante estudios y diseños que demuestren que el manejo del agua —tanto residual como lluvia— se realizará sin generar riesgo sanitario, erosión, inundación aguas abajo o afectación a rondas hídricas y cuerpos de agua receptores.

- Articulación con la protección de rondas hídricas

Cuando el punto de disposición de excedentes pluviales o el efluente del sistema de saneamiento se ubique en cercanía de un cuerpo hídrico o su ronda de protección, el diseño hidráulico debe articularse con los lineamientos municipales de mantenimiento y protección de rondas hídricas vigentes en el marco del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), garantizando el respeto de las fajas de retiro y la incorporación de medidas de manejo ambiental que eviten procesos erosivos o de sedimentación sobre el cauce receptor.

La adecuada gestión de las aguas lluvias excedentes requiere la concurrencia de ambos trámites: la disponibilidad de servicios emitida por EMSERCHÍA ESP y la autorización ambiental otorgada por la Secretaría de Medio Ambiente. Cuando el proyecto no cuenta con cobertura de alcantarillado de aguas residuales o pluviales, esta concurrencia se complementa necesariamente con la presentación de diseños hidráulicos e hídricos de sistemas alternativos —de drenaje sostenible para aguas lluvias y de saneamiento in situ o PTAR compacta para aguas residuales—, sustentados en estudios hidrológicos, criterios hidráulicos normativos y planes de manejo ambiental. Solo mediante este procedimiento integral se garantiza la sostenibilidad, la protección de los recursos hídricos y el cumplimiento de la normatividad vigente en el municipio de Chía.

Condiciones de aprobación

Para realizar la correspondiente solicitud de intervención del vallado, se hace necesario para su posterior aprobación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente, que se tengan las siguientes condiciones:

- El vallado debe tener continuidad, con el fin de que entregue sus aguas a un cuerpo hídrico natural
- Si es un vallado medianero y se va a intervenir deberá ser presentada el acta de vecindad firmada por las partes.
- No se dará aprobación si el vallado tiene vertimientos de aguas residuales domesticas o no domésticas.

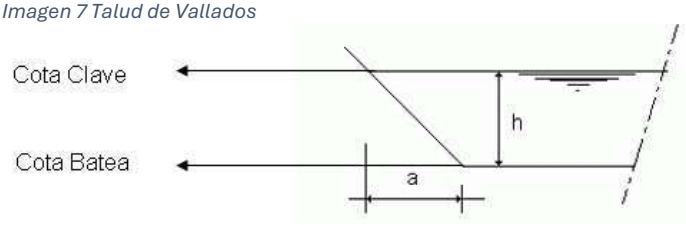
Recomendaciones

En el caso de los canales que forman parte del sistema de drenaje de aguas lluvias de un municipio, se deben seguir las siguientes recomendaciones y parámetros de diseño, tomado del RAS 2000 Titulo D (Ministerio de Vivienda, 2016):

- Los diseños deberán contar con una pendiente mínima de 10%.

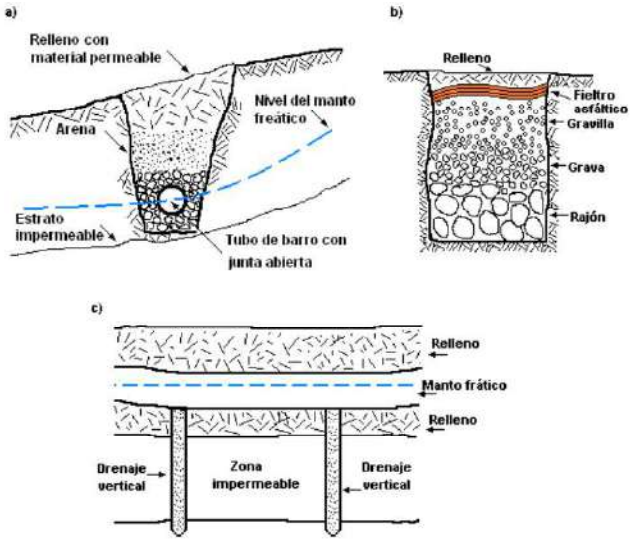
- Taludes con sus respectivas cotas clave y batea en cada sección.

Imagen 7 Talud de Vallados



- Descripción del drenaje sostenible a utilizar

Imagen 8 Ejemplos de drenajes



- Cuando los caudales entreguen el agua a cuerpos naturales de agua, debe tenerse en cuenta la cota con la que debe llegar el canal para hacer un empalme hidráulico apropiado.
- Para hacer una intervención en un cuerpo de agua natural se debe solicitar el correspondiente tramite de ocupación de cauce ante la autoridad ambiental CAR.
- Para la intervención de ingreso que cuente con dos carriles y anden, el Box Culvert no debe exceder una distancia de 7,5 metros lineales.
- Para la intervención de ingreso que cuente con un carril y anden, el Box Culvert no debe exceder una distancia de 4,5 metros lineales.
- Con respecto a lo planteado en la evaluación de alternativas para el adecuado manejo de los vallados priorizados se plantea en la alternativa uno (1) que para una sección transversal requerida para un conducto cerrado una relación de flujo/diámetro, no superior a 0,90, es de 24", para un caudal de 650 l/s.

Condicionamientos

Shape con los siguientes atributos:

1. Identificador Único
2. Coordenadas en Sistema Único Nacional CTM-12
3. Cota Clave en cada sección
4. Cota Batea en cada sección
5. Pendientes
6. Talud por sección
7. Vereda
8. Sector
9. Nombre de Vallado si aplica

Pendiente mínima de 0,06

Taludes de acuerdo con la Imagen 7

Especificaciones técnicas del drenaje sostenible a implementar

En caso de Box Culvert no debe exceder 7,5 metros lineales para dos carriles y anden

En caso de Box Culvert no debe exceder 4,5 metros lineales para un carril y anden

Bibliografía

Ministerio de Transporte, & Instituto Nacional de Vías. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras.

Ministerio de Vivienda, C. y T. (2016). Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, Universidad de los Andes, & Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados, Eds.; 2da.). 2012.

Anexo 1

Documentación Soporte para Canalización de Vallados

Documentación Soporte para Canalización de Valladlos		Proyectos urbanísticos mayores a cuatro unidades de vivienda	Proyectos urbanísticos unifamiliares
Datos Primarios			
1.1	Cartografía IGAC (Escala 1:2.000)	**X**	**X**
1.2	Identificación y recopilación de la información de las estaciones climatológicas e hidrométricas.	**X**	
1.3	Información geográfica (Shape)	**X**	
1.4	Base predial (límites municipales, de veredas y prediales)	**X**	**X**
1.5	Red hidrológica (Vallado)	**X**	**X**
1.6	Certificado de disponibilidad de servicios (acueducto, alcantarillado sanitario y pluvial)	**X**	
1.7	Planos de levantamiento batimétrico con los respectivos cortes (planta, longitudinal) escala 1:2.000	**X**	
Clasificación de la cuenca			
2. Morfología			
2.1	Área de cuenca (m2)	**X**	
2.2	Perímetro (m)	**X**	
2.3	Longitud de la cuenca (m)	**X**	
2.4	Ancho de la cuenca (m)	**X**	
2.5	Factor de forma (Horton Kf)	**X**	
2.6	Coeficiente de compacidad (Kc)	**X**	
3. Características		**X**	
3.1	Cota nacimiento (m.s.n.m.)	**X**	**X**
3.2	Cota confluencia (m.s.n.m.)	**X**	**X**
3.3	Pendiente media del cauce (vallado) (%)	**X**	**X**
4. Tiempo de concentración			
4.1	Se debe utilizar la más conveniente de acuerdo con la morfología y zonas urbanizadas.	**X**	
Análisis Climatológico			
5	Precipitación Media anual	**X**	
6	Precipitación Total mensual	**X**	
7	Precipitación Máxima 24 horas	**X**	
8	Evaporación	**X**	
9	Temperatura	**X**	
10	Humedad relativa	**X**	
11	Radiación solar	**X**	
12	Brillo Solar	**X**	
Caudales Cuenca			
13	Método racional caudal (L/s)	**X**	
14	Calculo curva IDF (mm/h)	**X**	
15	Coeficiente de escorrentía	**X**	
16	Caudales establecidos para modelación (m3/s)	**X**	
Batimetría			

17	Área Mojada (m2)	**X**	
18	Perfil canal completo longitud (m)	**X**	
19	Tramo a Canalizar (m)	**X**	**X**
Modelamiento espacial			
20	Modelamiento Hidrológico	**X**	
21	Base de datos del modelamiento	**X**	
Otros			
22	Diámetro de tubería (pulgadas)		**X**
23	Tipo de manejo sostenible	**X**	
24	Taludes	**X**	**X**
24	Concepto técnico	**X**	

Son lineamientos técnicos que establecen el aporte de agua que se generan en las áreas desarrolladas y no desarrolladas. Esto con el fin de establecer los caudales para el diseño de estructuras de ingreso que superen los 7,5 metros lineales sobre un vallado del Municipio.

Presentando los correspondientes documentos de soporte para la canalización de vallados a la Secretaría de Medio Ambiente del Municipio.

Aporta al mejoramiento de la capacidad hidráulica del vallado, evitando inundaciones en los sectores con menos pendiente. Asimismo, el vallado drena las aguas lluvias a cuerpos de agua natural.

Mejorará el estado de los vallados que cumplen su función de discurrir aguas lluvias a falta de existencia de alcantarillados de agua lluvia.

ALCALDÍA MUNICIPAL
DE CHÍA

CONSORCIO CANALES CHÍA 2021

CONTRATO No 724 DE 2021

"CONSULTORÍA PARA FORMULAR EL PLAN MAESTRO DE VALLADOS EN LOS SECTORES PRIORIZADOS DEL MUNICIPIO DE CHÍA"

BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2021

ALCALDÍA MUNICIPAL
DE CHÍA

CONSORCIO CANALES CHÍA 2021

CONTRATO No 724 DE 2021

PRODUCTO 1. DIAGNÓSTICO DE LA ZONAS PRIORIZADAS DE VALLADOS DEL MUNICIPIO DE CHÍA

BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2021

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Las copias de este documento han sido entregadas a las siguientes dependencias:

DEPENDENCIA	COPIAS
Ingeniera Martha Medina Nieto **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Ingeniero Renny Balanta Murcia **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Gustavo Sierra **Supervisor**	1

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas y entregadas a **RENNY BALANTA MURCIA**, para proceder a realizar las modificaciones.

TRAZABILIDAD DEL DOCUMENTO

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
		
Renny Balanta Murcia	**Martha Medina Nieto**	**Gustavo Sierra**
Director Consultoría	Representante Legal Consorcio Canales Chía 2021	Supervisor

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 10
2 JUSTIFICACIÓN 13
3 ALCANCE 13
4 METODOLOGÍA 14
4.1 Levantamiento topobatimétrico 14
4.2 Análisis hidrológico e hidráulico de vallados 15
4.3 Identificación de vertimientos a partir de la información levantada en la topografía 15
5 MARCO LEGAL 16
6 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICOS, ALTIMÉTRICOS Y BATIMÉTRICOS DE los VALLADOS priorizados 18
6.1 TRABAJO DE CAMPO 20
6.1.1 RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO 20
6.1.2 GEORREFERENCIACIÓN 20
6.1.2.1 VÉRTICES DE REFERENCIA 20
6.1.2.2 BASES PERMANENTES 20
6.1.2.3 OPERACIONES DE CAMPO 21
6.1.3 LEVANTAMIENTO 22
6.1.4 EQUIPOS UTILIZADOS 23
6.2 GEORREFERENCIACIÓN 24
6.2.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 30
6.3 PLANOS 30
7 ANALISIS HIDROLÓGICOS 33
7.1 FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 33
7.2 ESTACIONES EN ÁREA DE INFLUENCIA 34
7.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN 36
7.3.1 RÉGIMEN DE LLUVIAS 36
7.4 VALORES MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN 36
7.5 Número de Días con Lluvia 37
7.6 CONSTRUCCIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO 38
7.6.1 Curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF) 38
7.6.2 Hietograma – Tormenta de diseño 40

7.7 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA 41
7.7.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE DRENAJE 41
7.8 PARÁMETROS DE CALCULO DE ESCORRENTÍA 45
7.9 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA 52
7.9.1 MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS) PARA EL CÁLCULO DE LAS ABSTRACCIONES Y LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA. 52
7.9.2 TRANSFORMACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA – HIDROGRAMA UNITARIO DEL SCS. 53
7.9.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO TOPOLÓGICO 54
7.9.4 SIMULACIÓN DE HIDROGRAMAS 55
8 ANÁLISIS HIDRÁULICOS 58
8.1 GENERALIDADES 58
8.2 MARCO TEÓRICO 58
8.2.1 CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL 58
8.2.2 COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL 59
8.2.3 EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE ENERGÍA CINÉTICA 60
8.2.4 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN 60
8.2.5 EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES 62
8.2.6 LIMITACIONES DEL PROGRAMA 62
8.3 INFORMACIÓN DE ENTRADA 62
8.3.1 CAUDALES DE MODELACIÓN – CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ARRIBA 62
8.3.2 CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ABAJO 63
8.3.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING 64
8.4 CONSIDERACIONES GENERALES 66
8.5 RESULTADOS PARA LOS CANALES 68
8.5.1 SECTOR CAMINO DE SANTA BÁRBARA 68
8.5.2 SECTOR LA CAROLINA 74
8.5.3 SECTOR CAMINO EL RODADERO 80
8.5.4 SECTOR LA CARLINA 83
8.5.5 SECTOR ALEJANDRÍA – EL VOLADOR 86
9 INVENTARIO DE VERTIMIENTOS 91
10 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA RED DE VALLADOS DEL MUNICIPIO. 94

11 CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA 96

LISTA DE FIGURAS

Figura 6-1 Zona de estudio 19
Figura 6-2 Ubicación vértice materializado 20
Figura 6-3 Ubicación estaciones de registro continuo 21
Figura 6-4 Aplicativo Colombia en Mapas estaciones de registro continuo 25
Figura 6-5 Esquema de determinación 26
Figura 6-6 Calculo de velocidades 27
Figura 6-7 Traslado de época Coordenadas Elipsoidales 28
Figura 6-8 Cambio de Coordenadas Elipsoidales 2018.0 a Gauss Kruger Origen Central 2018.0 29
Figura 6-9 Modelo digital de terreno 30
Figura 6-10 Plano en planta – perfil 31
Figura 6-11 Plano secciones transversales 32
Figura 6-12 Ortomosaico Vallado Camino Santa Barbara 32
Figura 7-1 Localización de estaciones preliminarmente seleccionadas 35
Figura 7-2 Comportamiento medio multianual de la precipitación Guanatá 36
Figura 7-3 Valores máximos anuales de precipitación Guanatá 37
Figura 7-4 Promedio días de lluvia mensual multianual Guanatá 38
Figura 7-5 Curva IDF Estación Guanatá 39
Figura 7-6 Hietogramas para 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 Años de Periodo de Retorno 40
Figura 7-7 Canales de interés 42
Figura 7-8 Cuencas aferentes a Canales de interés 43
Figura 7-9 Cobertura de suelos en las cuencas aferentes a los vallados 49
Figura 7-10 Esquema del Hidrograma unitario del SCS 54
Figura 7-11 Modelo Topológico HEC-HMS 55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Vallados priorizados 10
Tabla 1-2. Sectores analizados 12
Tabla 5-1 Marco Normativo Sectorial 16
Tabla 5-2 Marco política nacional sectorial 16
Tabla 6-1 Informacion del Posicionamiento 21
Tabla 6-2 Lista de Codigos utilizados 23

Tabla 6-3 Especificación y Relación de Equipos Utilizados..... 24
Tabla 6-4 Coordenadas geocéntricas estaciones de registro continuo semana 2183 26
Tabla 6-5 Precisiones obtenidas..... 27
Tabla 6-6 Velocidades para vértices posicionados 27
Tabla 6-7 Coordenadas Elipsoidales y Planas Gauss Kruger Época 2018 de los vértices materializados..... 29
Tabla 7-1 Selección preliminar de estaciones en área de influencia 34
Tabla 7-2 Resumen de datos estación seleccionada datos de precipitación..... 35
Tabla 7-3 Número de días con lluvia Guanatá 37
Tabla 7-4 Coeficiente para construcción de IDF 39
Tabla 7-5 Valores curva IDF Estación Guanatá 39
Tabla 7-6 Valores Hietograma para diferentes periodos de retorno 41
Tabla 7-7. Caracterización morfométrica 44
Tabla 7-8. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S 46
Tabla 7-9. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S 47
Tabla 7-10. CN para las coberturas encontradas en las cuencas de los vallados..... 50
Tabla 7-11. Parámetros de cálculo de escorrentia 50
Tabla 7-12. Caudales pico estimados para cada cuenca para diferentes peridos. 56
Tabla 8-1. Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow y Cowan..... 61
Tabla 8-2. Condición de frontera aguas abajo 63
Tabla 8-3. Coeficiente de Rugosidad de Manning..... 65
Tabla 9-1. Inventario de vertimientos. 91

I INTRODUCCIÓN

En el marco del Contrato 724 de 2021, que tiene por objeto "La consultoría para formular el plan maestro de vallados en los sectores priorizados del municipio de Chía", este documento se constituye como el Producto 1, denominado "**Diagnóstico de las zonas priorizadas de vallados del municipio de Chía**". Teniendo en cuenta los lineamientos dados para los vallados, en el Acuerdo 017 de 2000, se realizó una revisión de los sectores priorizados, encontrando que se tienen los siguientes vallados, previamente concertados con el municipio, con sus respectivas longitudes, y que suma un total de 34 km de vallados analizados.

Tabla 1-1. Vallados priorizados

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	Vallado Pinares	Polideportivo La Libertad, Parte posterior parroquia Nuestra señora de Guadalupe, Camino Santa Bárbara Urb. Pinares Campestre	0.83
			Vallado Santa Bárbara Sur	Camino Santa Bárbara	1.22
			Vallado Santa Bárbara Norte	Camino Santa Bárbara	0.85
2	La Carolina	Fonquetá	Vallado Camino La Carolina	Vía Camino al Condominio La Carolina	0.14
			Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	Vía Camino al Condominio La Carolina	1.31
			Vallado Santa Bárbara	Vía barrio santa Bárbara, hacienda la Casa de Igaruma	0.52
			Vallado La Lucerna Oriental	Camino La Lucerna	0.34
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	Vallado Camino El Rodadero	Vía Resguardo Indígena, Vía Fonquetá	0.80
			Vallado Camino De Piedra En Cerca	Vía Resguardo Indígena, Vía Fonquetá	1.38
4	Camino La Carlina	Fonquetá	Vallado Camino La Carlina	Camino Vía La Carlina	1.15
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	Vallado Camino Al Volador	Vía La Valvanera, CIC	1.03
			Vallado La Lucerna Occidental	Vía Fonquetá	0.13
			Vallado Camino Alejandría Sur	Vía La Valvanera Camino Alejandría	0.91
			Vallado Camino Alejandría Norte	Vía La Valvanera Camino Alejandría	0.86
			Canaleta Placa Huella Sur	Vía La Valvanera	0.34
			Canaleta Placa Huella Norte	Vía La Valvanera	0.36

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
			Vallado Sidonia	Vía Fonquetá	0.36
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	Vallado Camino De Las 6 Eses	Calle de las 3 S	0.44
			Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	Calle de las 3 S	0.33
			Vallado Vía Al Chorro	Vía Fonquetá chucua de Tíquiza	0.30
			Vallado Camino Al Cerro	Calle 19 vía a Fagua	0.36
			Vallado El Potrerito	Colegio Aspaen	0.84
			Vallado Finca La Esperanza	Finca la esperanza Calle de las 3 S	0.09
			Vallado Sidonia El Chorro	Vía Fonquetá hacia el río Frío	0.29
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	Vallado La Leonor Sur	Anillo vía Fagua	0.415
			Vallado Camino De Cerro - Occidental	Calle 19 y Vía La Fagua-Cajicá	2.73
			Vallado Camino De Cerro - Oriental	Calle 19 y Vía La Fagua-Cajicá	0.69
			Vallado Camino Del Retiro - Sur	Vía Charrascal Camino del Retiro	1.56
			Vallado Camino Del Retiro - Norte	Vía Charrascal Camino del Retiro	1.60
			Vallado La Leonor Norte	Tramo Norte: Anillo Vial Fagua Tramo Occidente: Vía Tíquiza - Fagua	0.72
			Chucua de Tíquiza	Chucua de Tíquiza, Costado norte Agro Industrias Río Frío.	0.88
8	Guanatá	Fagua	Vallado Camino Guanatá Sur	Vía Guanatá	1.13
			Vallado Camino Guanatá Norte	Vía Guanatá	1.11
9	Chamizo - Tambo	Fagua	Vallado Chamizo	Sector MG	0.58
			Vallado MG Tambo	Vía Puente Peralta	1.42
10	Carrera 11 costa Rica	Bojacá	Vallado Camino Costa Rica	Vía Rancho Kan	1.02
			Vallado Camino El Pozo Norte	Calle 35	0.31
11	Camino Ical	Bojacá	Vallado Camino Ical Norte	Vía Colegio Campestre Ical	0.86
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	Vallado Camino De Guanatá	Vía Guanatá	0.28
			Vallado Carrera 11 Oriental	Carrera 11	1.24
			Vallado Carrera 11 Occidental	Carrera 11 sector norte	0.15

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
			Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	Carrera 11	0.47
			Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	Carrera 11	0.32
			Vallado Camino De Colon	Gimnasio Campestre Meryland	0.16
			Vallado Camino Guanatá 2	Camino Guanatá margen izquierda Río Frío	0.31
Total					33.14

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

De lo anterior, los sectores que se analizan en esta Consultoría, son los siguientes:

Tabla 1-2. Sectores analizados

ID. sector	Sector	Vereda	Longitud de vallados analizados (Km)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	2.90
2	La Carolina	Fonquetá	2.31
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	2.18
4	Camino La Carlina	Fonquetá	1.15
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	3.99
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	2.65
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	8.60
8	Guanatá	Fagua	2.24
9	Chamizo - Tambo	Fagua	2.00
10	Carrera 11 costa Rica	Bojacá	1.33
11	Camino Ical	Bojacá	0.86
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	2.93
Total			**33.14**

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

Este producto contiene la caracterización geoespacial, hidrológica, hidráulica, identificación de vertimientos y problemáticas ambientales evidenciadas en los vallados, y tiene como alcance conocer el estado actual de los vallados.

El producto contiene los siguientes Capítulos: Introducción, Justificación, Alcance, Metodología, Marco legal, Levantamientos topográficos, altimétricos y batimétricos, Análisis hidrológico e hidráulico de vallados, Inventario de vertimientos a lo largo de mínimo dieciocho 18 kilómetros de vallados, Identificación y valoración de impactos ambientales de la red de vallados del municipio, y Conclusiones del diagnóstico realizado y propuesta de mejora del sistema.

2 JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista hidráulico, en la zona rural del municipio, al no tener un sistema de drenaje de aguas lluvias o sistema de alcantarillado pluvial, los vallados cumplen su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial en estas áreas, además de ser parte del sistema de protección hídrico, y son elementos conectores entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, conducen los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región. Por definición, los vallados son canales artificiales que generalmente se encuentran paralelos a las vías y hacen parte del Sistema Hídrico del Municipio.

De acuerdo con las condiciones evidenciadas en campo, el estado de los vallados en el municipio no es el adecuado, se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos. Por tanto, identifica como una necesidad para su adecuada gestión el adelantar un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados.

Esto, de la mano con lo establecido en el Acuerdo No. 168 de 2020, por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo Municipal 2020 – 2023, en su meta 201 Formular el plan Maestro de Vallados durante el periodo de gobierno.

3 ALCANCE

El Acuerdo 017 de 2000, por el cual se adopta el POT -Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Chía (Cundinamarca), como parte del Capítulo 3, Asignación de Usos y Tratamientos en el suelo Rural, como parte de las características ambientales, sanitarias y paisajísticas de la Zona Agropecuaria (ZAP), define que los vallados son parte constitutiva del drenaje natural, razón por la cual se deberán mantener en buen estado, y no podrán taponarse ni rellenarse. El municipio le da gran importancia a aquellos ubicados en las vías rurales, dejando claro que sobre los mismos no se podrá establecer ninguna infraestructura tipo edificación, ni postes de energía; además, los pasos sobre ellos (puentes) deberán garantizar el libre tránsito de las aguas.

Así mismo, para la Zona rural de Granja (ZRG), se establece que cada propietario deberá preservar y mantener los vallados existentes o restituirlo en caso que hayan sido rellenados como lo indica el Decreto Municipal 104 de 2004 "*Por medio del cual se ordena la limpieza y recuperación de los Vallados*", así mismo el municipio deberá restituir aquellos vallados que el haya rellenado. Este POT para la ZRG establece como parte del espacio público los vallados paralelos a las vías por tanto sobre los mismos no se podrá instalar cerca o postes y define que para el acceso a los predios se podrán instalar puentes que garantice que discurra libremente el caudal que transita por el vallado.

Los vallados además de cumplir su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial del municipio, son parte del sistema de protección hídrico, y cumplen una función como elemento conector entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, la de conducir los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, que para la zona occidental del municipio de Chía corresponde al cuerpo hídrico Río Frío, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región.

Actualmente el área rural del Municipio de Chía cuenta con una serie de canales o vallados que recogen las aguas lluvias y las conduce hacia sistemas de canales. Sin embargo, en algunas oportunidades debido a las lluvias, las condiciones de depositación de material sólido y de

transporte de estos, condiciones de mantenimiento, entre otras, se presentan desbordamientos que generan inundaciones localizadas en los sectores aledaños.

Esta situación se presenta debido a las condiciones actuales del canal no revestido en las que se evidencia sedimentación, proliferación de especies vegetales acuáticas, generados por falta de mantenimiento, lo cual reduce considerablemente la capacidad hidráulica del canal y aumenta el riesgo de desbordamiento al no poder evacuar rápidamente los caudales en precipitaciones fuertes.

Adicionalmente, el estado de los vallados en el municipio no es el adecuado, dado que se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos.

Por tal motivo, se hace necesario diagnosticar el sistema de recolección de aguas lluvias para aquellas zonas donde los canales son parte integral del sistema de drenaje, para que, en una etapa posterior, proponer alternativas a implementar. Esta consultoría tiene por alcance definir las condiciones particulares de operación cada uno de los vallados analizados, por medio de un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados, y las posibles alternativas para correcta gestión.

4 METODOLOGÍA

Para adelantar el Diagnóstico se adelantaron las siguientes actividades: Levantamiento topo-batimétrico de los vallados, análisis hidrológicos para la estimación de los caudales de diseño, modelación hidráulica para estimación de la capacidad hidráulica actual, identificación de vertimientos a partir de la información levantada en la topografía, evaluación de impactos generados por la red de vallados analizados.

4.1 LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO

Se inició los trabajos con el levantamiento topobatimétrico de los vallados analizados, el cual, según la definición dada por el IDEAM, refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua.

Los levantamientos batimétricos junto con el análisis hidrológico es uno de los insumos indispensable para aplicar cualquier software de modelación hidráulica lo cual permite evaluar el tránsito de crecientes con fines de pronóstico hidrológico.

Esta actividad tiene dos pasos fundamentales. La primera el trabajo de campo, que consiste en establecer la ubicación de los vértices GPS y materializarlos, posicionar con equipos GPS Trimble 4700 utilizando como base para el amarre al Sistema Magna-Sirgas del IGAC las estaciones de registro continuo BOGA localizada en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y ABCC ubicada en el sector de Hayuelos y ABPW localizada en el Municipio de La Calera.

En segundo lugar, posicionar los vértices con la información del posicionamiento tal como, hora de inicio, hora final, altura instrumental, numero de satélites y longitud del vector, junto con la materialización de un vértice denominado GPS1 ubicado en la Unidad Deportiva Bojacá Matrogimnasia en un sitio libre de obstáculos. Finalmente, se llevó a cabo el levantamiento de detalles a través de la metodología RTK que consiste en instalar un GPS en uno de los vértices georreferenciados el cual se denomina Base y otro GPS se va desplazando por la zona tomando en forma de sección transversal puntos de nivel, lámina de agua, nivel de fondo y demás detalles para determinar las características visibles y de importancia para el desarrollo de este proyecto.

4.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE VALLADOS

Para el análisis hidrológico se definieron las áreas aferentes de cada vallado, se estimó la lluvia de diseño a partir de la caracterización de la Estación Guanatá, y aplicando la metodología del Soil Conservation Service se estimaron los caudales de diseño, lo que se explica en detalle en capítulo respectivo. Vale la pena indicar que las áreas de drenaje son estimadas a partir de la información cartográfica, determinando las áreas a cada uno de los vallados, y teniendo en cuenta las áreas de aporte que provienen del cerro occidental.

En términos generales, es necesario dar cumplimiento a lo definido en el artículo 137 de la Resolución 0330 de 2017 *"(...) Diseño y modelación hidráulica de redes de alcantarillado. Se debe realizar el diseño de la red de alcantarillado mediante el empleo de la formulación matemática que defina los diámetros, las pendientes y los parámetros mínimos hidráulicos de los conductos del sistema, el cual deberá ser verificado mediante el empleo de una modelación hidráulica de las redes de alcantarillado, mediante el uso de un programa que permita simular entre otros el sistema existente, el cual debe estar basados en ecuaciones de resistencia fluida, que permita obtener resultados de tal forma que el modelo matemático represente en gran medida el modelo físico o prototipo de la red de alcantarillado. El programa de análisis hidráulico debe tener la capacidad de simular condiciones de flujo uniforme, así como condiciones de flujo no permanente mediante la solución de las ecuaciones de Saint - Venant, con sus correspondientes condiciones de frontera. (...)"*

De acuerdo con lo anterior, para la modelación hidráulica se implementó el modelo HEC RAS. HEC-RAS, es un modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), que surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre proceso y post proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

El HEC-RAS es un modelo hidráulico de cálculo unidimensional (1D) en régimen permanente y no permanente en cauces naturales (ríos, estuarios, etc.) y canales artificiales (riego, derivación, etc.), que permite establecer el comportamiento del flujo a través de los mismos y el efecto de las estructuras como compuertas, alcantarillas, puentes, etc.

El programa permite hacer estimaciones del perfil de un flujo para condiciones subcríticas, supercríticas y de flujo mixto, haciendo visible las discontinuidades que puede llegar a sufrir el perfil cuando la energía del flujo es modificada abruptamente (resaltos hidráulicos y remansos), permitiendo simultáneamente la simulación del flujo a través de estructuras en línea o laterales al flujo con sus correspondientes métodos de cálculo independientes.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE VERTIMIENTOS A PARTIR DE LA INFORMACIÓN LEVANTADA EN LA TOPOGRAFÍA

Con la topografía se identificaron a lo largo de los vallados diferentes tuberías de descarga, de las cuales se identificaron su diámetro y se georreferenciaron, construyendo la base de datos de estos.

5 MARCO LEGAL

Para la elaboración del presente diagnóstico, se adelantó una revisión sistemática de los diferentes instrumentos de planeación, ejecución, control y evaluación a nivel nacional, regional y local.

Tabla 5-1 Marco Normativo Sectorial

Instrumento	Descripción
Constitución política de Colombia 1991	Consagra los derechos colectivos y del ambiente, determina las bases para la prestación de servicios públicos domiciliarios, así como también establece ámbitos de control y regulación.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, distribución de gas combustible, entre otros.
Ley 388 de 1997	Establece el ordenamiento territorial como un instrumento que permite gestionar los riesgos naturales como lo son inundaciones o deslizamientos generados por un inadecuado manejo de las aguas lluvias.
Decreto 302 de 2000	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
Resolución CRA 152 de 2002	Determina la regulación integral del sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución CRA 287 de 2004	Establece la metodología para el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.
Resolución 330 de 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y derogan las resoluciones 1096 de 2000, 024 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005, y 2320 de 2009
Resolución CRA 688 de 2017	Establece metodología tarifaria para los prestadores de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en área urbana.

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

Tabla 5-2 Marco política nacional sectorial

Instrumento	Descripción
Decreto 1449 de 1977	Presenta disposiciones para la protección de cuerpos de agua naturales o artificiales que existan en predios de privados.
Decreto 302 de 2000	Reglamenta las relaciones adquiridas entre los prestadores de servicios públicos domiciliarios y sus usuarios, en el marco de la Ley 142 de 1994.
Acuerdo 017 de 2000	Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Chía (Cundinamarca), Capitulo 3, Asignación de Usos y Tratamientos en el suelo Rural.
Ley 715 de 2001	Determina los recursos a destinar para el sector de acueducto y alcantarillado frente a los recursos que recibe un municipio por medio de las Participantes Generales de la Nación. Constituyendo así parte del financiamiento municipal para la prestación de estos servicios públicos.
Decreto 958 de 2001	Origina la Comisión Intersectorial de Servicios Públicos Domiciliarios como un ente orientador y coordinador a nivel nacional.

Instrumento	Descripción
Ley 732 de 2002	Fomenta la urgencia de desarrollar la estratificación socioeconómica para definir tarifas de servicios públicos domiciliarios y régimen de subsidios.
Decreto 421 de 2002	Establece la posibilidad de que las comunidades constituidas como personas jurídicas sin ánimo de lucro prestar servicios en municipios menores (categoría 5ª y 6ª), zonas rurales, y zonas urbanas en específico.
Decreto 398 de 2002	Define las condiciones para que un municipio preste los servicios de acueducto y alcantarillado. De igual forma, establece el procedimiento para realizar la evaluación y adjudicación a empresas prestadoras de servicios públicos.
CONPES 3246 de 2003	Lineamientos de la política para el Sector de Acueducto y Alcantarillado.
CONPES 3320 de 2004	Establece la estrategia para el manejo ambiental e integral del Río Bogotá, con participación de la ciudad de Bogotá y los municipios de la región.
Decreto Municipal 104 de 2004	*"Por medio del cual se ordena la limpieza y recuperación de los Vallados"*
Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022	Estrategia nacional de restauración de ecosistemas que incluya el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación. Estudios de amenazas ante fenómenos naturales para el ordenamiento territorial municipal desde las entidades técnico-científicas del país. Iniciativas de adaptación al cambio climático que reduzcan los efectos de las sequías y las inundaciones en los sectores y los territorios.

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

6 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICOS, ALTIMÉTRICOS Y BATIMÉTRICOS DE LOS VALLADOS PRIORIZADOS

Se presenta en este capítulo una descripción del trabajo de campo y de oficina necesario para la elaboración del levantamiento topográfico en el marco del proyecto "CONSULTORIA PARA FORMULAR EL PLAN MAESTRO DE VALLADOS EN LOS SECTORES PRIORIZADOS DEL MUNICIPIO DE CHIA".

En este trabajo se identificó todo tipo de estructura física como: puntos de nivel, borde de vía, lámina de agua, alcantarillas, tuberías identificando diámetros y materiales, estructuras de paso de los vallados y detalles en general que son de interés para este proyecto.

En este informe se presenta los resultados obtenidos en las siguientes etapas.

- Trabajo de campo
- Equipos utilizados
- Trabajo de oficina

La zona de estudio se encuentra ubicada en Municipio de Chía, Cundinamarca como se observa en la Figura 6-1.



Figura 6-1 Zona de estudio

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

6.1 TRABAJO DE CAMPO

6.1.1 RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Una vez definida la zona de estudio se procedió a realizar la visita de reconocimiento con el objetivo de establecer la ubicación de los vértices GPS a emplear, evaluar las características de la zona y definir la metodología de levantamiento.

6.1.2 GEORREFERENCIACIÓN

6.1.2.1 VÉRTICES DE REFERENCIA

Para la georreferenciación del proyecto se realizó la materialización de un vértice denominado GPS1 ubicado en la Unidad Deportiva Bojacá Matrogimnasia. La ubicación de este vértice se llevó a cabo teniendo en cuenta que se ubicara en un sitio libre de obstáculos como se presenta en la Figura 6-2 Ubicación vértice materializado.



Figura 6-2 Ubicación vértice materializado

Fuente: Google Earth 2021

6.1.2.2 BASES PERMANENTES

Se posicionó con equipos Hi Target V30 Plus (Ver ANE_TOP1), utilizando como base para el amarre al Sistema Magna-Sirgas del IGAC las estaciones de registro continuo BOGA localizada en

el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, ABCC ubicada en el sector de Hayuelos y ABPW localizada en el Municipio de La Calera, Cundinamarca como se observa en la Figura 6-3.

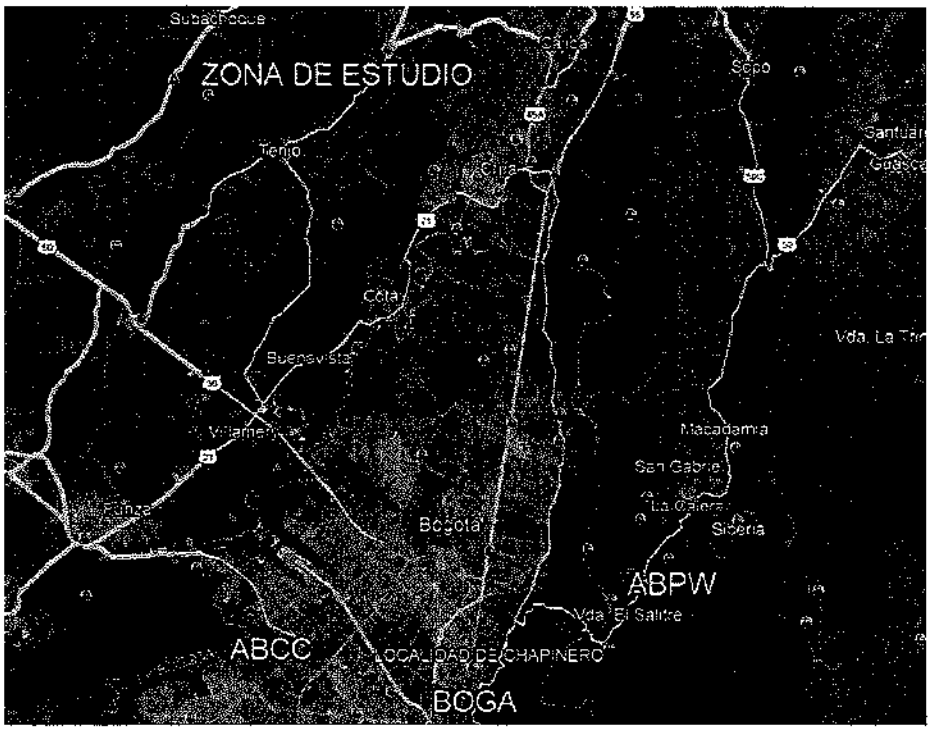


Figura 6-3 Ubicación estaciones de registro continuo

Fuente: Google Earth 2021

6.1.2.3 OPERACIONES DE CAMPO

El día 6 de diciembre de 2021 se realizó el posicionamiento de un vértice, la información del posicionamiento tal como, hora de inicio, hora final, altura instrumental, numero de satélites y longitud del vector se presenta en la Tabla 6-1. La tarjeta profesional del topógrafo a cargo de estas labores se presenta en el ANE_TOP2.

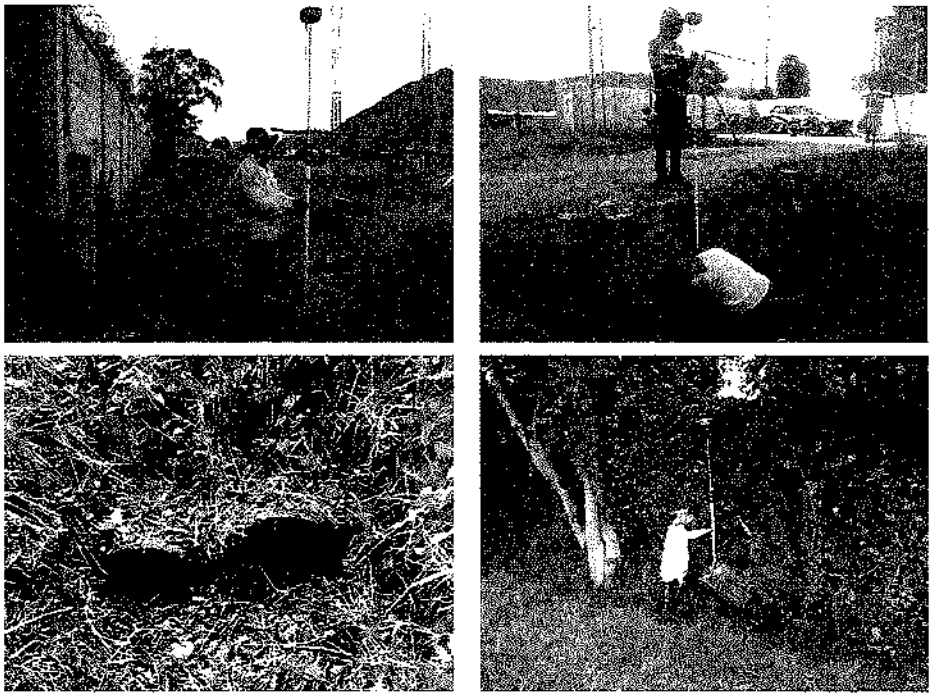
Tabla 6-1 Informacion del Posicionamiento

Base	Vértice	Alt. Inst.	Hora inicio	Hora fin	Satélites	Long vector (m)
ABCC	GPS1	2.403	09:30:22	16:52:04	4	25127.600
BOGA					4	26443.271
ABPW					4	21671.407

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

6.1.3 LEVANTAMIENTO

Se llevó a cabo el levantamiento de detalles a través de la metodología RTK que consiste en instalar un GPS en el vértice georreferenciado el cual se denomina Base y otro GPS se va desplazando por la zona tomando puntos de nivel, borde de vía existentes, alcantarillas, tuberías identificando diámetros y materiales, estructuras de paso de los vallados, lámina de agua, nivel de fondo y demás detalles para determinar las características visibles y de importancia para el desarrollo de este proyecto, como se observa en la Fotografía 6-1. En el ANE_TOP3 se presentan los crudos del levantamiento hecho por el método RTK. En la Tabla 6-2 y en el ANE_TOP4 se presenta el listado de códigos utilizados en el levantamiento.



Fotografía 6-1 Toma de detalles

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

Tabla 6-2 Lista de Codigos utilizados

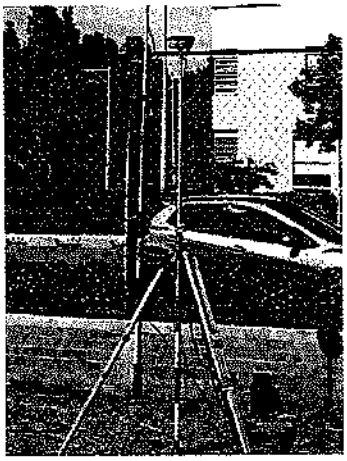
N°	Descripción	Código
1	Alcantarilla	ALCANTARILLA
2	Aleta	ALT
3	Box Culvert	BOX
4	Borde de vía	BV
5	Borde de vía adoquinada	BVADO
6	Borde de vía cuneta	BVCUN
7	Cabezal	CABEZAL
8	Caja	CAJA
9	Caja de electricidad	CAJAE
10	Cabezal	CBZ
11	Cabezal piedra	CBZPIEDRA
12	Caja	CJ
13	Clave tubería concreto	CLAVECONC
14	Clave tubería gres	CLAVEGRES
15	Clave tubería pvc	CLAVEPVC
16	Canal	CN
17	Canal concreto	CNCONC
18	Canal cerca	CNCK
19	Canal lindero	CNLIN
20	Cuneta	CUNETA
21	Hombro	H
22	Lindero	LIN
23	Lomo tubería	LOMO
24	Punto de nivel	N
25	Punto de nivel	NIVEL
26	Placa	PLACA
27	Pozo	PZ
28	Rejilla	REJILLA
29	Sifón	SIFON
30	Sumidero	SUM
31	Tapón	TAPON
32	Tubo	TB

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

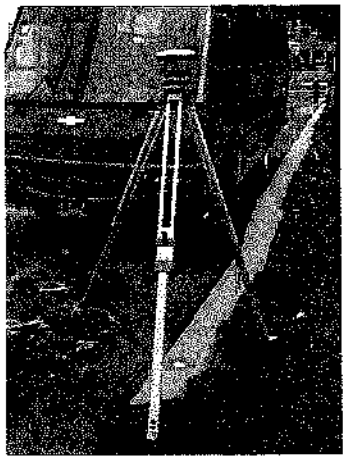
A partir del levantamiento topográfico realizado se obtuvieron los archivos crudos con un total de 12612 puntos.

6.1.4 EQUIPOS UTILIZADOS

Para llevar a cabo la georreferenciación del proyecto se utilizó equipos GPS Hi Target V30 Plus y el levantamiento topográfico se realizó con cuatro GPS Hi Target V30 Plus y V30.



GPS Hi Target V30 Plus



GPS Hi Target V30

Fotografía 6-2 Equipos Utilizados

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

En la Tabla 6-3Tabla 6-3 se presentan las especificaciones de los equipos utilizados en el desarrollo del estudio topográfico y se informa que estos equipos no requieren de calibración ya que no son equipos ópticos ni mecánicos y la precisión corresponde a ecuaciones matemáticas que se ajustan con los satélites.

Tabla 6-3 Especificación y Relación de Equipos Utilizados

EQUIPO	SERIE/MODELO	PRECISIÓN	ALCANCE
GPS HI TARGET	V30 / 10212135-10216528	Precisión horizontal 2.5mm+ 0.5ppm Precisión vertical 5mm+0.5ppm	220 canales L1 código C/A, L1/L2 portador de ciclo completo.
GPS HI TARGET	V30 PLUS / 11657942-11657994	Precisión horizontal 2.5mm+ 0.5ppm Precisión vertical 5mm+0.5ppm	440 canales GPS L1 L2 L5, BDS B1 B2 B3, Galileo E1 E5A E5B.

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

6.2 GEORREFERENCIACIÓN

El vértice fue georreferenciado a través de las estaciones de registro continuo BOGA ubicada en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, ABCC ubicada en el sector de Hayuelos y ABPW localizada en el Municipio de La Calera, Cundinamarca, a partir de las cuales se realizó el traslado de las coordenadas a los vértices materializados. Cabe resaltar que el día juliano es obtenido de la consulta realizada en el calendario GPS, para luego descargar los archivos Rinex de las estaciones de funcionamiento continúo empleadas (Ver ANE_TOP4-2), las cuales hacen parte de la red MAGNA ECO.

Los datos Rinex de las estaciones mencionadas se descargan del portal del IGAC ingresando al módulo de "Datos Abiertos Geodesia" y dirigiéndose al ítem de" Archivos Rinex" el cual direcciona

al FTP de descarga y al aplicativo Colombia en Mapas donde se visualiza si la estación esta activa o no observa en la Figura 6-4.

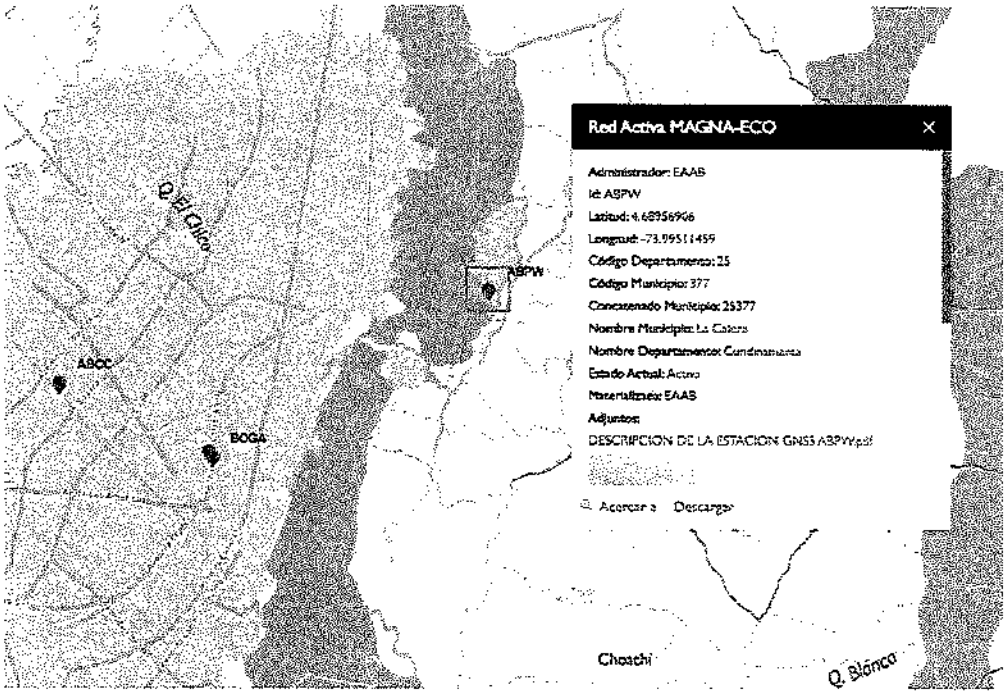


Figura 6-4 Aplicativo Colombia en Mapas estaciones de registro continuo

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

El procesamiento de las coordenadas de los GPS se realizó de acuerdo con el documento IGAC "Guía metodológica para la obtención de alturas sobre el nivel medio del mar utilizando el sistema GPS" el cual se puede encontrar en la página del IGAC, en el siguiente enlace http://www2.igac.gov.co:8080/igac_web/UserFiles/File/MAGNAWEB_final/documentos/obtencion%20de%20alturas.pdf

El post-proceso y cálculo de coordenadas fue realizado mediante el software Trimble Business Center. Con la información obtenida anteriormente se define en el software un nuevo proyecto estableciendo los parámetros de procesamiento: mascara de elevación de 15°, y las precisiones y niveles de confianza solicitados. Luego de esto se cargan los archivos Rinex tanto de los vértices materializados como del vértice IGAC y de la estación de registro continuo, se ingresa la respectiva información de campo como lo son la altura de las antenas y el nombre de los vértices geo posicionados, los datos crudos de los GPS se encuentran en el ANE_TOP5-1.

Las coordenadas semanales de las estaciones de registro continuo son descargadas del portal web de SIRGAS empleando para el cálculo las más recientes, que corresponden a la semana GPS 2183 obteniendo las coordenadas geocéntricas que se presentan en la Tabla 6-4. En el ANE_TOP4-1 se presentan los archivos correspondientes: "sir21P2183.crd".

Adicionalmente se descargan las efemérides precisas (Ver ANE_TOP4-2) correspondientes al día de rastreo y se cargan al proyecto.

Tabla 6-4 Coordenadas geocéntricas estaciones de registro continuo semana 2183

ESTACION DE REGISTRO CONTINUO	X	Y	Z
BOGA	1744617.13518	-6116050.97157	512581.16390
ABCC	1739437.97418	-6117252.41242	515065.13751
ABPW	1753507.20199	-6113239.02567	518210.64936

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

Luego de tener toda la información correctamente cargada, se realiza el procesamiento, el software determina la distancia y calcula la posición de cada vértice.

Para obtener un vector correctamente procesado, en ocasiones es necesario omitir satélites, aumentar o disminuir la máscara de elevación y omitir tiempos de rastreo para lograr un vector óptimo, en otras es necesario dejar fijo alguno de los parámetros mencionados anteriormente y procesar varias veces hasta corregir el fallo, también existen vectores en los que es necesario procesar eliminando satélite por satélite, es por esto que la combinación de los procedimientos indicados son los que permiten el procesamiento de la información GPS. Los reportes de cálculo se presentan en el ANE_TOP 6-2. En la Figura 6-5 y se presenta el esquema de determinación del vértice.

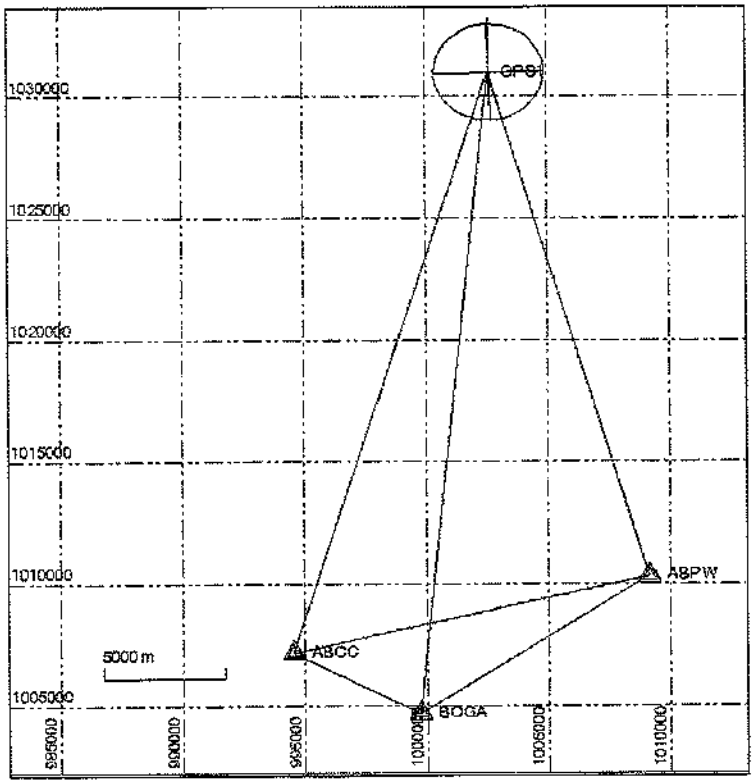


Figura 6-5 Esquema de determinación

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

En el ANE_TOP 6-2 se presenta el reporte y la precisión obtenida en las componentes X, Y, Z, del vértice se presenta en la Tabla 6-5 Precisiones obtenidas.

Tabla 6-5 Precisiones obtenidas

VERTICE	X	Y
GPS1	0.008	0.043

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

A partir de las coordenadas obtenidas en época 2021 y mediante el aplicativo Magna Pro 4.2. se calculan las velocidades de cada uno de los vértices en sus tres componentes (X, Y, Z) implementando el modelo VEMOS 2017, como se observa en la Figura 6-6.

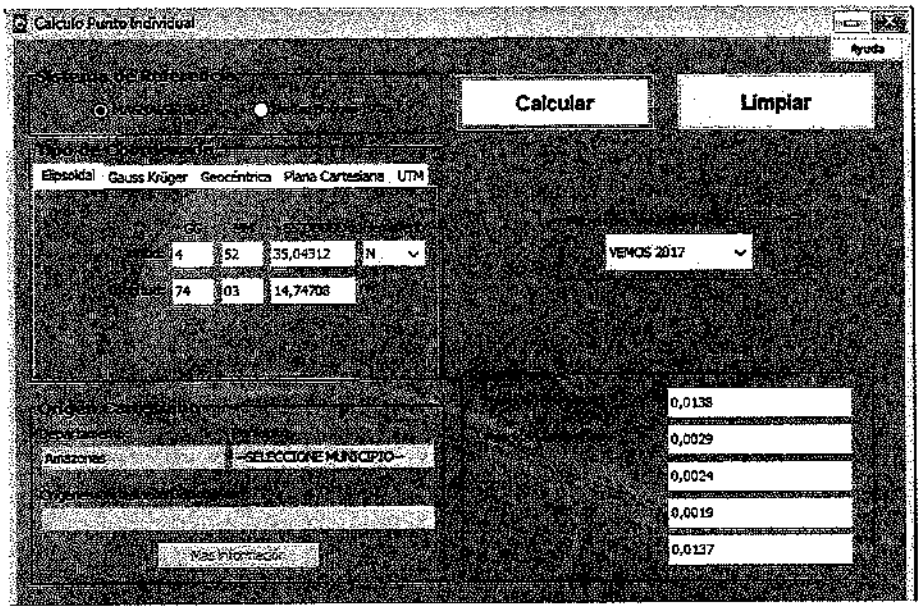


Figura 6-6 Calculo de velocidades

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

Las velocidades obtenidas para los vértices posicionados son las que se presentan en la Tabla 6-6

Tabla 6-6 Velocidades para vértices posicionados

VERTICE	Velocidades (VEMOS2017)		
	V(x)	V(y)	V(z)
GPS1	0.0024	0.0019	0.0137

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

Con las velocidades obtenidas y mediante el mismo aplicativo (Magna Pro 4.2.) se realiza el cambio de época de las coordenadas ingresando la fecha en que fue realizado el rastreo (6 de diciembre del 2021) y la época de referencia establecida por el IGAC, es decir, 01 de enero de

2018, época 2018.0. De esta manera se obtienen las coordenadas elipsoidales como se presenta en la Figura 6-7.

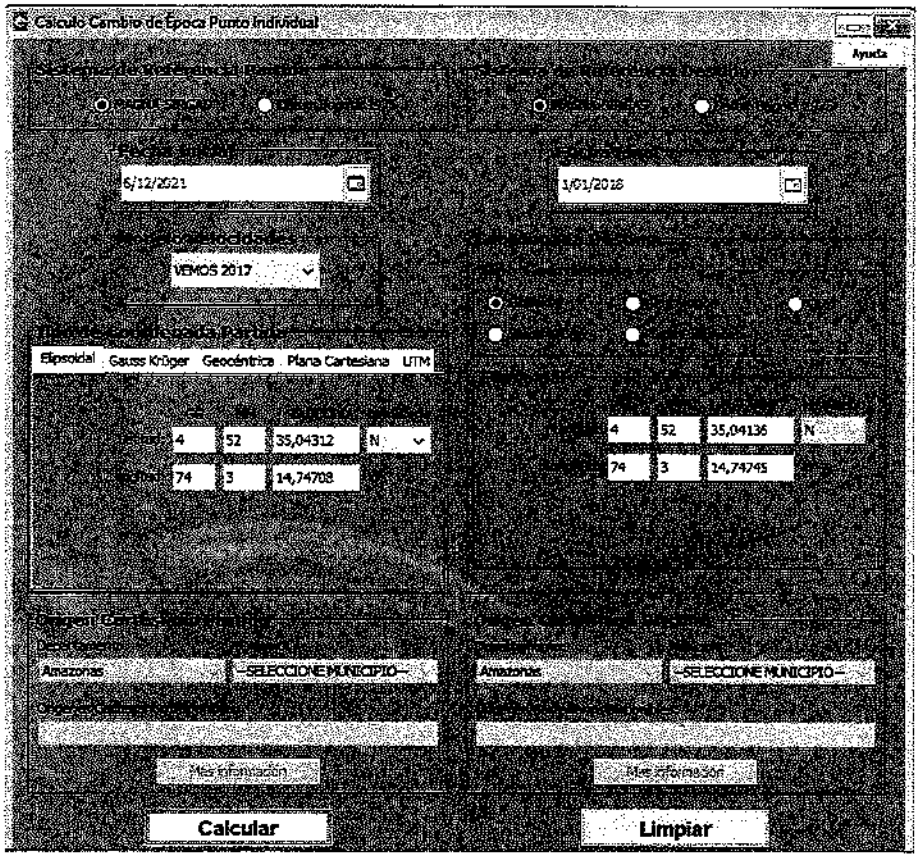


Figura 6-7 Traslado de época Coordenadas Elipsoidales

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

El origen plano cartesiano utilizado para el proyecto es el denominado Gauss Kruger Origen Central Época 2018.0 establecido por el IGAC. En la Figura 6-8 se presenta el cambio de Coordenadas elipsoidales Época 2018.0 a coordenadas Gauss Kruger Origen Central Época 2018.0 realizado con el aplicativo Magna Pro 4.2.

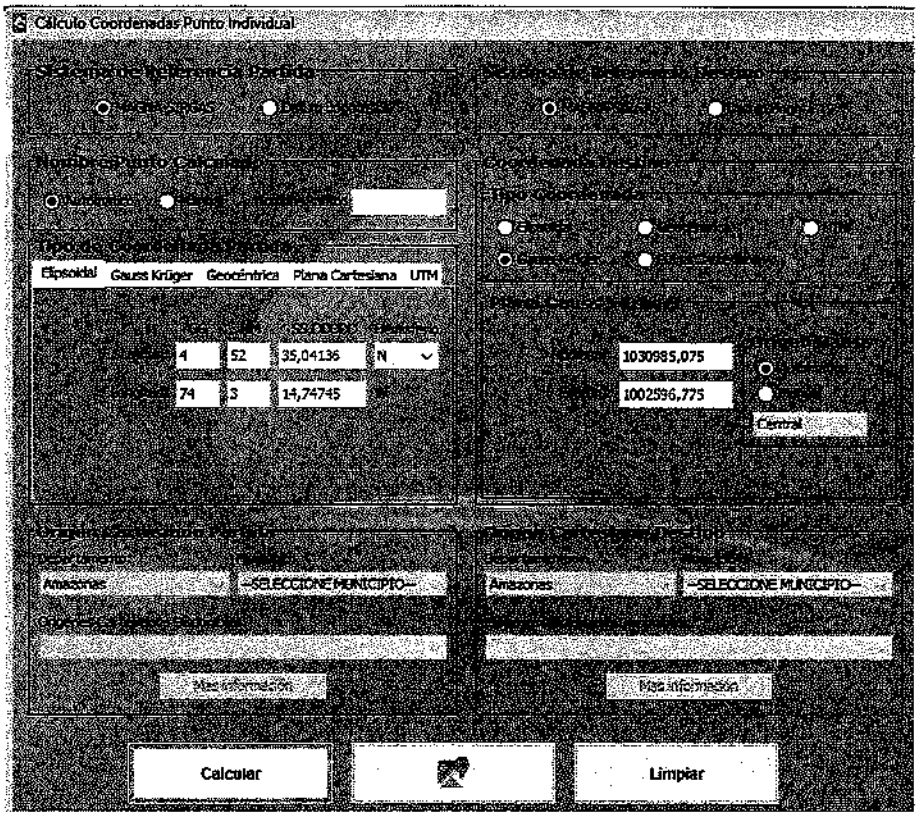


Figura 6-8 Cambio de Coordenadas Elipsoidales 2018.0 a Gauss Kruger Origen Central 2018.0

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

En la Tabla 6-7Tabla 6-7 se presentan las coordenadas Elipsoidales y Planas De Gauss Kruger Origen Central Época 2018.0 obtenidas para el vértice posicionado en la zona de estudio. En el ANE_TOP 6-3 se presenta el resumen de coordenadas del vértice posicionado.

Tabla 6-7 Coordenadas Elipsoidales y Planas Gauss Kruger Época 2018 de los vértices materializados

Vértice	Coordenadas elipsoidales época 2018.0			Coordenadas planas de gauss origen central época 2018.0		
	Latitud	Longitud	Altura elipsoidal	Norte	Este	Cota geométrica
GPS1	N4°52'35.04136"	W74°03'14.74745"	2576.172	1030985.075	1002596.775	2553.832

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

6.2.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La información tomada con la metodología RTK se descarga el cual está en un formato CSV donde se filtra la información importante que son las coordenadas, la descripción y el número del punto, obteniendo un listado de coordenadas como se observa en el ANE_TOP6-1con un total de 12612 puntos.

6.3 PLANOS

A partir del listado de coordenadas generado se obtuvo la nube de puntos correspondiente la cual fue interpretada para generar el modelo digital de terreno (Ver Figura 6-9) y la generación de las curvas de nivel con separación de 0.2m, como resultado se presenta el plano en planta - perfil para cada vallado en escala 1:500 (Ver Figura 6-10) y las secciones transversales cada 20m a escala 1:500 (Ver Figura 6-11) y en el ANE_TOP 7

Con el fin de conocer las características topográficas de la zona aleña a los vallados y como valor agregado del producto, se realizó el vuelo fotogramétrico, empleando un Drone Phanton 4 Pro V2, los puntos de control empleados para el vuelo fueron puntos distribuidos de manera uniforme por la zona de estudio teniendo un horizonte despejado y siendo fácilmente identificables en las fotos aéreas.

A partir de la zona de estudio se realizó la planeación de los vuelos o misiones que cubrieran la zona de estudio mediante el software Map Pilot, obteniendo un total de 30 misiones a una altura de vuelo de 70 m.

Para el procesamiento de las fotografías obtenidas se emplea el software Agisoft Photoscan en el cual se realiza la orientación de las imágenes, calibración de cámaras e identificación de puntos de control para el ajuste y orto rectificación. Después de asignados los puntos de control se proceden a generar la nube densa de puntos del área sobrevolada y se realiza la clasificación de la misma para finalmente obtener el ortomosaico de la zona de estudio, en la Figura 6-12 se presenta la zona del vallado Camino Santa Barbara.

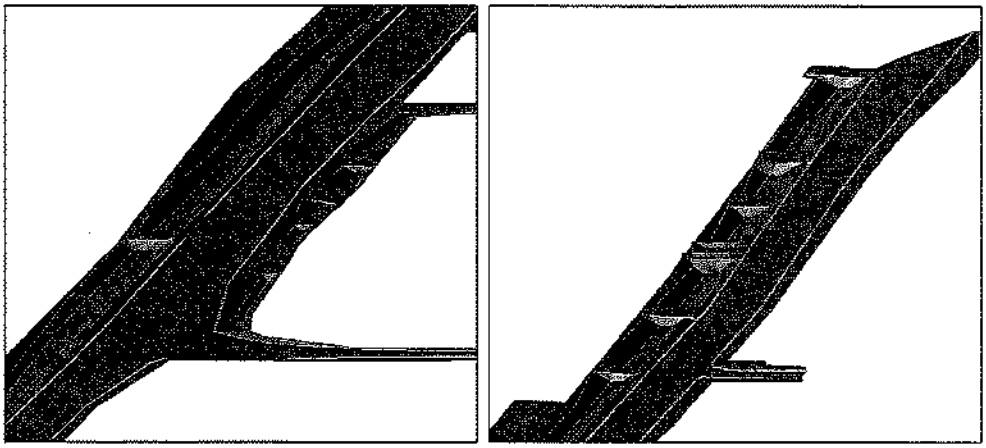


Figura 6-9 Modelo digital de terreno

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S

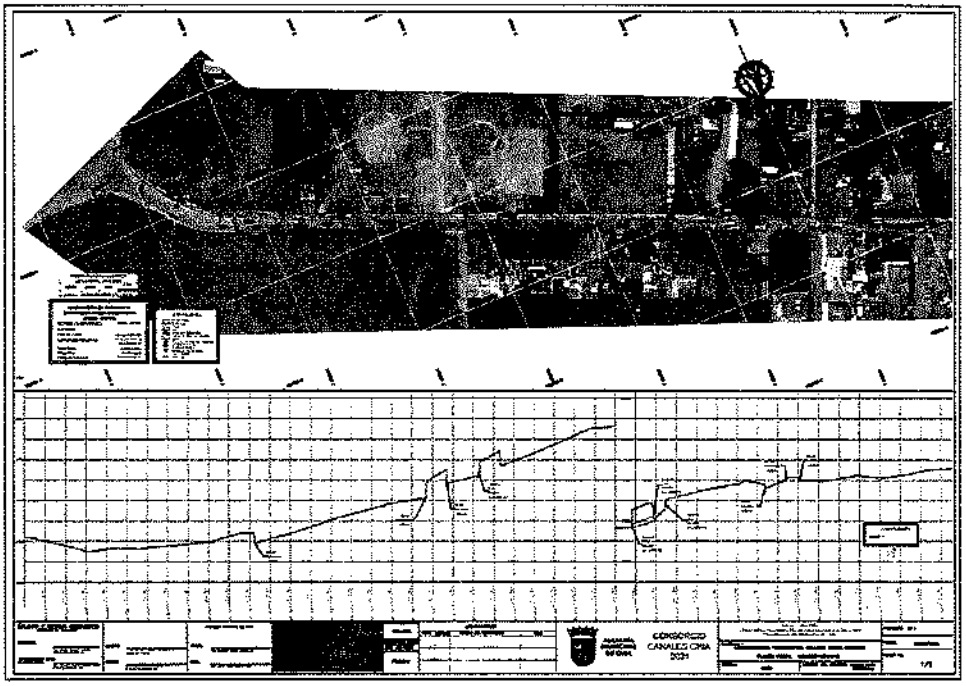


Figura 6-10 Plano en planta – perfil

El registro fotográfico de cada una de las actividades de campo realizadas se presenta en el ANE_TOP 8.

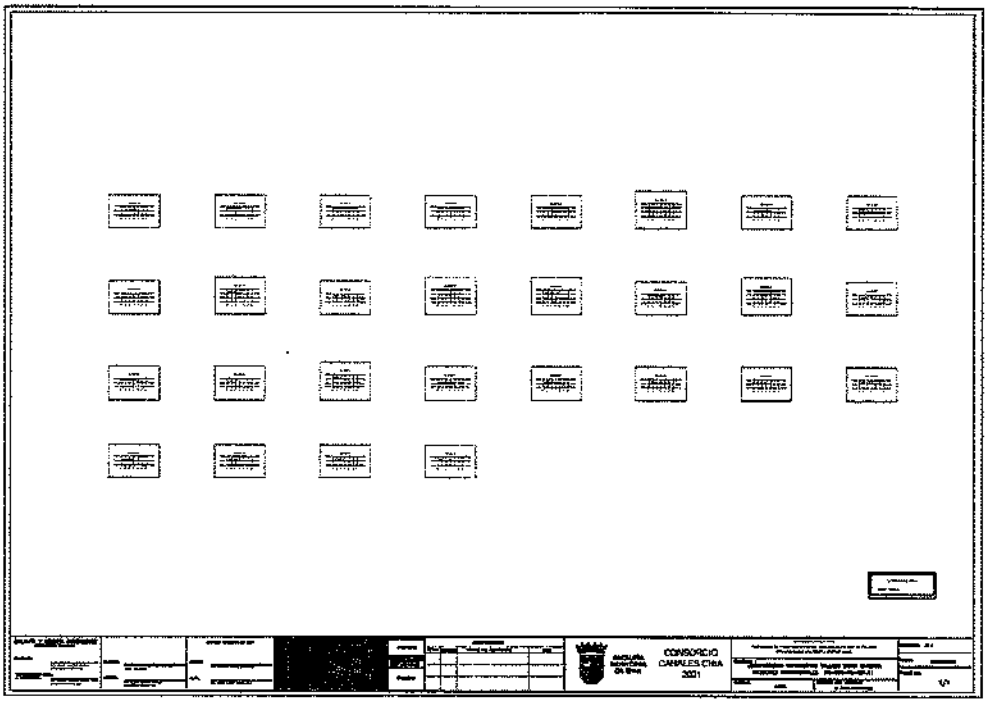


Figura 6-11 Plano secciones transversales

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

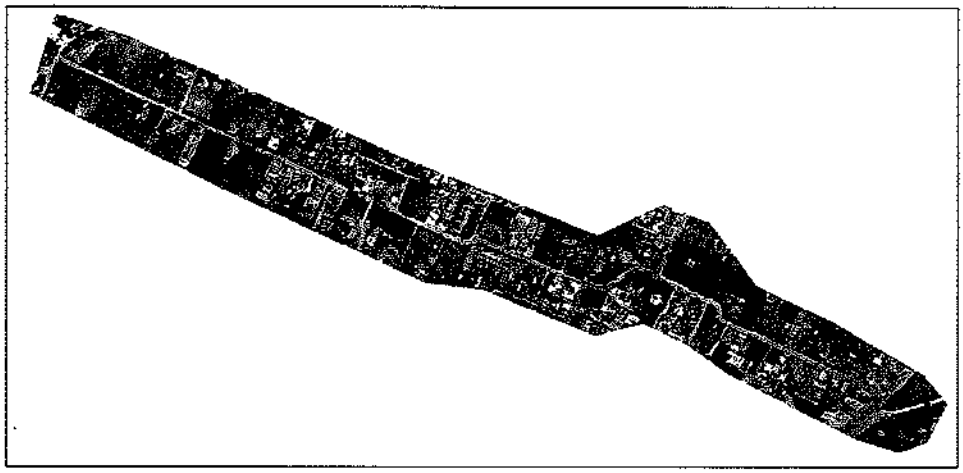


Figura 6-12 Ortomosaico Vallado Camino Santa Barbara

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S, 2021

7 ANALISIS HIDROLÓGICOS

7.1 FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para la construcción del modelo hidrológico, es necesario contar con información de las variables climáticas de interés y de las características físicas del área. A continuación, se describen las fuentes principales de información:

- IDEAM - Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales.

El IDEAM[1] es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilita la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general.

En ese sentido, a través de los canales actualmente habilitados, se tiene acceso a la información hidrometereológica disponible a nivel nacional, de acuerdo con la Ley 1712 del 6 de marzo de 2014, el IDEAM le hará entrega de la información de manera gratuita. La información revisada para la construcción del modelo hidrológico es: Catálogo Nacional de Estaciones; Información hidrológica disponible, Curvas intensidad duración frecuencia

- Red Hidrometeorológica CAR

La Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) es la encargada de ejercer como máxima autoridad ambiental en su jurisdicción, ejecutando políticas, planes, programas y proyectos ambientales, a través de la construcción de tejido social, para contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región2 cuenta con una red de estaciones hidrometereológicas que están a disposición de los interesados únicamente en el departamento de Cundinamarca, de las cuales las más cercanas a la zona de estudio han sido utilizadas para el análisis hidrológico. La información revisada para la construcción del modelo hidrológico corresponde al Catálogo Nacional de Estaciones

- Información hidrológica disponible

El Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) "Es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos, y tecnologías involucradas en la gestión de información ambiental del país, para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible". El SIAC se sustenta en un proceso de concertación interinstitucional, intersectorial e interdisciplinario, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y los Institutos de Investigación Ambiental:

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH),
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR),
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) y
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP),
- Unidades Administrativas Especiales, el Sistema de Parques Nacionales y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA.

[1] http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion

[2] https://www.car.gov.co/vercontenido/3

Es importante mencionar que los análisis hidrológicos se adelantan a partir de información secundaria suministrada por el IDEAM y/o la CAR, por tanto, los análisis que se adelantan con dicha información quedan condicionados por la resolución, frecuencia, cantidad y calidad de la información disponible.

7.2 ESTACIONES EN ÁREA DE INFLUENCIA

De acuerdo con el catálogo nacional de las estaciones del IDEAM y de la CAR, existen varias estaciones que son consideradas dentro del área de estudio, las cuales son seleccionadas inicialmente para la revisión y solicitud de la información climatológica y pluviométrica. Para esta selección preliminar se consideran dos aspectos iniciales: la cercanía al área de interés, y que la estación se encuentre activa. La Tabla 7-1 relacionan algunas de las estaciones consideradas y en la Figura 7-1 se muestra su localización relativa.

Tabla 7-1 Selección preliminar de estaciones en área de influencia

CÓDIGO	2120500135	21205890	21206480	2120565
NOMBRE	Universidad de la Sabana - Automática	Guanatá	Centro Investigación	Tabio
CATEGORÍA	Climática Principal	Meteorológica Especial	Climática Ordinaria	Climática Principal
LONGITUD	-74,03	-74,05	-74,02	7356 W
LATITUD	4,85	4,89	4,90	0446 N
ALTITUD	2.548,00	2.550,00	2.500,00	2620 m.s.n.m
DEPARTAMENTO	Cundinamarca	Cundinamarca	Cundinamarca	Cundinamarca
MUNICIPIO	Chía	Chía	Chía	Tabio
ESTADO	Activa	Activa	Activa	Activa
TECNOLOGÍA	Automática con Telemetría	Convencional	Convencional	Convencional
FECHA DE INSTALACIÓN	Octubre 16, 2018	Septiembre 15, 1976	Marzo 15, 1993	7/01/1970

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2022

Tabla 7-8. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES[1]	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida):					
Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.)[2]					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas:					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables)[3]		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barreras impermeables de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; Cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Áreas urbanas:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 de acre o menos (506 m^2 o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m^2)	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m^2)	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m^2)	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m^2)	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m^2)	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas:					
Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Referencia: Monsalve S. German, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

1 El porcentaje promedio de área impermeable muestreada fue empleado para desarrollar el conjunto de valores de CN. Otras suposiciones son las siguientes: áreas impermeables están directamente conectadas con el sistema de drenaje, áreas impermeables tienen un CN=98; y áreas permeables son consideradas equivalentes a espacios abiertos con una condición hidrológica buena.

2 CNs mostrados son equivalentes a aquéllos de pastos. Se pueden calcular valores de CN compuestos para otras combinaciones de tipo de cobertura de espacios abiertos.

3 Los valores de CN de áreas permeables se suponen equivalentes a arbustos de desierto con un condición hidrológica pobre

Tabla 7-9. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo[1]	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	—	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento[2]	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30[3]	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles)[4]	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques[5]	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	—	59	74	82	86

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

1 Mala: Menos de 50% del suelo cubierto con pastoreo intensivo sin maleza Regular: 50 a 75% del suelo cubierto y un pastoreo no muy intensivo. Buena: más del 75% del suelo cubierto y un pastoreo ocasional a ligero.

2 Mala: Menos del 50% del suelo cubierto. Regular: 50 a 75% del suelo cubierto. Buena: más del 75% del suelo cubierto.

3 Número de curva actual menor a 30. Emplear CN=30 para cálculos de escorrentía.

4 Los valores de CN mostrados se calcularon para áreas con 50% bosques y 50% cubiertas con pastos. Se pueden calcular otras combinaciones de CN para bosques y pastos.

5 Mala: Humus vegetal, pequeños árboles y maleza destruida por pastoreo intensivo, y quemas regulares. Regular: Bosques con pastoreo pero no quemados, suelo cubierto por humus vegetal. Buena: Bosques protegidos del pastoreo, y el suelo cubierto adecuadamente por humus vegeta.

La tabla anterior está definida a partir de los 5 criterios principales, los cuales se describen brevemente a continuación:

- Clasificación de los suelos: Los suelos se clasifican en cuatro categorías (A, B, C y D) según su tasa mínima de infiltración, que se obtiene para suelo desnudo después de un humedecimiento prolongado.
- Condición hidrológica: La condición hidrológica indica los efectos del tipo de cobertura y el tratamiento sobre la infiltración y la escorrentía y generalmente se estima a partir de la densidad de la cobertura vegetal y de residuos en las áreas de muestreo. Algunos factores por considerar al estimar el efecto de la cobertura sobre la infiltración y la escorrentía son: (a) dosel o densidad de césped, cultivos u otras áreas vegetativas; (b) cantidad de cobertura durante todo el año; (c) cantidad de gramíneas o leguminosas de semillas compactas en rotaciones; (d) porcentaje de cobertura de residuos; y (e) grado de rugosidad superficial.
- Tipo de cobertura: Hay varios métodos para determinar el tipo de cobertura. Los más comunes son el reconocimiento de campo, las fotografías aéreas y los mapas de uso de la tierra. El tratamiento es un modificador del tipo de cobertura para describir el manejo de las tierras agrícolas cultivadas. Incluye prácticas mecánicas, como contorneado y terrazas, y prácticas de manejo, como rotaciones de cultivos y labranza reducida o nula.
- Condición de humedad antecedente: El índice de potencial de escorrentía antes de una tormenta es la condición de escorrentía antecedente (ARC). El CN para el ARC promedio en un sitio es el valor mediano tomado de la muestra de datos de lluvia y escorrentía.
- Porcentaje de área impermeable: El porcentaje de área impermeable y los medios para transportar la escorrentía desde las áreas impermeables a los sistemas de drenaje deben considerarse al calcular la CN para áreas urbanas. Un área impermeable se considera conectada si la escorrentía fluye directamente hacia los sistemas de drenaje. También se considera conectado si la escorrentía ocurre como un flujo superficial concentrado poco profundo que corre sobre un área permeable y luego hacia un sistema de drenaje.
- En la zona de estudio de acuerdo con el mapa de cobertura del suelo

En la zona de estudio de acuerdo con el mapa de cobertura del suelo se tienen las siguientes coberturas

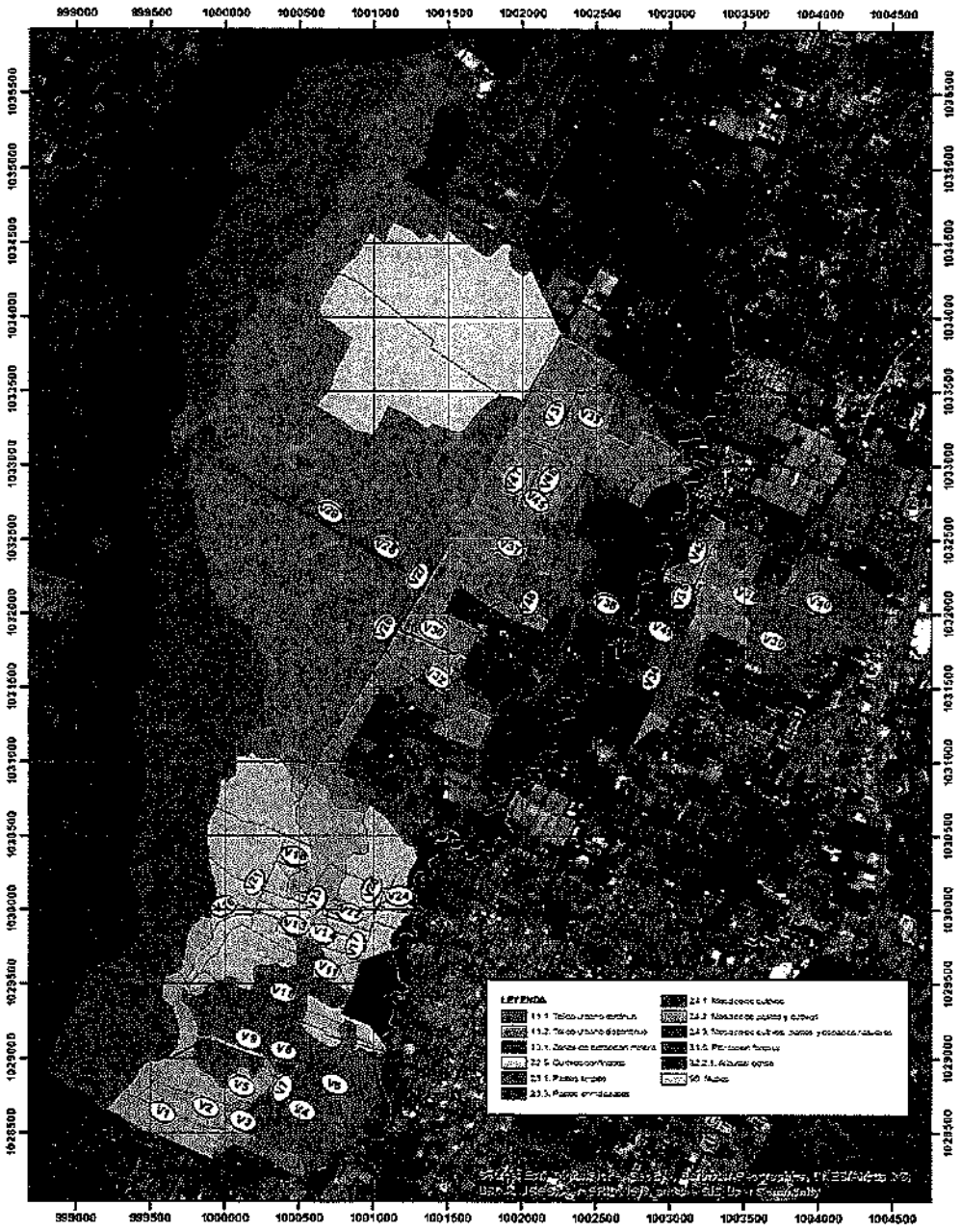


Figura 7-9 Cobertura de suelos en las cuencas aferentes a los vallados

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

De acuerdo con la información disponible, se identifica que las cuencas de los puntos de interés tienen condiciones de recubrimiento del suelo caracterizadas por zonas de poca urbanización, presencia de vías en afirmado en su mayoría, fincas y parcelas destinadas a cultivos de bajo porte y pastizales, con viviendas unifamiliares aisladas predominantemente, y algunas edificaciones grandes tipo invernadero. En ese sentido, los criterios para la selección del CN son:

- Clasificación de los suelos: A (condición promedio - favorable)
- Condición hidrológica: Fair (condición promedio - desfavorable)
- Condición de humedad antecedente: Condición escorrentía promedio Ia = 0.2S

Se asignaron los siguientes números de curva para las coberturas encontradas

Tabla 7-10. CN para las coberturas encontradas en las cuencas de los vallados

GRUPO DE SUELO CON CONDICIÓN HIDROLÓGICA NORMAL	
COBERTURA DEL SUELO	**CN**
1.1.1. Tejido urbano continuo	75
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	68
2.2.5. Cultivos confinados	72
2.3.1. Pastos limpios	63
2.3.3. Pastos enmalezados	63
2.4.1. Mosaico de cultivos	65
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	63
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	60
3.1.5. Plantación forestal	60
3.2.2.1. Arbustal denso	63

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

En la tabla que se presenta a continuación, se presentan los valores asignados a cada cuenca

Tabla 7-11. Parámetros de cálculo de escorrentía

Id	Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)	Cn	Tlag (min)
1	Vallado Pinares	0.016	0.203	63	53
2	Vallado Santa Bárbara sur	0.010	0.149	68	80
3	Vallado Santa Bárbara norte	0.008	0.121	65	76
4	Vallado camino La Carolina	0.010	0.013	75	12
5	Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.017	0.557	62	77
6	Vallado Santa Bárbara	0.017	0.270	64	35
7	Vallado La Lucerna Oriental	0.010	0.040	73	26
8	Vallado camino El Rodadero	0.024	0.476	63	43
9	Vallado camino de Piedra en Cerca	0.015	0.271	69	71
10	Vallado camino La Carlina	0.011	0.242	68	73
11	Vallado camino Al Volador	0.010	0.269	65	75
12	Vallado Lucerna Occidental	0.004	0.016	65	23

Id	Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)	Cn	Tlag (min)
13	Vallado camino Alejandría Sur	0.011	0.111	63	69
14	Vallado camino Alejandría Norte	0.008	0.052	63	78
15	Canaleta placa huella sur	0.098	0.163	65	10
16	Canaleta placa huella norte	0.092	0.163	65	11
17	Vallado Sidonia	0.025	0.033	63	22
18	Vallado camino de Las 6 Eses	0.008	0.083	63	47
19	Vallado camino de Las 6 Eses sur	0.007	0.098	63	39
20	Vallado vía al Chorro	0.023	0.014	68	18
21	Vallado camino al Cerro	0.010	0.577	63	34
22	Vallado El Potrerito	0.007	0.127	63	85
23	Vallado finca La Esperanza	0.007	0.011	63	14
24	Vallado Sidonia El Chorro	0.029	0.042	63	17
25	Vallado La Leonor sur	0.004	0.026	68	54
26	Vallado camino de Cerro – occidental	0.010	0.862	63	180
27	Vallado camino de Cerro - oriental	0.002	0.095	68	118
28	Vallado camino de Retiro - sur	0.156	1.486	65	27
29	Vallado camino de Retiro - norte	0.007	0.361	63	137
30	Vallado La Leonor norte/occidente	0.010	0.139	63	60
31	Vallado Chamizo	0.004	0.240	68	113
32	Chucua de Tiquiza	0.010	0.270	64	71
33	Vallado MG Tambo	0.008	0.440	65	77
34	Vallado Carrera 11 oriental	0.005	0.163	62	136
35	Vallado Carrera 11 occidental	0.001	0.036	63	77
36	Vallado camino Guanatá sur	0.006	0.143	65	106
37	Vallado camino Guanatá norte	0.005	0.340	63	116
38	Vallado camino Costa Rica	0.001	0.157	69	213
39	Vallado camino El Pozo norte	0.001	0.159	68	105
40	Vallado camino Ical norte	0.002	0.336	64	162
41	Vallado camino de Guanatá	0.006	0.081	63	36
42	Vallado carrera 11 Bojacá occidental	0.001	0.100	63	135
43	Vallado carrera 11 Bojacá oriental	0.001	0.076	66	92
44	Vallado camino de Colón	0.001	0.032	63	62
45	Vallado San Miguel oriental	0.011	0.025	68	36
46	Vallado San Miguel oriental 2	0.008	0.147	64	62
47	Vallado San Miguel occidental	0.008	0.065	68	42
48	Vallado camino Guanatá 2	0.007	0.085	64	36
49	Chucua Fagua	0.120	3.140	62	48
50	Chucua límite Cajicá	0.004	2.600	65	247

Id	Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)	Cn	Tlag (min)
51	Chucua de Tíquiza	0.145	1.320	61	38

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

7.9 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

El modelo HEC –HMS 4.2.1es un modelo lluvia – escorrentía que calcula el hidrograma producido por una cuenca a partir de los datos físicos de la cuenca y la precipitación considerada, utilizando diferentes métodos para el cálculo de la infiltración y la transformación de la precipitación en escorrentía.

Los hidrogramas de caudal para una creciente en la cuenca se determinaron con el modelo HEC – HMS (Hydrologic Modeling System) del Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos, el cual puede determinar dichos hidrogramas empleando diferentes metodologías de cálculo (USACE, 2020).

Este modelo está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente modela un aspecto del proceso lluvia-escorrentía dentro de una subcuenca o subárea; los componentes incluyen la escorrentía superficial de la subcuenca, los canales y los embalses.

Elemento Subcuenca o subárea: En este elemento, a partir de los datos meteorológicos (en este estudio se empleó solamente la lluvia), se realiza el balance hídrico descontando las pérdidas de agua por infiltración, y se transforma el exceso de precipitación en escorrentía superficial con la posibilidad de trabajar con y sin flujo base.

- Tramo del cauce o canal: esquematiza el comportamiento de un canal, con la posibilidad de recibir uno o varios flujos de entrada dando lugar a un solo flujo de salida.
- Nodos o Confluencias: reciben uno o varios flujos entrantes y dan lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente de ríos o canales, con la posibilidad de obtener también, flujos entrantes procedentes de subcuencas.

Cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrogramas de escorrentía directa para varias subáreas y los hidrogramas de caudal en lugares predeterminados de la cuenca.

Es posible también simular el comportamiento de salidas de flujo en el sistema de drenaje, como es el caso de los puntos donde se extrae caudal a partir de bombeo. También, el modelo es capaz de simular el comportamiento en tanques de almacenamiento.

7.9.1 MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS) PARA EL CÁLCULO DE LAS ABSTRACCIONES Y LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA.

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service - SCS), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración cuantificada a partir de un parámetro conocido como el número de curva de escorrentía.

Si se conoce el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta (P), y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia, en éste una parte del volumen en el inicio de la lluvia, es

retenido o interceptado en la vegetación o en depresiones topográficas, de forma que en un aguacero existe una pérdida de volumen inicial o abstracción inicial (I_a).

De igual forma, parte de dicho volumen se infiltra en el suelo (F_a), es decir sólo una parte de la lluvia total es la que contribuye a la escorrentía directa (precipitación efectiva, Pe). El método del SCS parte de la relación entre las siguientes cantidades:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Donde S es la retención potencial máxima, o el almacenamiento. Siguiendo con la deducción de la precipitación efectiva, por el principio de continuidad se tiene que,

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene,

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Siendo esta última la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, donde las abstracciones iniciales pueden ser expresadas en términos del almacenamiento, a partir de la expresión $I_a = C_a S$, donde C_a un coeficiente que varía entre 0.15 y 0.20 para cuencas colombianas.

7.9.2 TRANSFORMACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA – HIDROGRAMA UNITARIO DEL SCS.

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondientes a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un hidrograma unitario sintético adimensional. En este hidrograma, el caudal máximo se expresa en términos del área de drenaje (A) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico (Tp), a partir de la siguiente ecuación:

$$Qp = \frac{2.08A}{Tp} \qquad \text{Donde,} \qquad Tp = \frac{tr}{2} + tp$$

Donde tr es el tiempo de duración de la lluvia y tp el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el pico del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración (Tc), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que $tr = 0.60\,Tc$.

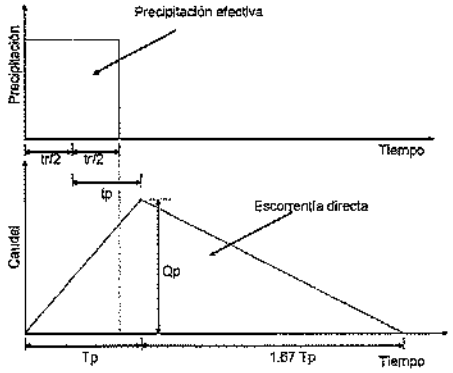


Figura 7-10 Esquema del Hidrograma unitario del SCS

Fuente: HEC – HMS, USACE, 2021.

El tiempo de retardo o rezago (T_{lag}) puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$T_{lag} = L^{0.8}\frac{\left(\frac{1000}{CN}-9\right)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}}$$

Donde T_{lag} es el tiempo de retardo en horas, L es la longitud hidráulica en pies, CN es el número de Curva, y Y es la pendiente en porcentaje.

7.9.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO TOPOLÓGICO

La aplicación de los modelos mencionados mediante el uso de la herramienta -HEC-HMS requiere de la representación matemática de cada uno de los componentes relevantes de las metodologías, para así reproducir el posible comportamiento de las variables de interés dentro del sistema. El programa trabaja con cuatro módulos básicos que definen en su conjunto la entrada de datos y la estructura de simulación de la cuenca:

- Datos de entrada. El programa presenta un sistema de entrada de datos. Datos que serán posteriormente tratados de acuerdo con los distintos submódulos de modelado para los que se requieren.
- Modelo de cuenca. El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. El usuario desarrolla un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca.
- Modelo de precipitación. Calcula la precipitación requerida en una subcuenca. Se puede utilizar información puntual de precipitación o distribuida espacialmente. El módulo puede modelar precipitación sólida y líquida y, también, evapotranspiración. El cálculo de la evapotranspiración sólo es requerido cuando se modelan respuestas hidrológicas en largos períodos de tiempo.
- Módulo de control. Las especificaciones de control fijan el tiempo de duración de cada ejecución de una simulación. Las especificaciones de control deben incluir la fecha de inicio, la fecha de finalización y el intervalo de tiempo (minutos, horas, días) de la simulación.

Para este caso se construye el modelo de las dos cuencas de interés, como se presenta en la Figura 7-11, dentro del cual se definen todos los parámetros requeridos. En el Anexo

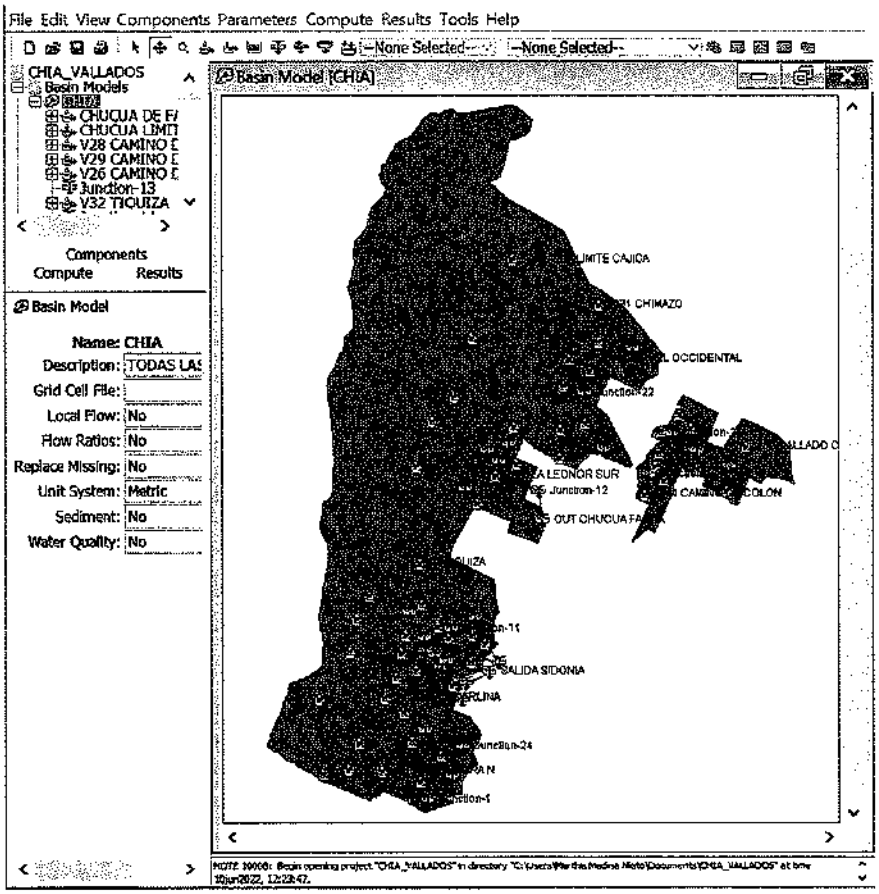
ANE_HIDRO3 Modelo Hidrológico se presentan los archivos correspondientes a la construcción del modelo.

7.9.4 SIMULACIÓN DE HIDROGRAMAS

Para la construcción del modelo matemático en HEC-HMS, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones generales.

- Para el cálculo de dichos hidrogramas, se empleó la metodología del hidrograma unitario (HU) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, sin flujo base.
- Las pérdidas o abstracciones se estimaron también empleando la metodología del SCS, que involucra el número de curva (CN).
- Las simulaciones hidrológicas en la cuenca se presentan para eventos de lluvia de 2.33, 5, 10, 25, 50,100 años, eventos obtenidos a partir de las curvas IDF sintéticas propuestas por Vargas y Díaz-Granados (1998) mostradas anteriormente.
- Se simulan las cuencas de manera individual, sin considerar tránsito de creciente por ningún cauce.

Figura 7-11 Modelo Topológico HEC-HMS



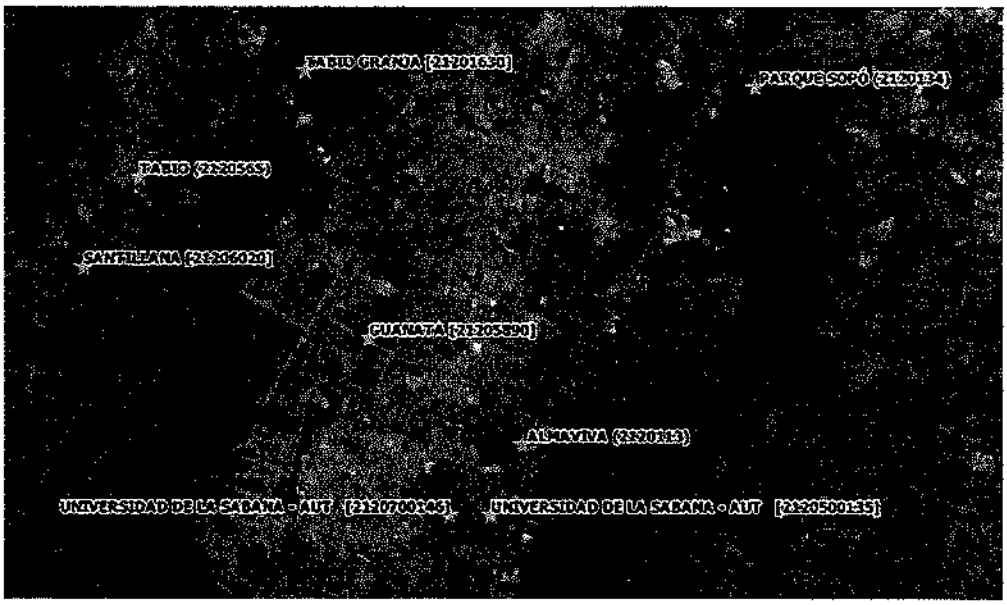


Figura 7-1 Localización de estaciones preliminarmente seleccionadas

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 202

Posteriormente, se realiza la revisión de la disponibilidad real de información de acuerdo con los registros entregados por el IDEAM a partir de la selección anterior, donde se selecciona la estación que contiene mejor registro en términos de longitud. En la Tabla 7-2 se resumen los parámetros de la estación seleccionada.

Tabla 7-2 Resumen de datos estación seleccionada datos de precipitación

Nombre	Guanatá [21205890]
Código	21205890
Tipo	Meteorológica Especial
Altitud	2550
Latitud norte	4.886
Longitud este	-74.054
Periodo registro	1996 - 2022

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2022

La estación meteorológica especial Guanatá [21205890] se encuentra ubicada al sur de las estructuras de interés en el municipio de Chía Cundinamarca, cuenta con un total de 27 (de acuerdo con la información disponible en la página del IDEAM) años de registros de precipitación diaria y por lo tanto se considera pertinente para el análisis de la información climatológica. En el

Anexo denominado ANE_HIDRO1 se presenta la información cruda de los registros de precipitación.

7.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN

Habiendo seleccionado la estación Guanatá [21205890] como la más apropiada para el análisis hidrológico del proyecto, en los siguientes numerales se presentan los diferentes análisis de la distribución temporal de la lluvia.

7.3.1 RÉGIMEN DE LLUVIAS

Como se muestra en la Figura 7-2 el régimen de precipitación en la zona de interés puede ser calificado como bimodal, con dos periodos de lluvias más abundantes, y dos periodos de bajas precipitaciones. La primera temporada de lluvias se presenta entre los meses de abril y mayo, con valores promedio mensuales máximos de 91 mm, y con una segunda temporada de lluvias entre los meses de octubre a noviembre, con un valor total anual máximo de 103 mm en el mes de noviembre, los cual coincide a nivel nacional con el periodo de mayores precipitaciones al año.

Por otra parte, la temporada de menos lluvias se presenta entre los meses de junio a septiembre y de diciembre a febrero, siendo el mes de enero, el que presenta los valores promedio totales mensuales más bajos con magnitudes de 36mm.

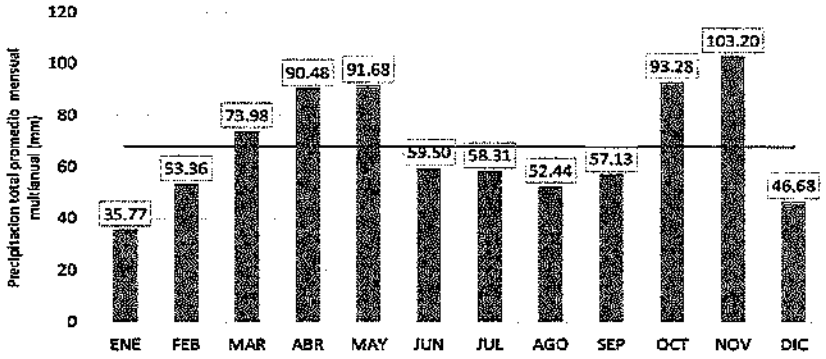


Figura 7-2 Comportamiento medio multianual de la precipitación Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

Desde el punto de vista de la totalidad de la serie de precipitación total mensual multianual, es posible decir que para los 27 años de registro disponible en la estación Guanatá [21205890] se registra un promedio general de 67.98 mm mensuales, y mientras que a nivel anual los registros indican valores totales de precipitación entre los 548 mm para el año 2001 y 1358 mm para el año 2011, con un promedio multianual de 816 mm. En el Anexo denominado ANE_HIDRO2 se presenta la información procesada de los registros de precipitación.

7.4 VALORES MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN

Por otro lado, un criterio relevante para el análisis de la precipitación es la magnitud de la precipitación máxima en 24hrs. De acuerdo con la información disponible, se presentan los valores máximos de precipitación para cada año, identificando que en un año se presentaron precipitaciones mayores a 50mm en 24hrs, tal y como se observa en la Figura 7-3 presentada a continuación

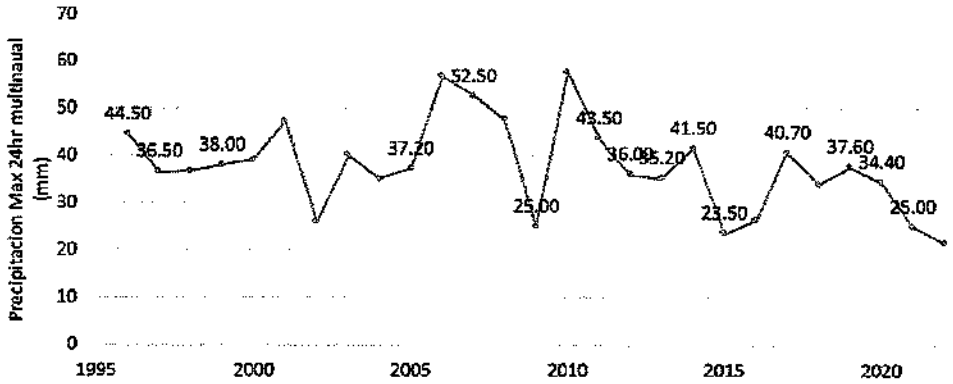


Figura 7-3 Valores máximos anuales de precipitación Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

La serie extraída para el periodo entre 1996 y 2022 evidencia que existe una variación de valores máximos entre 23-52mm, presentando una recurrencia significativa de precipitaciones entre 30-35mm.

7.5 NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA

Finalmente, de la serie de precipitación diaria en la estación Guanatá [21205890] del IDEAM es posible identificar cual es la cantidad de días al año que se ha medido históricamente la presencia de precipitación. La Tabla 7-3 permite evidenciar cual es el porcentaje de días de lluvia para cada uno de los años del registro, encontrando que predominantemente se cuenta con años con porcentajes inferiores al 50% menos de 200 días de lluvia al año, siendo el más bajo el de 2021 con 22% de días de lluvia, para un total de solo 82 días. En promedio, se puede decir que para los 27 años de registro se tienen 160 días de lluvia al año, o que representa de 45% del periodo.

Tabla 7-3 Número de días con lluvia Guanatá

AÑO	SUMA	%	AÑO	SUMA	%	AÑO	SUMA	%
1996	175	0.48	2005	166	0.45	2014	177	0.48
1997	129	0.35	2006	186	0.51	2015	139	0.38
1998	129	0.35	2007	180	0.49	2016	112	0.31
1999	188	0.52	2008	196	0.54	2017	165	0.45
2000	183	0.5	2009	162	0.44	2018	182	0.5
2001	134	0.37	2010	211	0.58	2019	162	0.44
2002	140	0.38	2011	206	0.56	2020	159	0.44
2003	149	0.41	2012	199	0.55	2021	82	0.22
2004	167	0.46	2013	182	0.5			

Nota*: Años con registros incompletos.

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

Ahora bien, si se analiza el mismo parámetro, pero a nivel mensual, la serie de datos disponible arroja que el promedio de días de lluvia a nivel mensual fluctúa entre 10 hasta 17 días al mes,

evidenciando nuevamente el comportamiento bimodal en los meses de mayor precipitación total mensual, tal y como se evidencia en Figura 7-4

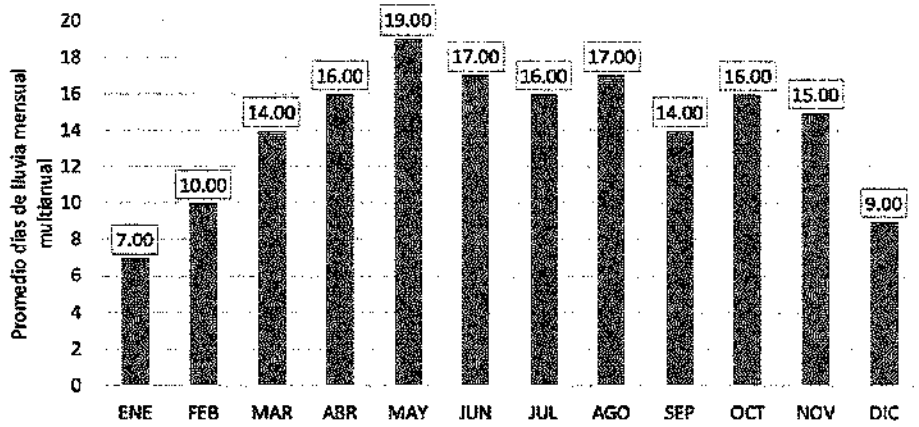


Figura 7-4 Promedio días de lluvia mensual multianual Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

7.6 CONSTRUCCIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

La siguiente etapa en la modelación hidrológica corresponde a la distribución de la lluvia temporalmente a partir de los registros históricos, con el fin de construir la tormenta de diseño para la simulación de los caudales. En los siguientes numerales se detallan los aspectos relevantes de dicho procedimiento.

7.6.1 CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA (IDF)

Con la información de precipitación, se elaboran las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia para conocer el comportamiento de la precipitación en función de su intensidad, para diferentes periodos de retorno. La construcción de las curvas IDF se realiza mediante el método desarrollado por Vargas y Mario Díaz-Granados donde se analizaron tormentas a lo largo del territorio nacional y a partir de análisis estadísticos se desarrollaron diferentes relaciones matemáticas que permiten calcular la intensidad de un evento de lluvia a partir de 3 o 4 datos extraídos del registro de precipitación.

Las ecuaciones del método se desarrollaron para 4 diferentes regiones del país a las cuales se le asigna un grupo de coeficientes propios, generando así el mejor ajuste de las intensidades encontradas. Para el caso particular de interés en Nariño en el municipio de Chía Cundinamarca se aplican los coeficientes de la correspondientes a la Región Andina (R1) para la siguiente ecuación

$$I = a\frac{T^b}{t^C}M^D N^E P T^f$$

Una vez aplicado el método, se construye la curva intensidad, duración frecuencia donde se pueden obtener las características de una tormenta de diseño para diferentes periodos de retorno. En la Tabla 7-5 se presentan los datos correspondientes a las curvas de la Figura 6-5.

Tabla 7-4 Coeficiente para construcción de IDF

A	1.61
B	0.19
C	0.65
D	0.75
E	-0.15
F	0.08

Fuente: Diaz-Granados, Vargas, 1999

Tabla 7-5 Valores curva IDF Estación Guanatá

Periodo de retorno (años)	Duraciones (Minutos) / Intensidad (mm/h)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
2.33	80.3	51.2	39.3	32.6	28.2	25.0	22.7	20.8	19.2	18.0	16.9	16.0
5	92.8	59.1	45.4	37.7	32.6	29.0	26.2	24.0	22.2	20.8	19.5	18.5
10	105.9	67.5	51.8	43.0	37.2	33.0	29.9	27.4	25.4	23.7	22.3	21.1
25	126.0	80.3	61.7	51.2	44.3	39.3	35.6	32.6	30.2	28.2	26.5	25.1
50	143.7	91.6	70.4	58.4	50.5	44.8	40.6	37.2	34.5	32.2	30.2	28.6
100	164.0	104.5	80.3	66.6	57.6	51.2	46.3	42.4	39.3	36.7	34.5	32.6
500	222.6	141.9	109.0	90.4	78.2	69.5	62.8	57.6	53.4	49.8	46.8	44.3

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

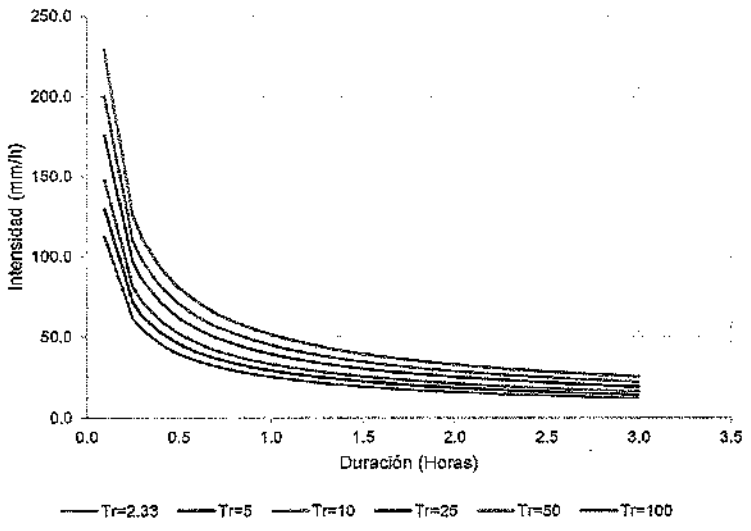


Figura 7-5 Curva IDF Estación Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

7.6.2 HIETOGRAMA – TORMENTA DE DISEÑO

A partir de la información de la lluvia y la construcción de la curva de intensidad duración frecuencia de la estación, se elabora el hietograma de diseño que representa la distribución temporal de la lluvia para un periodo de retorno y una duración de la tormenta dada.

Para el caso particular de este estudio se requiere conocer el comportamiento de la precipitación en las cuencas de interés y por lo tanto, se considera pertinente hacer una distribución de la lluvia para diferentes periodos de retorno, y de esta manera poder representar el comportamiento de la escorrentía para un evento de lluvia determinado. Para este caso se utiliza el método de bloques alternos (*alternating block method, Chow et al 1994*). En la siguiente figura se presentan los hietogramas correspondientes.

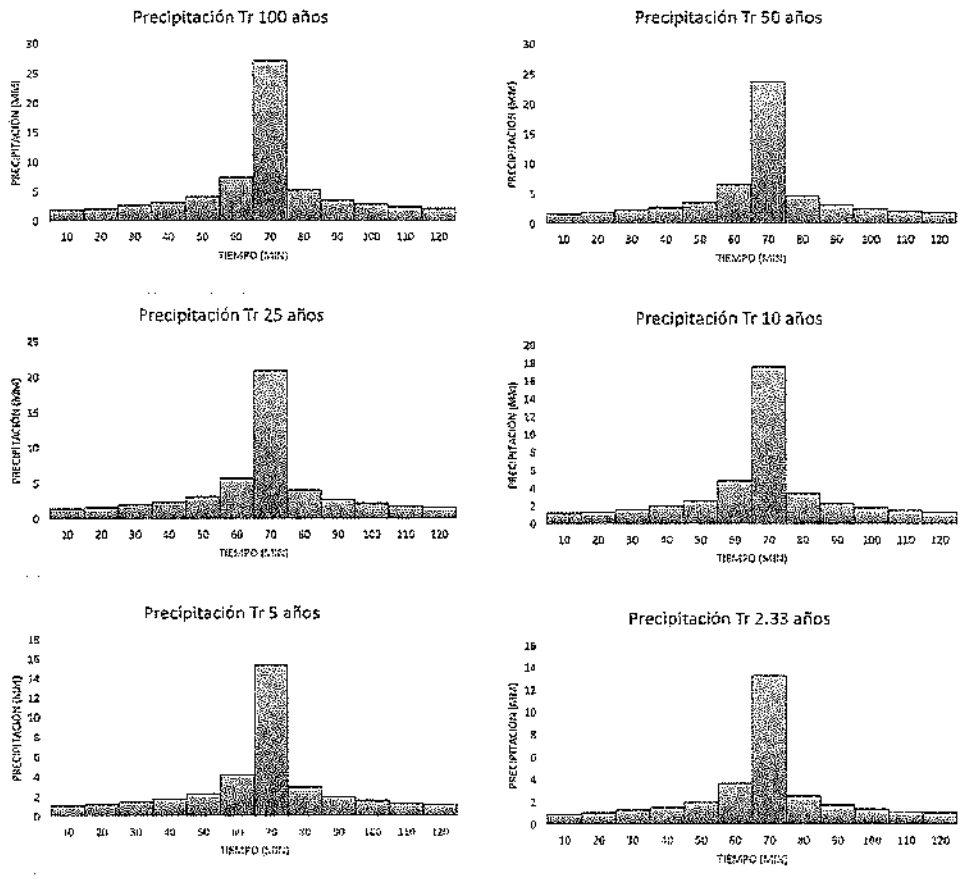


Figura 7-6 Hietogramas para 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 Años de Periodo de Retorno
Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

Tabla 7-6 Valores Hietograma para diferentes periodos de retorno

	Precipitación (mm)					
Tiempo (min)	TR 2.33	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100
10	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
20	1.1	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
30	1.3	1.5	1.7	2.1	2.3	2.7
40	1.5	1.8	2.0	2.4	2.8	3.2
50	2.0	2.3	2.7	3.2	3.6	4.1
60	3.7	4.3	4.9	5.8	6.6	7.5
70	13.3	15.4	17.6	20.9	23.9	27.3
80	2.6	3.0	3.5	4.1	4.7	5.4
90	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6
100	1.4	1.7	1.9	2.2	2.6	2.9
110	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4
120	1.1	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2

7.7 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

Para este proyecto en particular es necesario definir el sistema de drenaje que pudiera estar asociado a las estructuras de interés, que para el caso específico de este documento corresponde a los canales que se encuentran en el área rural del municipio de Chía y de esta manera establecer el un posible comportamiento hidrológico del sistema aferente. En los siguientes numerales se definen las características de dichas áreas.

7.7.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE DRENAJE

A partir de la información definida en el numeral 7.1 y mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución, se realizó la definición del área de drenaje aferente a los puntos de interés.

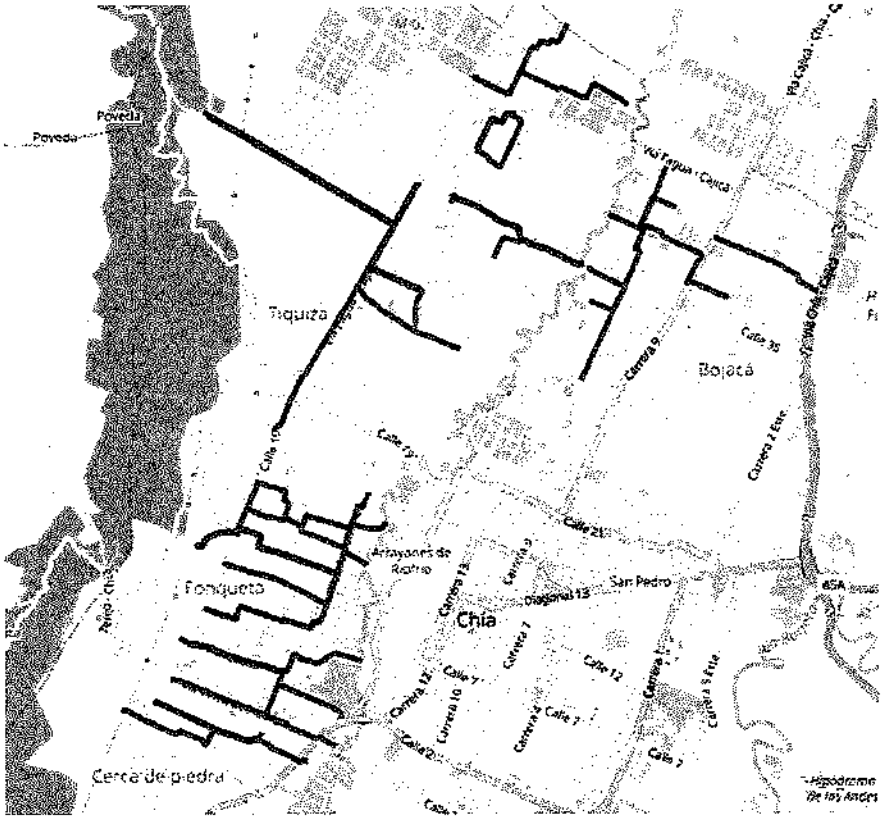


Figura 7-7 Canales de interés

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

Ahora bien, teniendo en cuenta que el área aferente a los canales mencionados corresponde a una zona rural con desarrollo de vivienda, las cuencas que pueden aportar escorrentía a estos sistemas están definidas por los alineamientos de las calles y la configuración catastral cercana para las zonas planas, mientras para las zonas montañosas la cartografía 1:25.000 del IGAC permite una acertada aproximación para la delimitación de estas.

En la Figura 7-8 que se nuestra a continuación se identifican las áreas definidas como aferentes, y que son uno de los insumos requeridos para el modelo hidrológico, como se explicará más adelante. En la Tabla 7-7 se relacionan las magnitudes asociadas

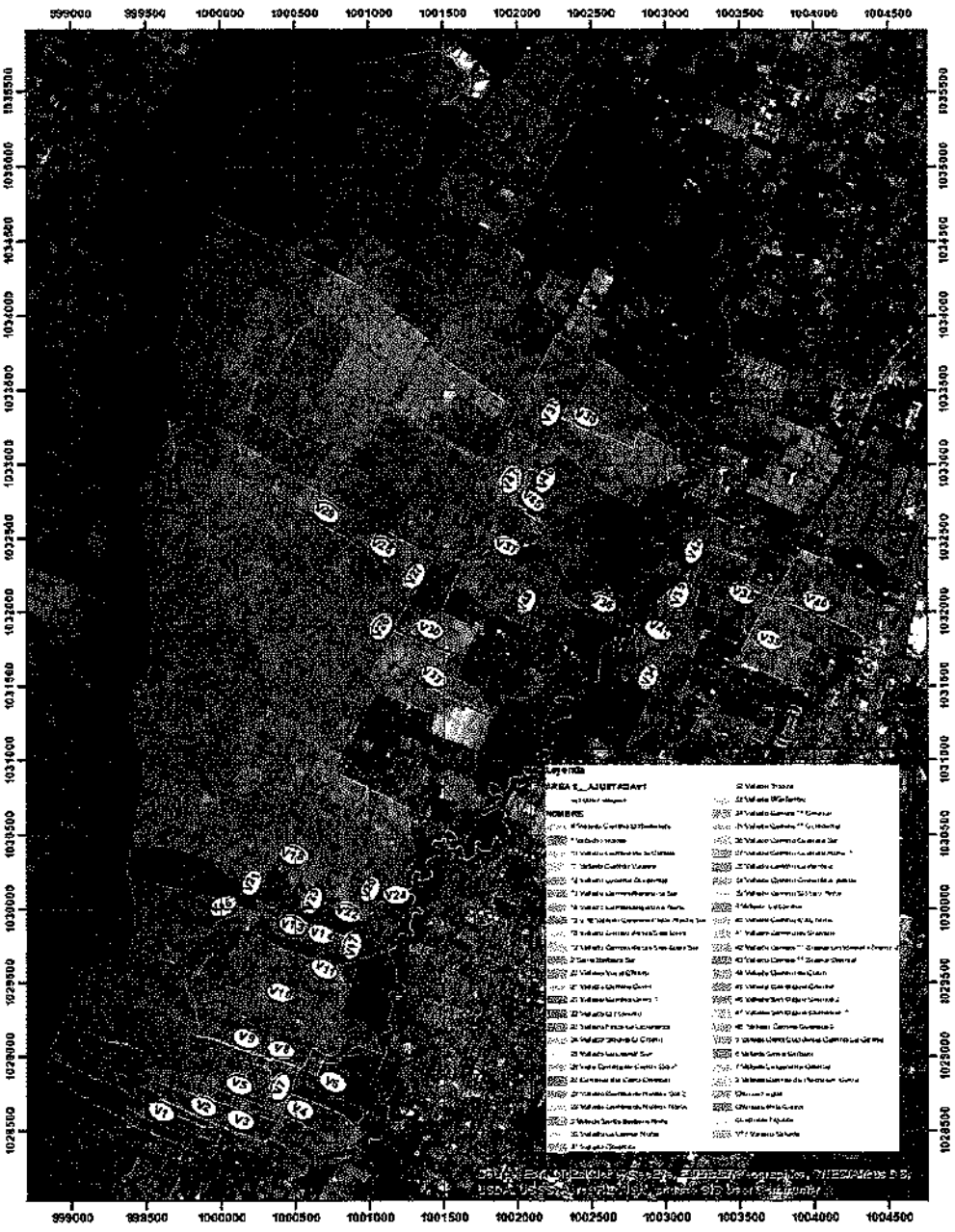


Figura 7-8 Cuencas aferentes a Canales de interés

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

Tabla 7-7. Caracterización morfométrica

Id	Cuenca	Pendiente (%)	Área aferente (Ha)
1	Vallado Pinares	1.60%	20.3
2	Vallado Santa Bárbara sur	1.00%	14.9
3	Vallado Santa Bárbara norte	0.80%	12.1
4	Vallado camino La Carolina	1.00%	1.3
5	Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	1.70%	55.7
6	Vallado Santa Bárbara	1.70%	27.0
7	Vallado La Lucerna Oriental	1.00%	4.0
8	Vallado camino El Rodadero	2.40%	47.6
9	Vallado camino de Piedra en Cerca	1.50%	27.1
10	Vallado camino La Carlina	1.10%	24.2
11	Vallado camino Al Volador	1.00%	26.9
12	Vallado Lucerna Occidental	0.40%	1.6
13	Vallado camino Alejandría Sur	1.10%	11.1
14	Vallado camino Alejandría Norte	0.80%	5.2
15	Canaleta placa huella sur	9.80%	16.3
16	Canaleta placa huella norte	9.20%	16.3
17	Vallado Sidonia	2.50%	3.3
18	Vallado camino de Las 6 Eses	0.80%	8.3
19	Vallado camino de Las 6 Eses sur	0.70%	9.8
20	Vallado vía al Chorro	2.30%	1.4
21	Vallado camino al Cerro	1.00%	57.7
22	Vallado El Potrerito	0.70%	12.7
23	Vallado finca La Esperanza	0.70%	1.1
24	Vallado Sidonia El Chorro	2.90%	4.2
25	Vallado La Leonor sur	0.40%	2.6
26	Vallado camino de Cerro – occidental	1.00%	86.2
27	Vallado camino de Cerro - oriental	0.20%	9.5
28	Vallado camino de Retiro - sur	15.60%	148.6
29	Vallado camino de Retiro - norte	0.70%	36.1
30	Vallado La Leonor norte/occidente	1.00%	13.9
31	Vallado Chamizo	0.40%	24.0
32	Chucua de Tíquiza	1.00%	27.0
33	Vallado MG Tambo	0.80%	44.0
34	Vallado Carrera 11 oriental	0.50%	16.3
35	Vallado Carrera 11 occidental	0.10%	3.6
36	Vallado camino Guanatá sur	0.60%	14.3
37	Vallado camino Guanatá norte	0.50%	34.0
38	Vallado camino Costa Rica	0.10%	15.7

Id	Cuenca	Pendiente (%)	Área aferente (Ha)
39	Vallado camino El Pozo norte	0.10%	15.9
40	Vallado camino Ical norte	0.20%	33.6
41	Vallado camino de Guanatá	0.60%	8.1
42	Vallado carrera 11 Bojacá occidental	0.10%	10.0
43	Vallado carrera 11 Bojacá oriental	0.10%	7.6
44	Vallado camino de Colón	0.10%	3.2
45	Vallado San Miguel oriental	1.10%	2.5
46	Vallado San Miguel oriental 2	0.80%	14.7
47	Vallado San Miguel occidental	0.80%	6.5
48	Vallado camino Guanatá 2	0.70%	8.5
49	Chucua Fagua	12.00%	314.0
50	Chucua limite Cajica	0.40%	260.0
51	Chucua de Tíquiza	14.50%	132.0

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

7.8 PARÁMETROS DE CALCULO DE ESCORRENTÍA

El almacenamiento en la cuenca se puede expresar en términos de un parámetro adimensional que tiene en cuenta las características geomorfológicas del suelo, su uso y cobertura vegetal. Este parámetro es conocido, de acuerdo con la metodología propuesta por el SCS, como el número de curva (CN).

El número de curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología de la zona de estudio, el uso del suelo, el grado de área impermeable en la cuenca, la condición del suelo, es decir, si es pobre, aceptable o buena, y la condición de humedad antecedente. Este parámetro varía entre 0 y 100, siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presenta un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración aquel que presenta un CN igual a 100. De acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras de Invias 2009, a continuación, se presentan los CN recomendados según la cobertura para una condición de humedad Normal, escenario simulado para el área de estudio

Fuente: HEC – HMS, USACE, 2021. - Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

A continuación, se presentan los cálculos de los caudales para las áreas de drenaje propias asociadas a cada canal, empleando el método del SCS, caudales que fueron estimados para periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, de acuerdo con las condiciones de precipitación en la zona. En el Anexo ANE_HIDRO4 Resultados Modelo Hidrológico se presentan los archivos correspondientes a los resultados obtenidos

Tabla 7-12. Caudales pico estimados para cada cuenca para diferentes peridos.

Elemento	Área	Caudal (m^3/s) para diferentes periodos de retorno					
		2.33	5	10	25	50	100
CHUCUA DE FAGUA	3.14	0.006	0.138	0.448	1.152	2.028	3.287
CHUCUA LIMITE CAJICÁ	2.6	0.021	0.084	0.196	0.430	0.700	1.076
CHUCUA DE TÍQUIZA	1.32	0.000	0.055	0.213	0.562	1.003	1.636
PINARES	0.2	0.001	0.011	0.033	0.081	0.138	0.221
SANTA BÁRBARA SUR	0.15	0.012	0.029	0.053	0.101	0.153	0.224
STA BARBARA NORTE	0.12	0.002	0.011	0.025	0.055	0.089	0.138
LA CAROLINA	0.013	0.008	0.015	0.024	0.040	0.057	0.081
LA CAROLINA OCCIDENTAL	0.56	0.001	0.019	0.063	0.170	0.301	0.490
SANTA BÁRBARA	0.27	0.008	0.036	0.083	0.180	0.297	0.464
LUCERNA ORIENTAL	0.04	0.016	0.028	0.045	0.080	0.117	0.165
RODADERO	0.47	0.004	0.037	0.104	0.242	0.415	0.660
CAMINO DE PIEDRA EN CERCA	0.27	0.029	0.065	0.118	0.216	0.323	0.466
VIA LA CARLINA	0.24	0.019	0.046	0.087	0.167	0.254	0.372
CAMINO VOLADOR	0.27	0.007	0.026	0.060	0.129	0.209	0.321
LUCERNA OCCIDENTAL	0.016	0.001	0.003	0.007	0.013	0.022	0.035
CAMINO ALEJANDRÍA SUR	0.111	0.001	0.007	0.019	0.045	0.076	0.119
CAMINO ALEJANDRÍA NORTE	0.052	0.000	0.003	0.007	0.018	0.031	0.049
ÁREA DE PLACA HUELLA	0.32	0.022	0.072	0.139	0.285	0.497	0.812
SIDONIA	0.033	0.000	0.004	0.010	0.021	0.035	0.059
CAMINO LAS 6 ESES	0.083	0.001	0.006	0.017	0.041	0.069	0.110
CAMINO LAS 6 ESES SUR	0.098	0.001	0.008	0.023	0.053	0.089	0.141
VIA AL CHORRO	0.014	0.003	0.005	0.010	0.019	0.031	0.047
CAMINO CERRO	0.37	0.003	0.034	0.088	0.208	0.351	0.563
CAMINO CERRO	0.2	0.002	0.018	0.049	0.114	0.192	0.306
EL PROTERITO	0.127	0.001	0.006	0.016	0.041	0.070	0.113
FINCA LA ESPERANZA	0.011	0.000	0.001	0.004	0.007	0.013	0.022
SINDONIA EL CHORRO	0.042	0.001	0.005	0.013	0.028	0.048	0.081
LA LEONOR SUR	0.026	0.003	0.006	0.012	0.022	0.034	0.050
CAMINO DE CERRO - OCC	0.086	0.000	0.002	0.006	0.014	0.025	0.039
CAMINO DE CERRO - ORI	0.095	0.005	0.012	0.023	0.045	0.068	0.100
CAMINO DE RETIRO	1.5	0.076	0.280	0.577	1.187	1.945	3.008
CAMINO DE RETIRO - NORTE	0.36	0.001	0.010	0.031	0.077	0.133	0.213

Elemento	Área	Caudal (m^3/s) para diferentes periodos de retorno					
		2.33	5	10	25	50	100
CAMINO LA LEONOR NORTE	0.14	0.001	0.008	0.023	0.056	0.096	0.154
CHAMIZO	0.24	0.021	0.052	0.097	0.186	0.284	0.415
TÍQUIZA	0.27	0.003	0.019	0.048	0.113	0.190	0.297
MG TAMBO	0.44	0.006	0.027	0.062	0.137	0.223	0.343
CARRERA 11 ORIENTAL	0.16	0.000	0.003	0.010	0.029	0.051	0.085
CARRERA 11 OCCIDENTAL	0.036	0.000	0.002	0.005	0.013	0.022	0.034
CAMINO GUNATÁ SUR	0.14	0.002	0.009	0.021	0.047	0.078	0.121
CAMINO GUNATÁ NORTE	0.34	0.001	0.011	0.034	0.084	0.145	0.232
CAMINO COSTA RICA	0.124	0.006	0.014	0.024	0.043	0.063	0.089
CAMINO COSTA RICA ARRIBA	0.032	0.000	0.002	0.003	0.007	0.011	0.017
CAMINO EL POZO NORTE	0.16	0.009	0.023	0.043	0.083	0.127	0.186
ICAL NORT	0.33	0.003	0.013	0.032	0.074	0.122	0.190
CAMINO GUNATÁ	0.081	0.001	0.007	0.019	0.045	0.076	0.122
CARRERA 11 BOJACA OCC	0.099	0.000	0.003	0.009	0.022	0.038	0.061
CARRERA 11 BOJACA OREINT	0.075	0.003	0.008	0.018	0.036	0.057	0.085
CAMINO DE COLÓN	0.031	0.000	0.002	0.005	0.013	0.022	0.035
CAMINO GUANATÁ	0.0847	0.002	0.010	0.024	0.053	0.088	0.140

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

8 ANÁLISIS HIDRÁULICOS

8.1 GENERALIDADES

La modelación hidráulica se realiza con el modelo HEC-GEORAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América, a continuación, se presenta las bases conceptuales del modelo implementado.

8.2 MARCO TEÓRICO

HEC-GeoRAS es un sistema integrado diseñado para un uso interactivo en ambientes multiusuarios. El sistema está compuesto de una interfase gráfica para el usuario, análisis de componentes hidráulicos por separado, almacenamiento de datos y manejo de funciones, gráficos y facilidades en la generación de reportes.

La versión HEC-GeoRAS soporta el cómputo de perfiles de agua en flujos permanentes y no permanentes. El modelo está diseñado para desarrollar los cálculos hidráulicos en una dimensión para redes naturales y artificiales. El sistema puede manejar una red completa de canales, un sistema dendrítico o un solo río. El componente de flujo permanente soporta análisis con flujos subcríticos, supercríticos, críticos y mixtos. El procedimiento básico de computación está basado en la solución unidimensional de la ecuación de energía.

La pérdida de energía es evaluada por fricción (Ecuación de Manning) y coeficientes de contracción y/o expansión multiplicados por el cambio en la carga de velocidad. La ecuación de Momentum es utilizada en situaciones donde el perfil de agua es rápidamente variado; en estas situaciones se incluyen flujos mixtos, saltos hidráulicos, hidráulica de puentes y evaluación de perfiles en la confluencia de ríos.

8.2.1 CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL

Las ecuaciones para los cálculos básicos de los perfiles de flujo de agua superficial son calculadas de una sección a otra, resolviendo la ecuación de energía mediante un sistema de iteraciones denominada "Método del paso estándar". La pérdida de energía entre dos secciones está compuesta por pérdidas de fricción y contracción.

Subdivisiones en las secciones transversales para cálculos de transporte de caudal: La determinación del transporte total y del coeficiente de velocidad para una sección transversal requiere que el flujo sea subdividido en unidades en las cuales la velocidad es uniformemente distribuida. El algoritmo utilizado por HEC-RAS subdivide el flujo en las áreas del canal principal utilizando la entrada de los valores de coeficiente de Manning. El transporte del flujo es calculado con la subdivisión con la siguiente forma de la Ecuación de Manning:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

Donde:

K : Subdivisión para transporte

n: Coeficiente de rugosidad de Manning para la subdivisión

A: Área del flujo para la subdivisión

R: Radio hidráulico para la subdivisión

El programa suma todos los transportes para obtener el transporte adecuado en la banca derecha e izquierda. El canal principal es usualmente analizado como un elemento singular. El transporte total para la sección transversal es obtenido al sumar las tres subdivisiones de transporte (izquierdo, derecho, y canal principal)

8.2.2 COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL

El flujo en el Canal no se subdivide excepto cuando el coeficiente de rugosidad es cambiado en el área del canal. El programa determina si el valor de n que corresponde a la sección transversal puede ser subdividida, o si el valor de n compuesto para el canal principal puede ser utilizado basado en el siguiente criterio:

Si la pendiente lateral del canal es más pronunciada que 5H:1V y el canal principal tiene más de un valor de n, se calcula automáticamente un valor de nc compuesto. El modelo determina la rugosidad equivalente; existen muchas hipótesis para el cálculo de este parámetro Paulovskii, Muhlhofer, Banks, Lotter entre otros. Además, usa las recomendaciones de Horton y Einstein que se basa en el supuesto de considerar que cada sub-área tiene la misma velocidad e igual a la velocidad media de la sección con lo cual se obtiene lo siguiente:

$$n_c = \sum \left(Pi \cdot ni^{1.5}\right)^{2/3} \Big/ \sum Pi$$

Dónde:

nc: Coeficiente de Rugosidad compuesta o equivalente

ni: Coeficiente de rugosidad para la subdivisión i

Pi: Perímetro mojado para la subdivisión i.

El procedimiento coincide en dividir la sección hidráulica en las partes que sean necesarias y asignarles un valor de "n" de rugosidad según corresponda a su naturaleza física de oposición al flujo. Como las secciones están geométricamente definidas, el modelo evalúa con la fórmula anterior el valor de rugosidad equivalente, ver los capítulos 2 y 3 del manual del HEC-RAS (páginas 2-6, 2-7 y 3-12 a 3-16) y el libro Hidráulica de Canales Abiertos, V.T. Chow (páginas 108 a 120 y página 135), del que se obtienen los valores de referencia que se presentan a continuación:

Finalmente, a partir del reconocimiento de los factores expuestos anteriormente, Cowan propone el siguiente procedimiento:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5$$

Donde n0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n1 es un valor que debe agregarse para corregir el efecto de las rugosidades superficiales, n2 considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n3 es un valor para considerar las obstrucciones, n4 tiene en cuenta la vegetación y las condiciones del flujo, y m5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

8.2.3 EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE ENERGÍA CINÉTICA

Debido a que el programa HEC-RAS es un programa desarrollado para perfiles de agua superficial, solamente una superficie de agua y una carga de energía se computan en cada sección transversal. Para una elevación de agua superficial dada, la energía principal es obtenida al realizar el cálculo con ponderación de las n sub-secciones en la sección transversal. (Banca derecha, izquierda y canal principal)

8.2.4 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Las pérdidas por fricción son evaluadas por HEC-RAS como el producto de Sf y L, donde Sf es la fricción para la pendiente y L es la distancia ponderada para el tramo de análisis. El coeficiente de pendiente (pendiente de la línea de energía) para cada sección transversal es estimado con la ecuación de Manning.

Tabla 8-1. Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow y Cowan

Condiciones del Cauce		Valores de Rugosidad	
Material del Lecho	Tierra	no	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava triturada		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n2	0.00
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efectos Relativos de Obstrucciones	Despreciable	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: V. T. Chow, 1999

8.2.5 EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES

El programa asume que una contracción está ocurriendo cuando la cabeza de velocidad aguas abajo es mayor que la cabeza de velocidad aguas arriba de igual manera, cuando la cabeza de velocidad aguas arriba es mayor que la cabeza de velocidad aguas abajo, el programa asume que una expansión del flujo está ocurriendo.

8.2.6 LIMITACIONES DEL PROGRAMA

Las siguientes hipótesis están implícitas en las expresiones analíticas utilizadas en la versión del programa:

El flujo es gradualmente variado (con excepción de las estructuras hidráulicas como: puentes, tubos y vertederos). En estos casos el flujo puede ser rápidamente variado y la ecuación de momentum u otra ecuación empírica se utiliza.

El flujo es unidimensional (los componentes de velocidad en otras direcciones que no son las del flujo no son contabilizados)

Los canales de los ríos tienen pendientes pequeñas, es decir menor de 1:10

8.3 INFORMACIÓN DE ENTRADA

HEC-GEORAS es una extensión de ArcGIS que provee del usuario un sistema de procedimientos, herramientas, y utilidades para la preparación de los datos de GIS para la importación de geometrías hidráulicas al HEC-RAS 4.1.0, y lectura de resultados generados. Mientras que la extensión de GeoRAS se diseña para los usuarios con experiencia geográfica limitada en los sistemas de información (GIS). Los usuarios, sin embargo, deben tener experiencia en modelar con HEC-RAS y tener con la comprensión de la hidráulica del río, una correcta interpretación de los modelos en el GIS. Se requiere ArcGIS 10.1, con las extensiones de 3DAnalyst.

La información de entrada al modelo hidráulico la compone los siguientes tópicos: caudales, Modelo Digital de Terreno (extraído del levantamiento topográfico) del cual se establecen las secciones transversales y las fronteras del modelo aguas abajo.

8.3.1 CAUDALES DE MODELACIÓN – CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ARRIBA

Los caudales de modelación corresponden a los valores para diferentes periodos de retorno estimados con el modelo hidrológico HEC – HMS y presentados en el documento de hidrología para los tres cauces.

La condición de frontera aguas arriba corresponde al caudal de entrada a cada uno de los cauces, datos que como ya se mencionó, fueron estimados en el capítulo de Hidrología.

8.3.2 CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ABAJO

La condición de frontera aguas abajo, corresponde a los niveles producidos asumiendo que el flujo tiende a ser uniforme en las partes bajas de los canales, tomando esta condición como el control hidráulico. Los niveles obtenidos son los presentados en los siguientes cuadros, para cada uno de los vallados.

Tabla 8-2. Condición de frontera aguas abajo

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Pendiente de la línea de energía (m/m)
1	Camino de Santa Bárbara	Vallado Pinares	0.030
		Vallado Santa Bárbara Sur	0.024
		Vallado Santa Bárbara Norte	0.024
2	La Carolina	Vallado Camino La Carolina	0.019
		Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.017
		Vallado Santa Bárbara	0.002
		Vallado La Lucerna Oriental	0.011
3	Camino El Rodadero	Vallado Camino El Rodadero	0.015
		Vallado Camino De Piedra En Cerca	0.011
4	Camino La Carlina	Vallado Camino La Carlina	0.015
5	Camino Alejandría Volador	Vallado Camino Al Volador	0.011
		Vallado La Lucerna Occidental	0.007
		Vallado Camino Alejandría Sur	0.019
		Vallado Camino Alejandría Norte	0.004
		Canaleta Placa Huella Sur	0.003
		Canaleta Placa Huella Norte	0.003
		Vallado Sidonia	0.022
6	Potrerito y 6 Eses	Vallado Camino De Las 6 Eses	0.014
		Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	0.001
		Vallado Vía Al Chorro	0.013
		Vallado Camino Al Cerro	0.015
		Vallado El Potrerito	0.015
		Vallado Finca La Esperanza	0.016
		Vallado Sidonia El Chorro	0.010
7	El Retiro - La Leonor	Vallado La Leonor Sur	0.012

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Pendiente de la línea de energía (m/m)
		Vallado Camino De Cerro - Occidental	0.004
		Vallado Camino De Cerro - Oriental	0.019
		Vallado Camino Del Retiro - Sur	0.005
		Vallado Camino Del Retiro - Norte	0.010
		Vallado La Leonor Norte	0.016
		Chucua de Tiquiza	0.060
8	Guanatá	Vallado Camino Guanatá	0.009
		Vallado Camino Guanatá Norte	0.008
9	Chamizo - Tambo	Vallado Chamizo Sur	0.010
		Vallado MG Tambo	0.010
10	Carrera 11 Costa Rica	Vallado Camino Costa Rica	0.006
		Vallado Camino El Pozo Norte	0.018
11	Camino Ical	Vallado Camino Ical Norte	0.006
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Vallado Camino De Guanatá	0.015
		Vallado Carrera 11 Oriental	0.021
		Vallado Carrera 11 Occidental	0.016
		Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	0.003
		Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	0.025
		Vallado Camino De Colón	0.013
		Vallado Camino Guanatá 2	0.002

8.3.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

El coeficiente de rugosidad para estas simulaciones de los cauces, se estableció de acuerdo con los criterios de clasificación mostrados en el manual del United Steate Geological Survey – USGS, "Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains", donde se presentan cauces naturales en los Estados Unidos, a los cuales se les realizaron aforos de caudales con la finalidad de estimar dicho coeficiente, y aplicando la ecuación de Cowan, de acuerdo con lo presentado en el Marco Teórico.

Esta metodología es la apropiada para estos canales, los cuales presentan un alta pendiente, y también cuentan con presencia de grandes bloques a lo largo del cauce.

Tabla 8-3. Coeficiente de Rugosidad de Manning

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Coeficiente de Rugosidad de Manning
1	Camino de Santa Bárbara	Vallado Pinares	0.042
		Vallado Santa Bárbara Sur	0,042
		Vallado Santa Bárbara Norte	0.042
2	La Carolina	Vallado Camino La Carolina	0.042
		Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.042
		Vallado Santa Bárbara	0.042
		Vallado La Lucerna Oriental	0.042
3	Camino El Rodadero	Vallado Camino El Rodadero	0.042
		Vallado Camino De Piedra En Cerca	0.042
4	Camino La Carlina	Vallado Camino La Carlina	0.042
5	Camino Alejandría Volador	Vallado Camino Al Volador	0.042
		Vallado La Lucerna Occidental	0.042
		Vallado Camino Alejandría Sur	0.042
		Vallado Camino Alejandría Norte	0.042
		Canaleta Placa Huella Sur	0.042
		Canaleta Placa Huella Norte	0.042
		Vallado Sidonia	0.042
6	Potrerito y 6 Eses	Vallado Camino De Las 6 Eses	0.042
		Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	0.042
		Vallado Vía Al Chorro	0.042
		Vallado Camino Al Cerro	0.042
		Vallado El Potrerito	0.042
		Vallado Finca La Esperanza	0.042
		Vallado Sidonia El Chorro	0.042
7	El Retiro - La Leonor	Vallado La Leonor Sur	0.042
		Vallado Camino De Cerro - Occidental	0.042
		Vallado Camino De Cerro - Oriental	0.042
		Vallado Camino Del Retiro - Sur	0.042
		Vallado Camino Del Retiro - Norte	0.042
		Vallado La Leonor Norte	0.042

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Coeficiente de Rugosidad de Manning
		Chucua de Tiquiza	0.042
8	Guanatá	Vallado Camino Guanatá	0.042
		Vallado Camino Guanatá Norte	0.042
9	Chamizo - Tambo	Vallado Chamizo Sur	0.042
		Vallado MG Tambo	0.042
10	Carrera 11 Costa Rica	Vallado Camino Costa Rica	0.042
		Vallado Camino El Pozo Norte	0.042
11	Camino Ical	Vallado Camino Ical Norte	0.042
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Vallado Camino De Guanatá	0.042
		Vallado Carrera 11 Oriental	0.042
		Vallado Carrera 11 Occidental	0.042
		Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	0.042
		Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	0.042
		Vallado Camino De Colón	0.042
		Vallado Camino Guanatá 2	0.042

8.4 CONSIDERACIONES GENERALES

A continuación, se presentan las consideraciones generales que se tuvieron en cuenta para la construcción del modelo hidráulico:

A partir de toda la información topográfica de la zona de estudio (topografía y batimetría del cauce), se constituyó el modelo geométrico (secciones transversales), empleando el subprograma HEC-GeoRAS del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, el cual permite el procesamiento de la información empleando el sistema de información geográfica Arc-GIS con el cual se establecen las secciones transversales.

El Subprograma HEC-GeoRAS, genera las secciones transversales a partir de un modelo digital de elevación del terreno.

A partir del modelo de elevaciones, se procedió a obtener las secciones transversales del cauce.

La información procesada en el subprograma HEC-GeoRAS es posteriormente cargada en el programa HEC-RAS, para realizar los análisis hidráulicos.

El flujo se supone como un flujo permanente. A partir de esta suposición, se obtienen los niveles de la superficie del agua para cada sección transversal y para cada uno de los escenarios analizados.

Coeficientes de expansión y contracción: Estos valores son los sugeridos en las referencias bibliográficas. Para el coeficiente de expansión se adoptó el valor por defecto que sugiere el software (0.30); de igual forma, para el coeficiente de contracción (0.10).

Figura 8-3 Perfil de velocidades Pinares

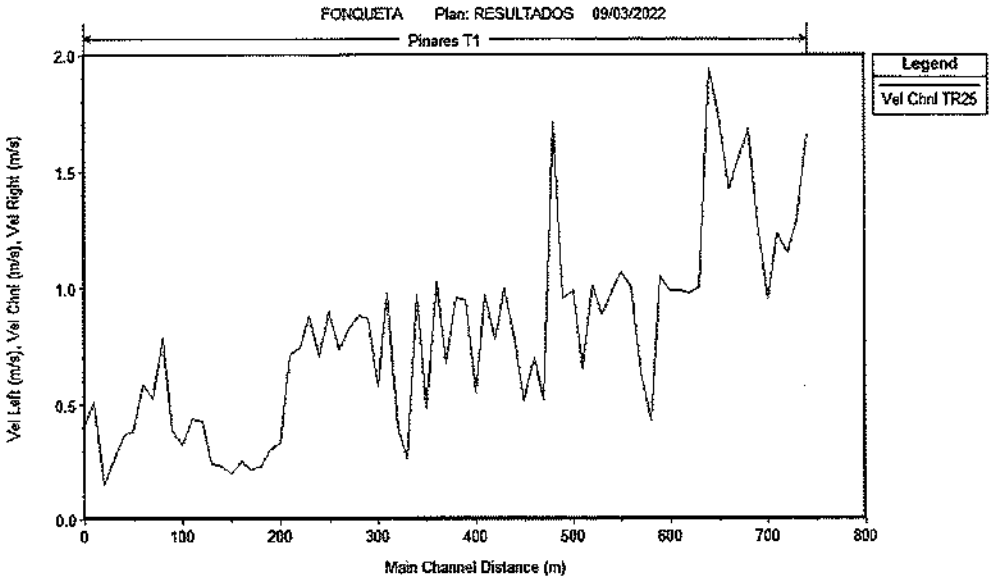


Figura 8-4 Sección transversal típica de desbordamiento Pinares

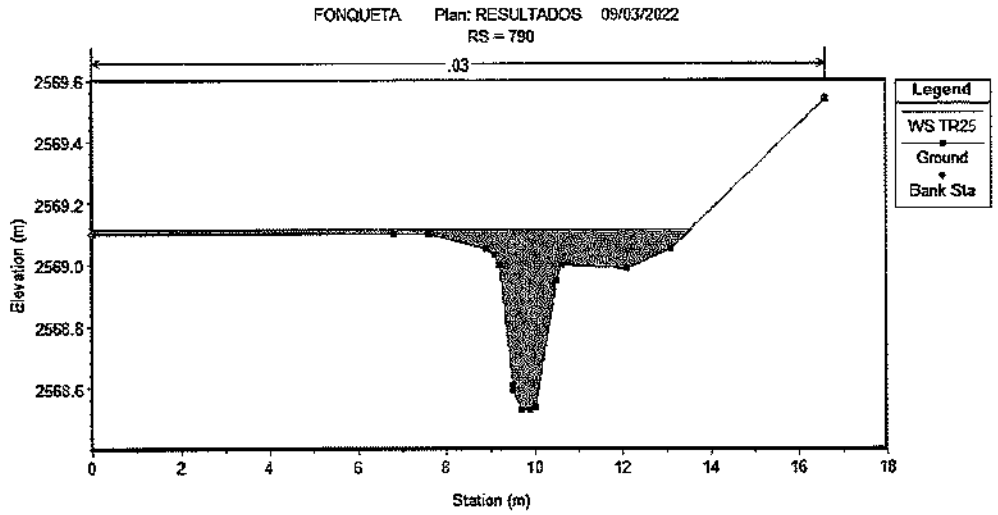
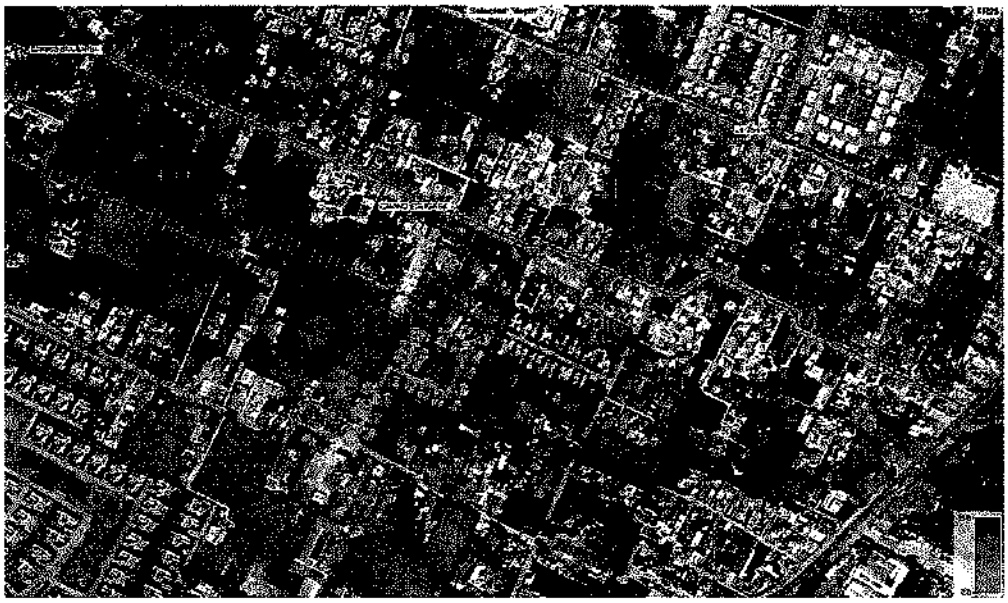


Figura 8-5 Planta general sector Camino de Santa Bárbara



Para este caudal, el flujo presenta velocidades que oscilan entre los 0.30 y 4.30 m/s, con un valor promedio a lo largo del cauce de 2.50 m/s. De acuerdo con esto, las velocidades para periodos de retorno bajos en el cauce tienden a ser altas en algunos tramos, situación que muestra la presencia de flujo supercrítico.

En cuanto a la mancha de inundación el cauce actual mantiene el flujo con desbordamientos, en general, el cauce no es capaz de transportar la creciente con período de retorno de 25 años o mayor. Esta mancha de inundación se genera, debido a que este vallado entrega a un colector de aguas residuales cuya tubería no cuenta con capacidad para recibir el caudal de aguas lluvias transitado en este canal.

Para el vallado que va por la vía Camino de Santa Bárbara en la actualidad, solo cuenta con un pequeño tramo en el cual se cuenta con la estructura del vallado. En gran parte de la vía las construcciones de viviendas están a borde de vía, por lo que este vallado no puede restituirse. De lo anterior, la vía es la que está actuando como canal para transportar el caudal de agua que vienen desde los cerros occidentales.

Para este vallado, las profundidades son un poco mayores, encontrándose en un rango entre 1.0 y 2.0 m. al igual que en los canales que están drenando de occidente a oriente por las distintas vías, es bueno mencionar que el flujo pasa de una condición de alta velocidad a una condición de baja velocidad en la zona baja por el cambio de pendiente hacia la zona plana. Para estas condiciones, las velocidades se mueven en un rango entre 0.30 a 4.50 m/s. No obstante, en la parte baja se presentan problemas de desborde del canal, sumado a la discontinuidad de este en algunos tramos, en los cuales no se cuenta con la sección transversal del canal, y las vías actúan como elementos de manejo del drenaje.

Figura 8-6 Perfil longitudinal camino de Santa Bárbara

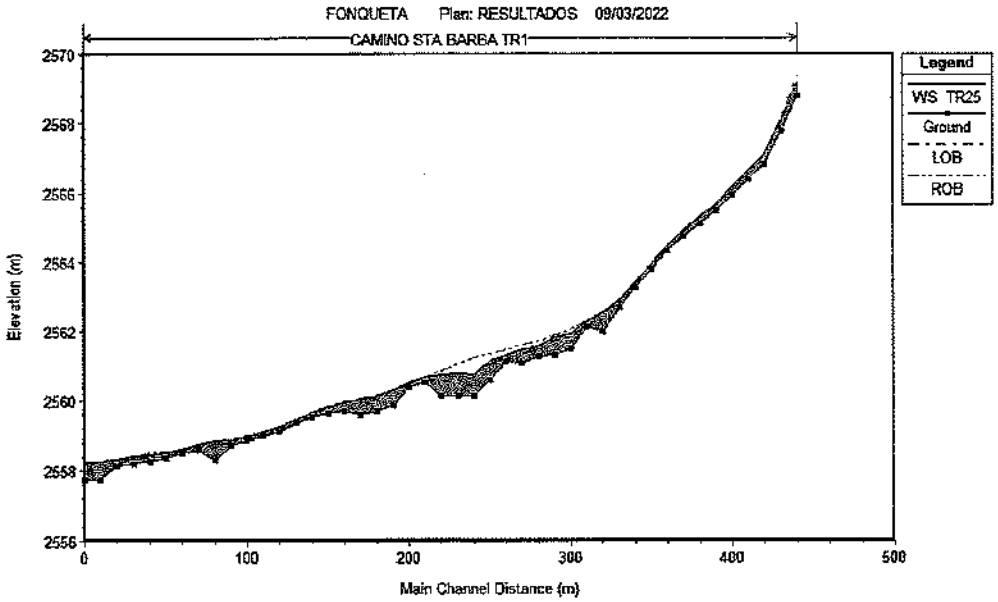


Figura 8-7 Perfil de velocidades Santa Bárbara

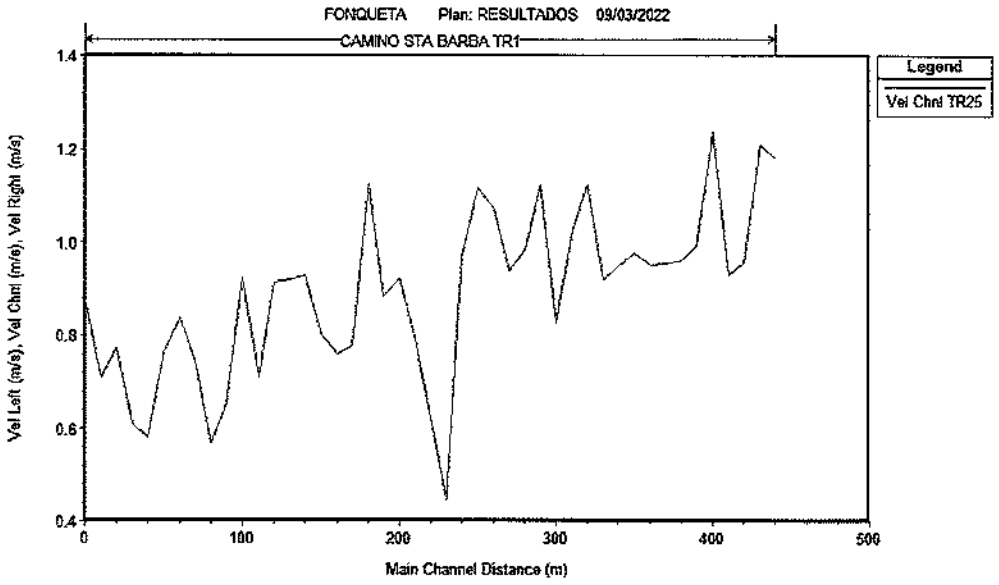
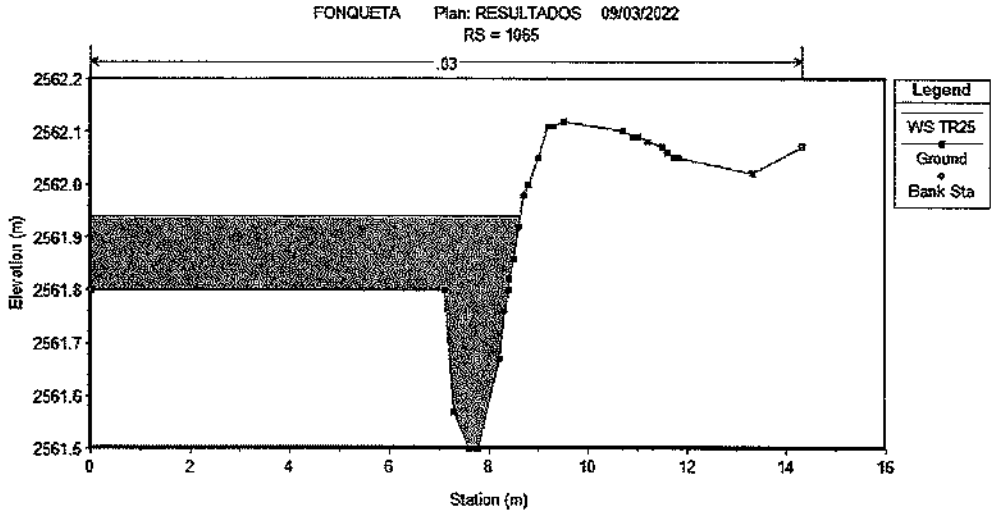


Figura 8-8 Sección transversal típica de desbordamiento Santa Bárbara



El perfil del flujo se aprecia que, en el tramo analizado la pendiente de la lámina de agua tiende a ser muy similar a la del fondo, condición que es típica para flujo uniforme, condición que se presenta en este tramo dado que la pendiente tiende a ser constante a lo largo del mismo.

Para este periodo de retorno se empieza a ver en la parte baja del cauce, una mancha de desborde hacia la margen izquierda. Este sector, de acuerdo con la imagen del ortofotomosaico, indica una zona desprovista de construcciones, la cual actúa como una zona de amortiguación de crecientes para este vallado.

8.5.2 SECTOR LA CAROLINA

El sector La Carolina, actualmente en casi todo el tramo de la vía, cuenta con la estructura del vallado. Sin embargo, en dos tramos no se cuenta con la estructura del canal: uno de ellos de 140 m y otro de 30 m para la conexión hacia la alcantarilla de 36" en la vía Chía – Cota que se conecta con el box culvert (b=1.15 m, h=0.80 m). No obstante, en estos dos tramos, es posible realizar la reestructuración del canal, de forma que se dé continuidad en el flujo.

Figura 8-9 Tramos del sector con y sin canal – La Carolina

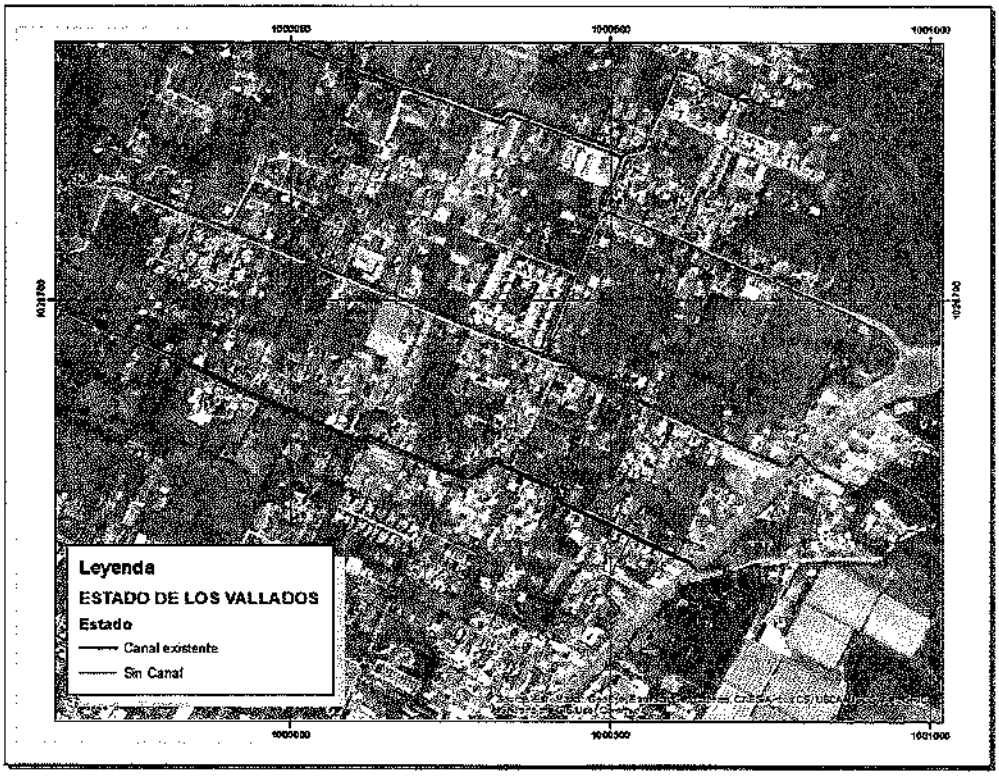


Figura 8-10 Perfil longitudinal Cerro Occidental La Carlina

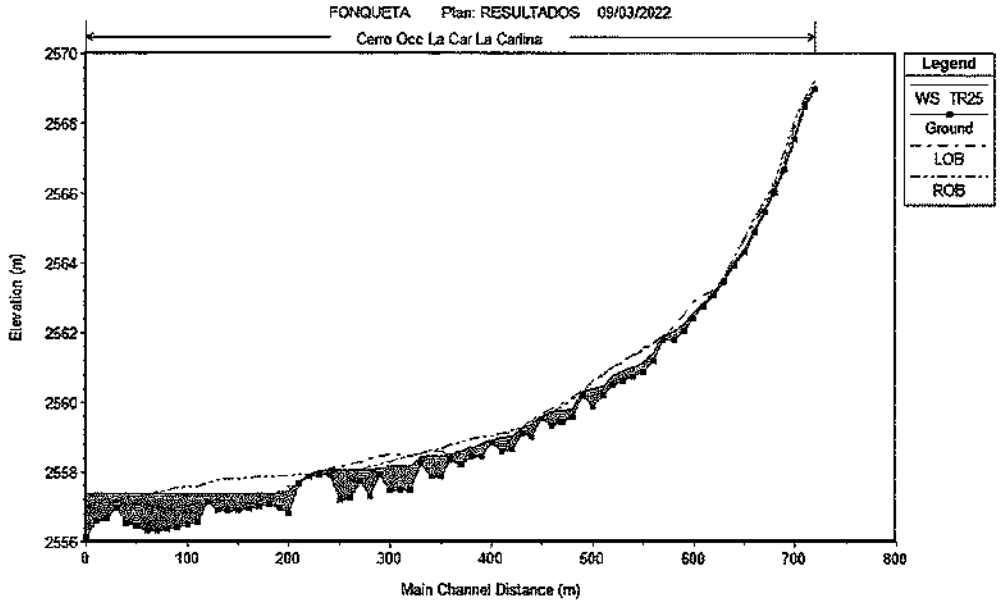
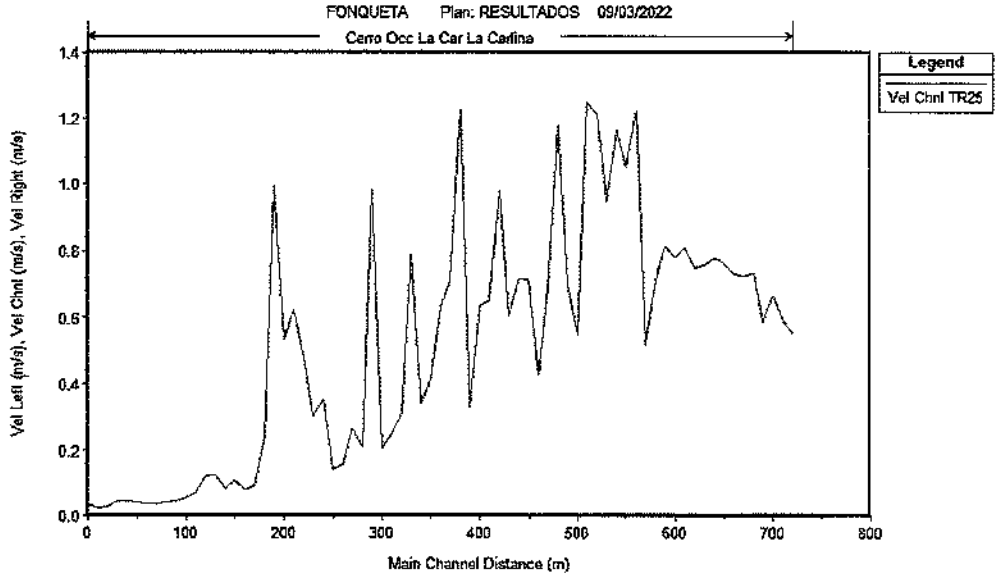


Figura 8-11 Perfil de velocidades Cerro Occidental La Carlina



Para el vallado Cerro Occidental camino La Carolina, los caudales para periodo de retorno de 25 años son relativamente altos, por tanto, el vallado está transportando caudales con velocidades del

flujo en algunos casos cercanas a los 1.2 m/s, velocidades relativamente altas, en su tramo intermedio.

Para este caudal, se presentan pequeños desbordes especialmente en la parte media y baja y se empieza a notar claramente que el área afectada en la parte baja, se aumenta, quedando la vía en su totalidad con una lámina de agua.

Figura 8-12 Sección transversal típica de desbordamiento Cerro Occidental La Carlina

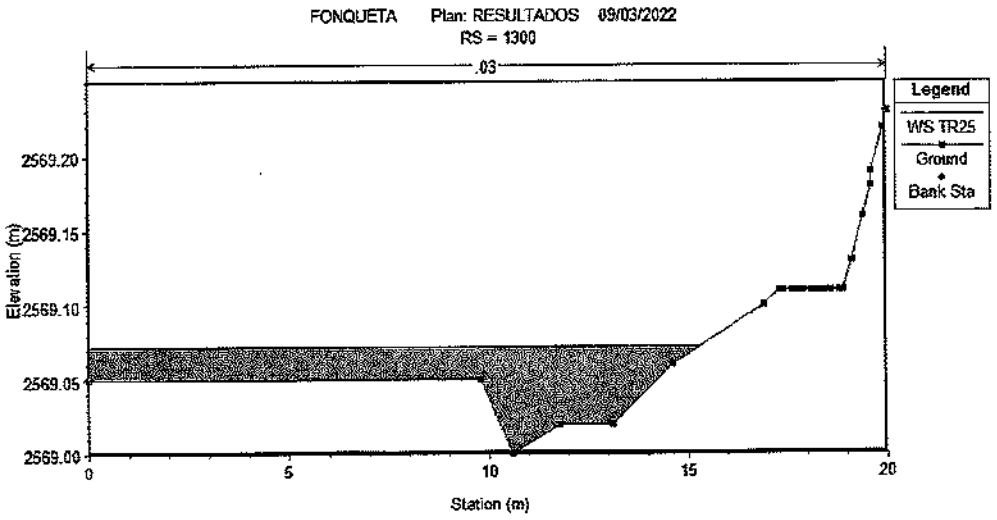
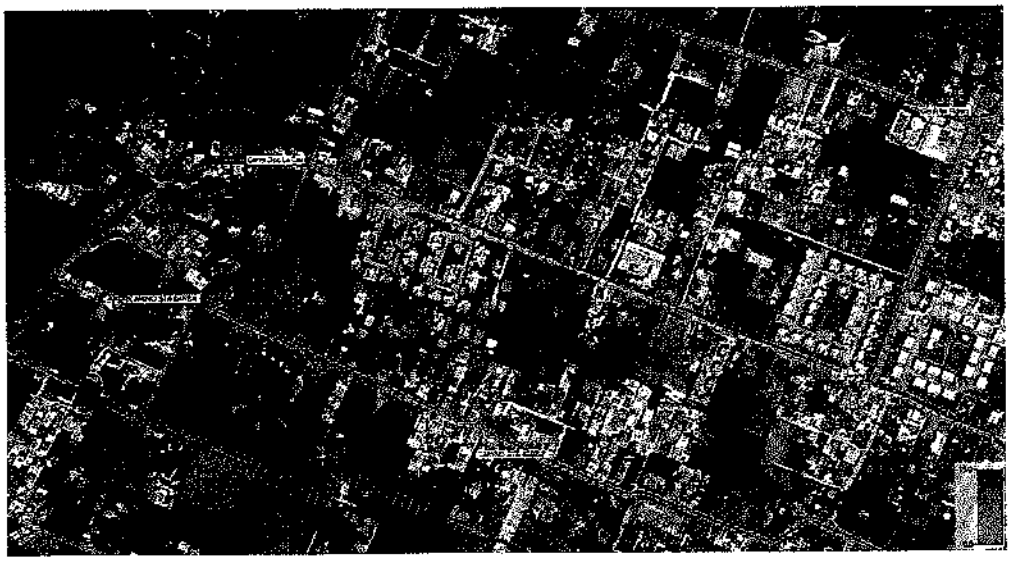


Figura 8-13 Planta general Cerro Occidental La Carlina



No obstante, es importante señalar que la estructura del canal se puede reconformar en su longitud, de forma que se puedan transportar los caudales que se presentan en este sector.

En la parte baja del vallado Cerro Occidental Camino La Carolina, que vienen por la vía Cerro Occidental hacia La Carlina y continúan hacia el río, al ser un vallado en zona baja, su pendiente también lo es, y por ende, presenta profundidades altas cercanas a 1.0 m, y velocidades bajas, con valores entre 0.02 y 0.07 m/s. Esta condición es típica de canales con flujo subcrítico. No obstante, esta condición, sumada a la falta de capacidad de la sección transversal, implica que el canal se desborda sobre la vía.

Figura 8-14 Perfil longitudinal Camino La Carolina sector bajo

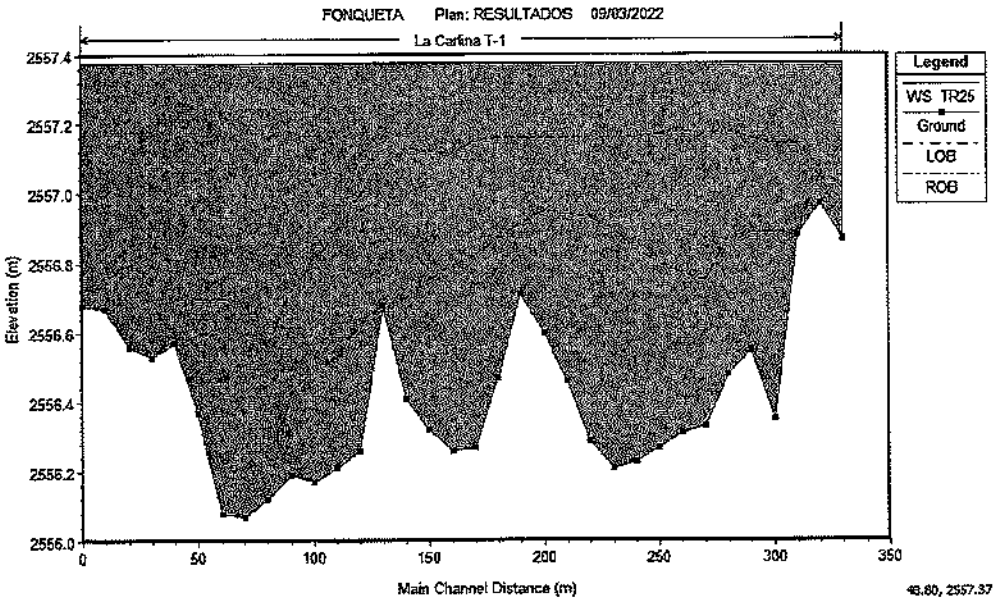


Figura 8-15 Perfil de velocidades Camino La Carolina sector bajo

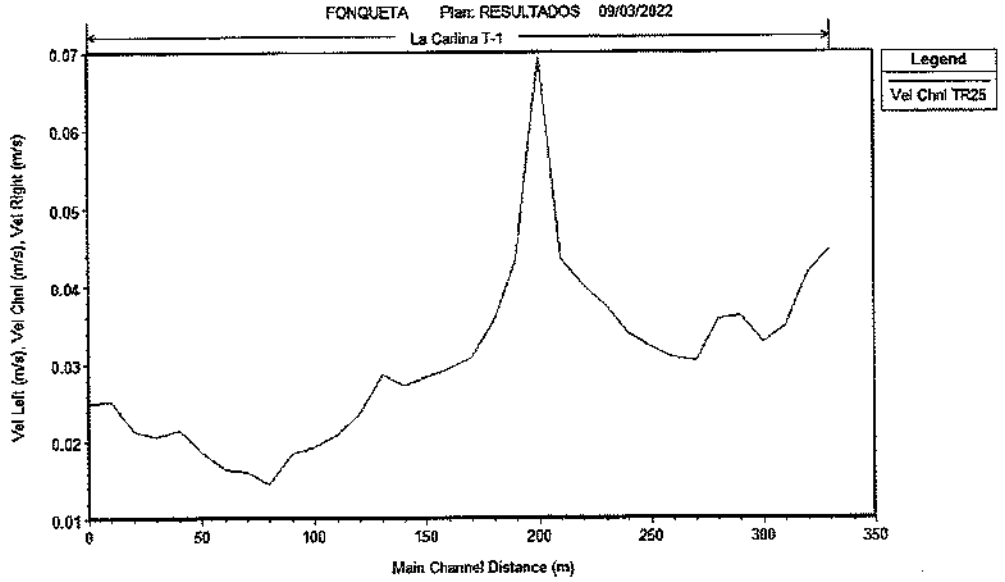


Figura 8-16 Sección transversal típica de desbordamiento Camino La Carolina sector bajo

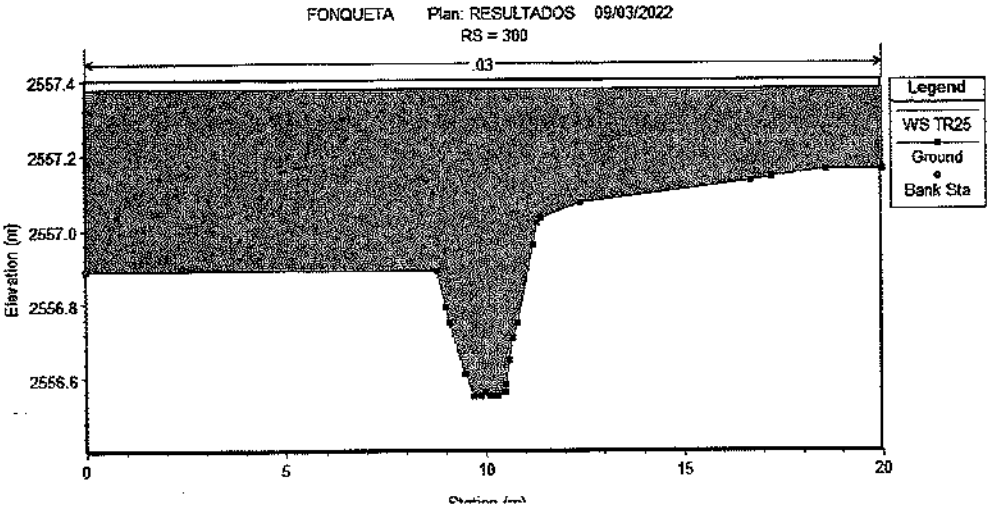


Figura 8-17 Planta general Camino La Carolina sector bajo



8.5.3 SECTOR CAMINO EL RODADERO

Este vallado baja también desde el cerro occidental, y entrega su aporte al río. Al ser un vallado en zona baja, su pendiente también lo es, y por ende, presenta profundidades altas cercanas a 1.2 m en su parte media, zona en la cual las velocidades son bajas, con valores inferiores a 0.20 m/s. en su parte inicial y final, las velocidades son cercanas a 1.5 m/s. los resultados indican que el vallado tiene una deficiencia en la capacidad hidráulica de la sección transversal lo que implica que el canal se desborda sobre la vía.

Figura 8-18 Perfil longitudinal Camino El Rodadero

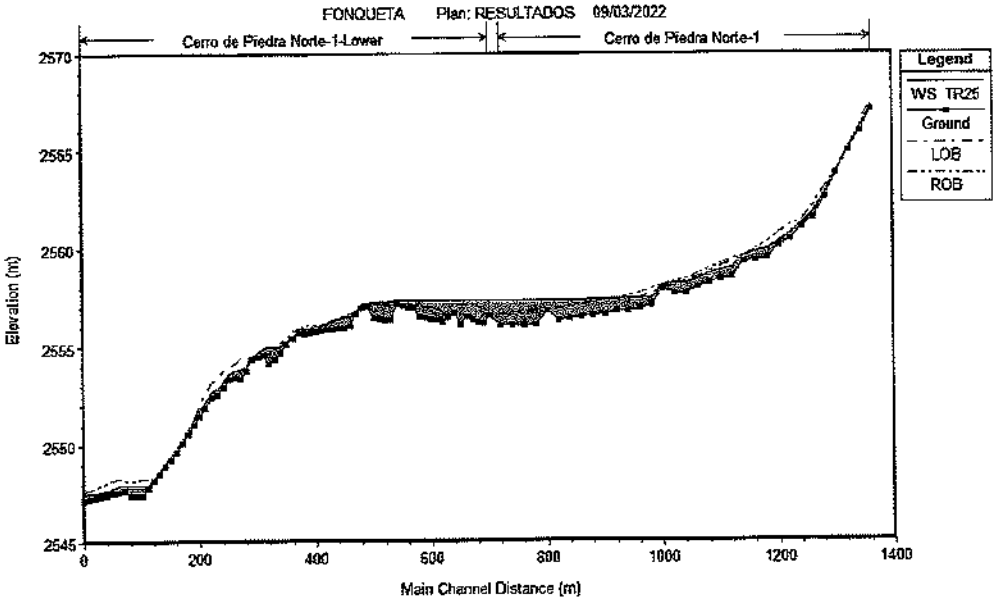


Figura 8-19 Perfil de velocidades Camino El Rodadero

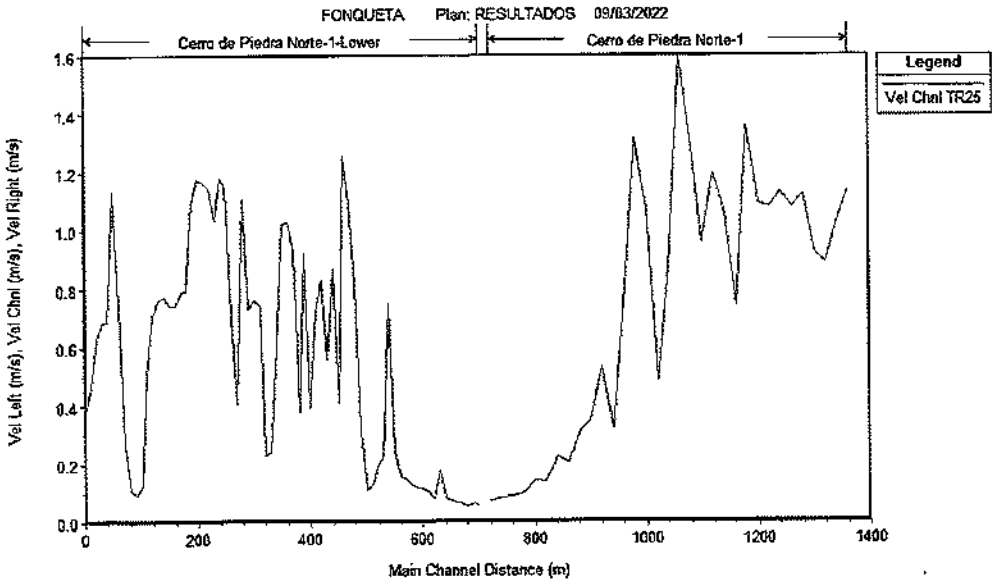
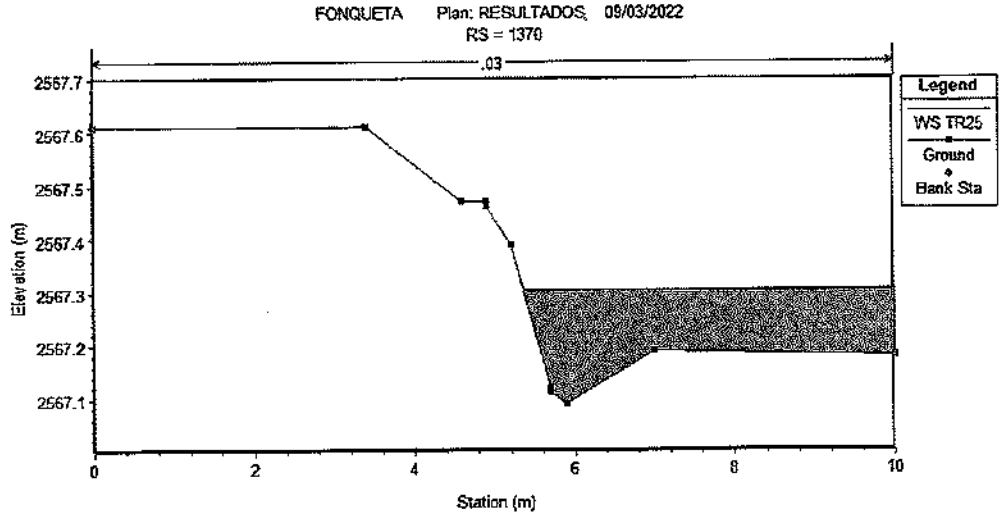


Figura 8-20 Sección transversal típica de desbordamiento Camino El Rodadero



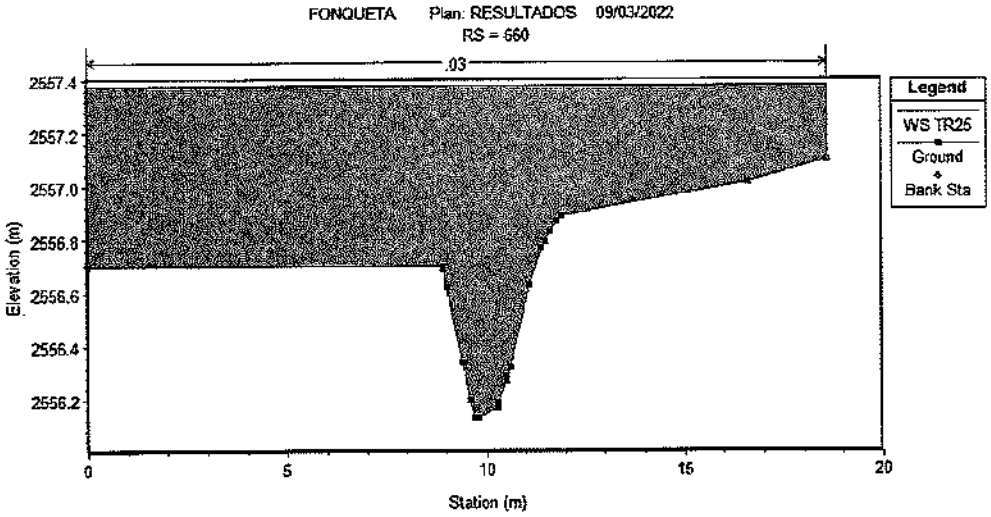
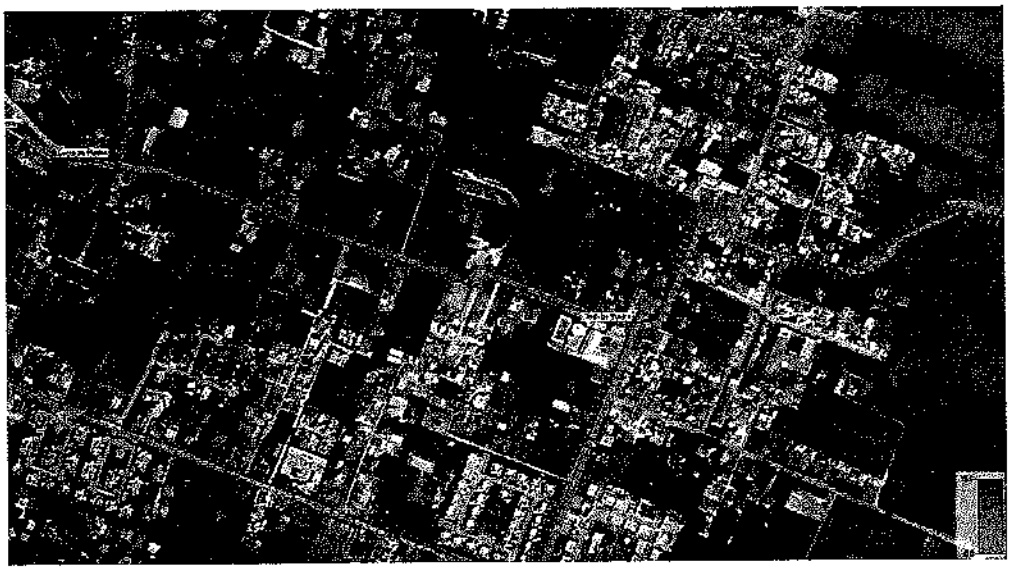


Figura 8-21 Planta general Camino El Rodadero



8.5.4 SECTOR LA CARLINA

Para este vallado, la intervención de las viviendas, las cuales están a borde de vía, no permite que se realice una recuperación de la estructura del canal, dado que no hay espacio en el tramo de 885 m, hasta la vía a Fonquetá. Debido a esta condición, el flujo de agua, va por la vía, y en algunos casos se introduce este a la red de alcantarillado sanitario por medio de unos sumideros incipientes en el sector.

Para el tramo final de este sector, entre la vía a Fonquetá y el río Frío, se cuenta con el espacio para poder reconformar el canal, dada la baja intervención, que permite reconformar el cauce.

Las condiciones hidráulicas para este sector, para un periodo de retorno de 25 años, muestran resultados acentuados de inundación, debido a que el caudal induce profundidades del flujo y velocidades altas, notorias en el lleno total del ancho de vía que indica un desborde de este canal. Las velocidades se encuentran en un rango de 0.10 a 0.70 m/s, lo que indica unas velocidades son moderadas, pero con potencial para generar procesos de socavación o de inestabilidad en las laderas.

Figura 8-22 Tramos del sector con y sin canal – La Carlina



Figura 8-23 Perfil longitudinal La Carlina

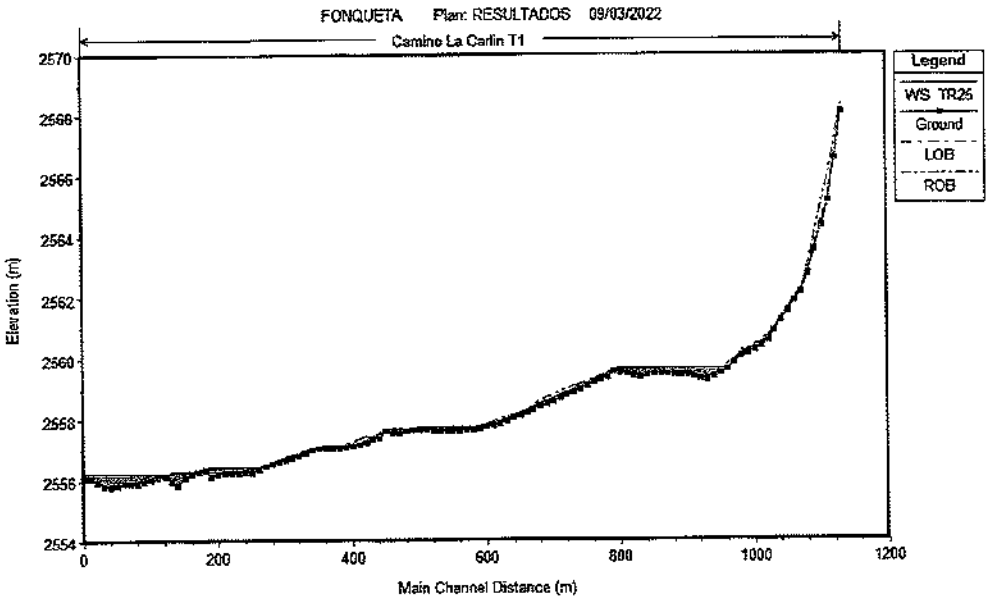


Figura 8-24 Perfil de velocidades La Carlina

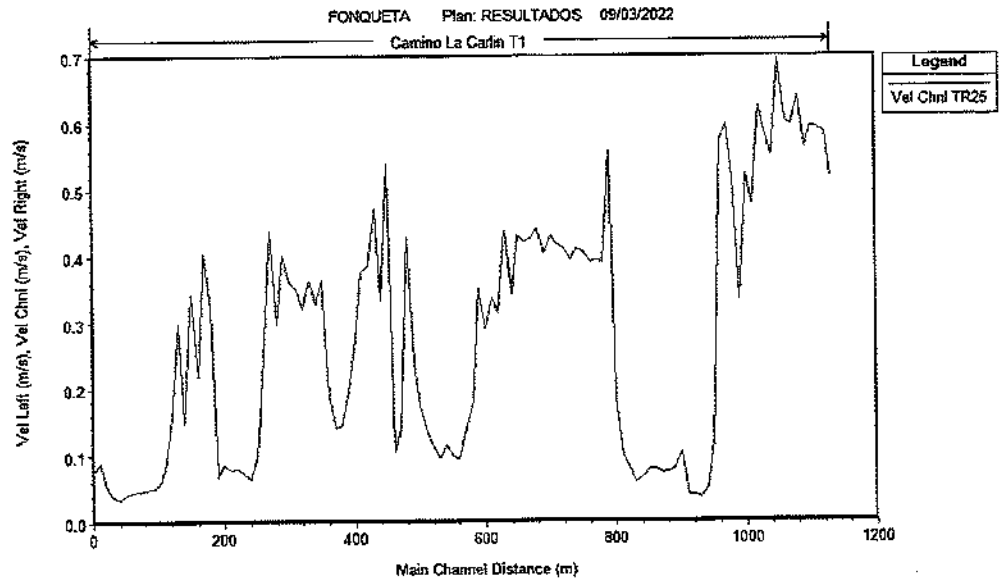


Figura 8-25 Sección transversal típica de desbordamiento La Carlina

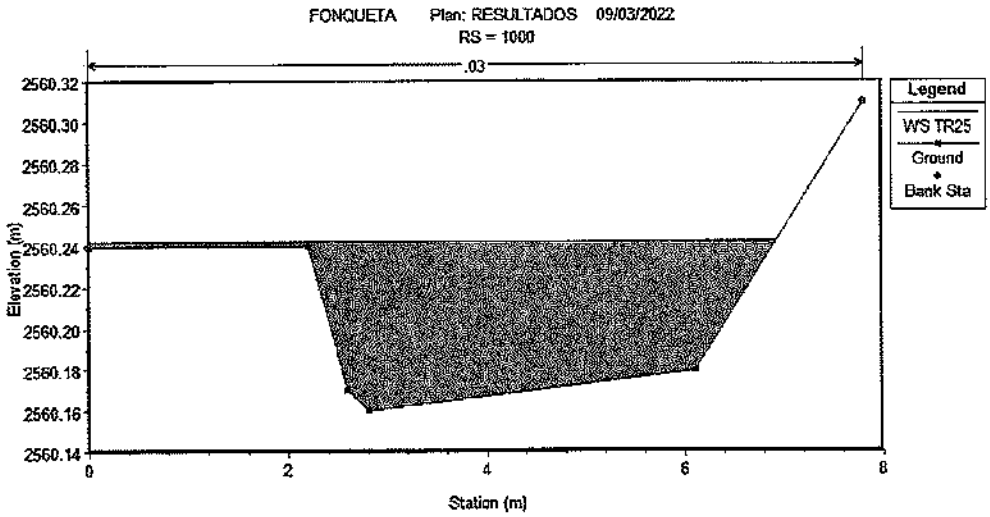
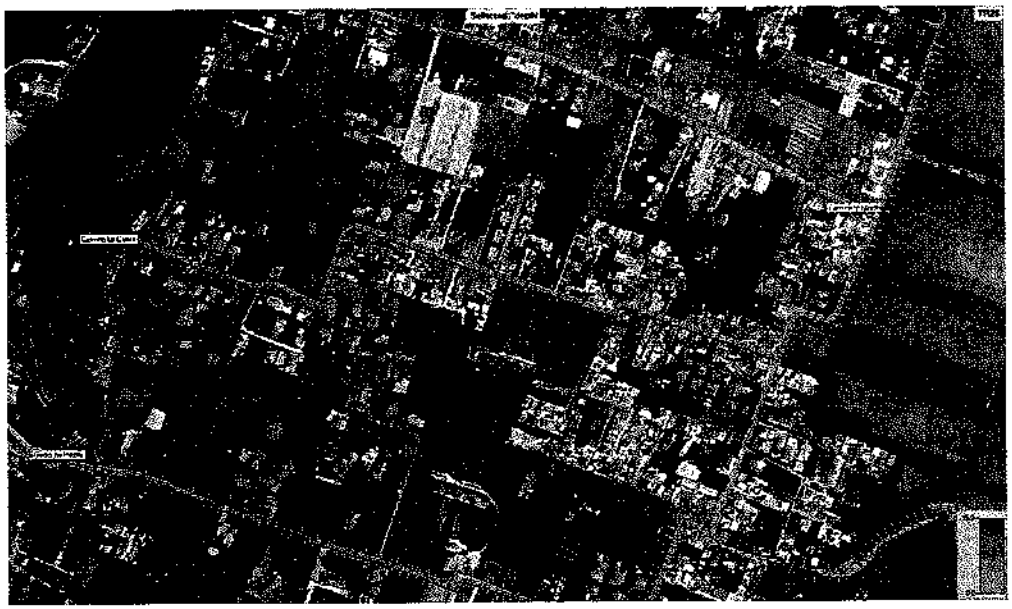


Figura 8-26 Planta general La Carlina



Las Figuras anteriores muestran que, para este canal las manchas de inundación incrementan su magnitud especialmente en las áreas inundadas en la parte baja del canal, y aumentando las profundidades en esta parte del mismo. Este aumento, se aprecia también en la velocidad del flujo.

8.5.5 SECTOR ALEJANDRÍA – EL VOLADOR

En la vía el Volador, se tiene en gran parte, que la estructura del vallado es de muy baja profundidad en los sectores donde el mismo se puede apreciar. En términos generales, las áreas para este vallado están muy cercanas a las viviendas, por lo que la reconformación con sección de baja profundidad no sería lo más eficiente. Adicional, en un tramo aledaño entre el Colegio Montessori y el CIC de cerca de 300 m, la estructura del vallado no existe. El flujo en esta vía es llevado por la red de alcantarillado sanitario existente en el sector.

A continuación, se presentan las figuras del perfil longitudinal del vallado Camino Al Volador, la planta general de manchas de inundación y las condiciones particulares que se generan en la parte media y baja de este cauce. En este sentido, lo que se aprecia es que en general, para este periodo de retorno, las condiciones simplemente son de desbordamiento y de flujo a lo largo de la vía.

Se destaca que, para el caso de los pasos viales, las estructuras de alcantarillas presentan alturas del flujo que pasan por encima de la cota clave de la estructura afectando su capacidad hidráulica, la cual es insuficiente.

Figura 8-27 Perfil longitudinal Camino al Volador

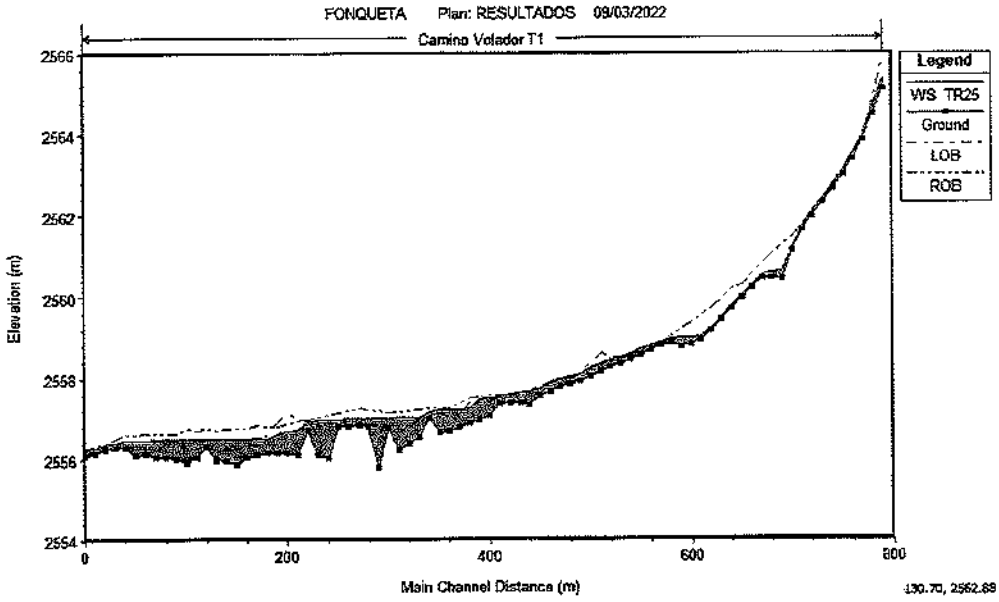


Figura 8-28 Perfil de velocidades Camino al Volador

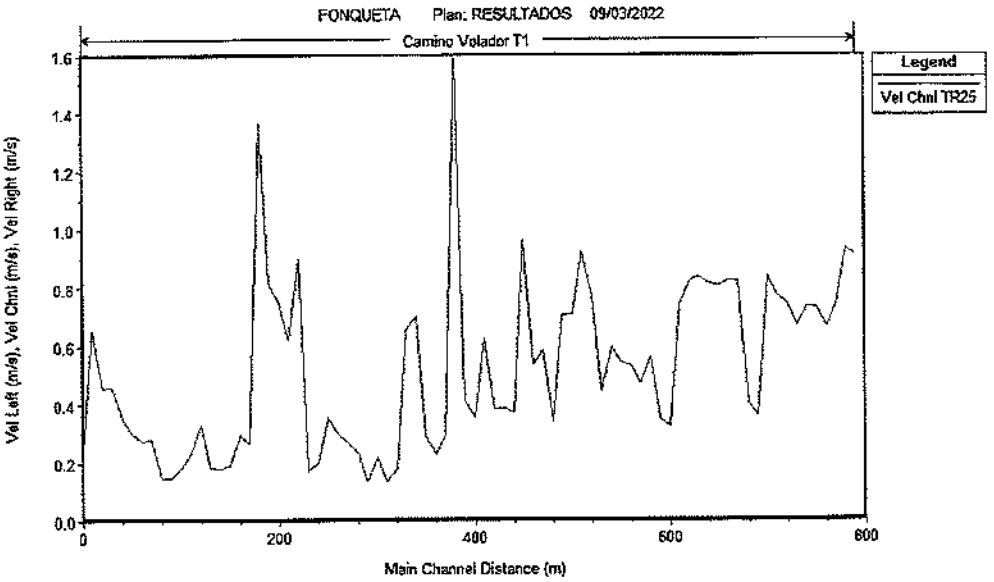


Figura 8-29 Sección transversal típica de desbordamiento Camino al Volador

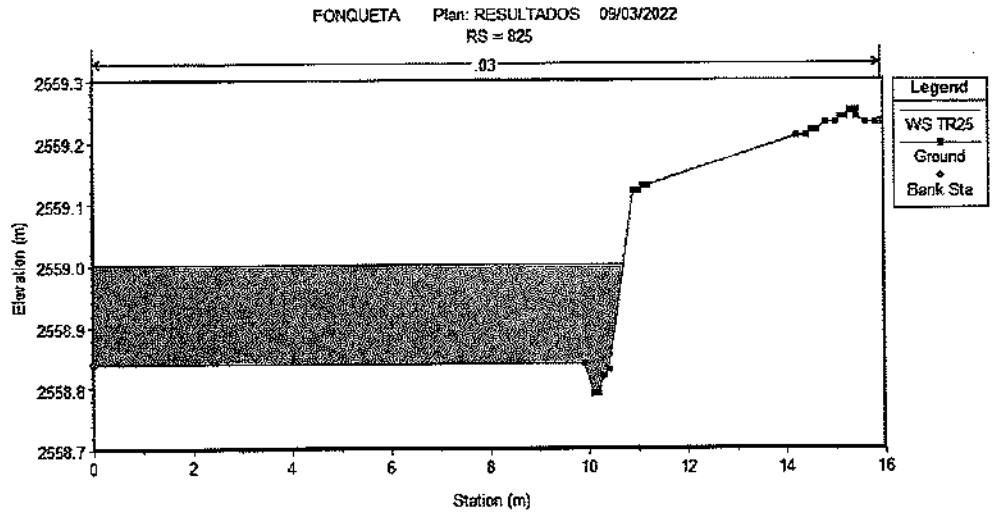


Figura 8-30 Planta general Camino al Volador



Teniendo en cuenta que la estructura del canal es de baja profundidad y que el mismo no cuenta con espacio suficiente para poder mantener el vallado, se hace necesario darle una alternativa de solución por medio de un sistema de alcantarillado pluvial.

Este vallado baja del cerro occidental, con característica de ser un vallado en zona alta, con una pendiente longitudinal alta, y por ende, presenta profundidades bajas con velocidades altas. Esta condición es típica de canales con flujo supercrítico.

Figura 8-31 Perfil longitudinal Placa Huella Vía La Valvanera

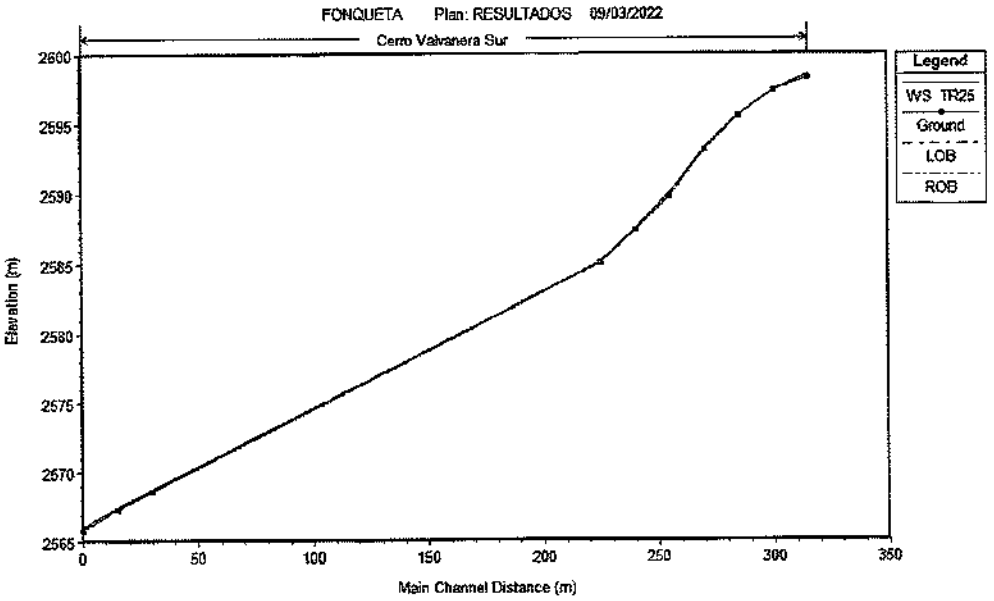


Figura 8-32 Perfil de velocidades Placa Huella Vía La Valvanera

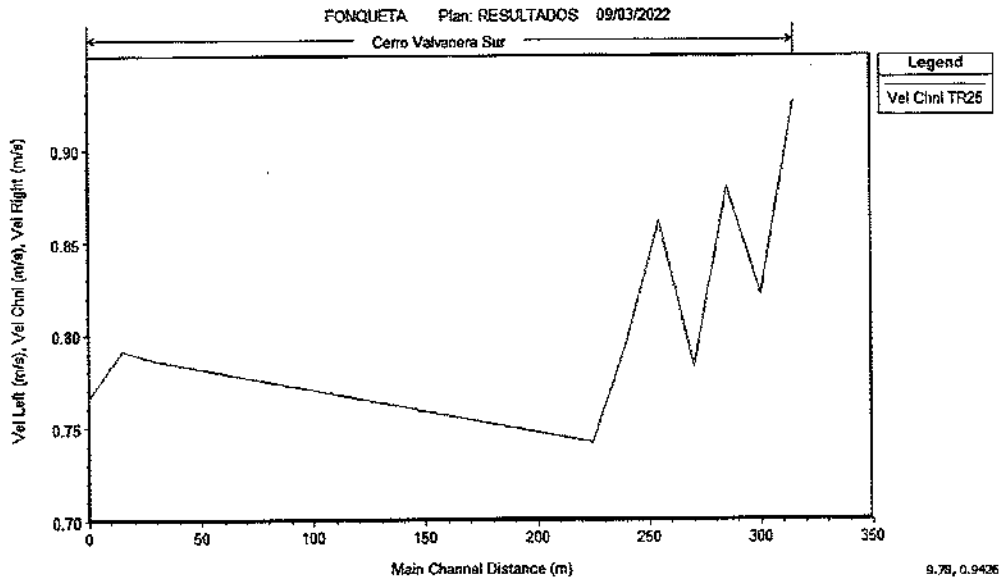


Figura 8-33 Sección transversal típica de desbordamiento Placa Huella Vía La Valvanera

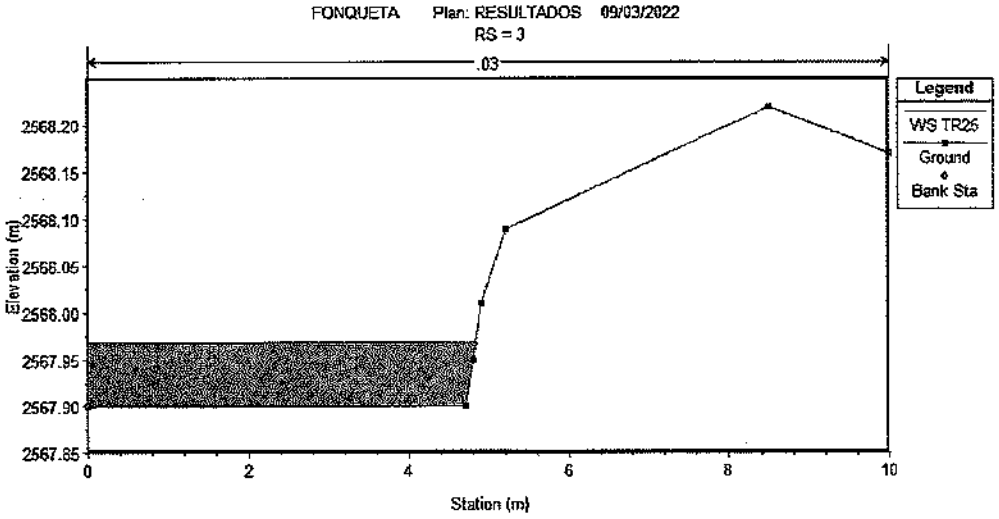
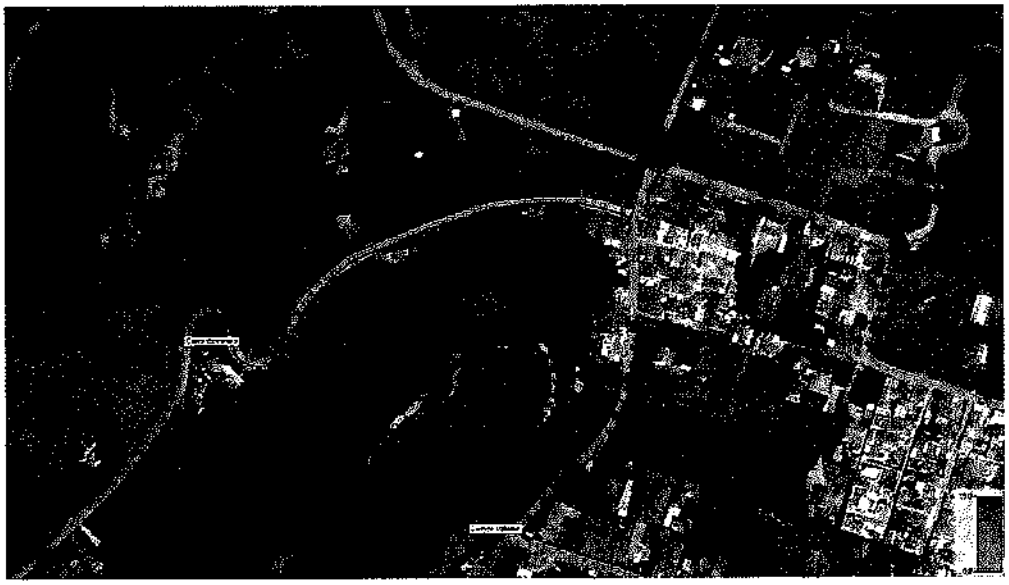


Figura 8-34 Planta general Placa Huella Vía La Valvanera



9 INVENTARIO DE VERTIMIENTOS

Con la topografía se identificaron a lo largo de los vallados diferentes tuberías de descarga, de las cuales se identificaron su diámetro y se georreferenciaron, construyendo la base de datos de estos.

Teniendo en cuenta las características de cada Vallado, en el Anexo ANE_DIAG1 FICHAS, se presentan las características de mayor relevancia para cada vallado, como las coordenadas de inicio y final de cada vallado, con el fin de poder ubicarlos espacialmente, la descripción del mismo, entre otros.

A continuación, se presenta el inventario de los vertimientos hacia cada vallado.

Tabla 9-1. Inventario de vertimientos.

Nombre	Longitud levantada (km)	Inicio	Final	Vertimientos
Vallado Pinares	0.83	K0+828.24	K0+000	No identificados
Vallado Santa Barbara Sur	1.22	K1+215.076	K0+000	No identificados
Vallado Santa Barbara Norte	0.85	K0+851.77	K0+000	K0+001.76 Tubería en PVC Φ0.15 M. Cota CC 2556.27 K 0+002.74 Tubería en GRES Φ0.20 M. Cota CC 2556.15 K 0+007.71 Tubería En GRES Φ0.20 M. Cota CC 2556.13 K 0+011.40 Tubería En GRES Φ0.35 M. Cota CC 2556.24 K 0+013.22 Tubería En GRES Φ0.35 M. Cota CC 2556.09
Vallado Camino La Carolina	0.136	K0+136.35	K0+000	No Identificados
Vallado Cerro Occidental Camino La Carlina	1.31	K1+306.906	K0+000	No identificados
Vallado Santa Barbara	0.521	K0+521	K0+000	No identificados
Vallado La Lucerna Oriental	0.341	K0+341	K0+000	No identificados
Vallado Camino El Rodadero	0.796	K0+795	K0+000	No identificados
Vallado Camino De Piedra En Cerca	1.383	K1+380	K0+000	No identificados

Nombre	Longitud levantada (km)	Inicio	Final	Vertimientos
Vallado Camino La Carlina	1.146	K1+416	K0+000	No identificados
Vallado Camino Al Volador	1.033	K1+032	K0+000	No identificados
Vallado Lucerna Occidental	0.127	K 0 +127.89	K0+000	K0+015 Tubería en PVC φ0.4 m. Cota CC 2555.38
Vallado Camino Alejandría Sur	0.91	K 0 +910	K0+000	No identificados
Vallado Camino Alejandría Norte	0.86	K 0 +860	K0+000	No identificados
Vallado Canaleta Placa Huella Sur	0.34	K 0 + 340	K0+000	No identificados
Vallado Canaleta Placa Huella Norte	0.36	K 0 + 365	K0+000	No identificados
Vallado Sidonia	0.36	K 0+360	K0+000	
Vallado Camino De Las 6 Eses	0.435	K 0+435	K0+000	K0+435 Tubería en Concreto φ 0.3 m. Cota CC 2559.15
Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	0.334	K 0+334	K0+000	No identificados
Vallado Vía Al Chorro	0.3	K 0+300	K0+000	No identificados
Vallado Camino Al Cerro	0.36	K0+359.85	K0+000	No identificados
Vallado El Potrerito	0.841	K 0+840	K0+000	No identificados
Vallado Finca La Esperanza	0.092	K0+92.05	K0+000	No identificados
Vallado Sidonia El Chorro	0.293	K0+293.03	K0+000	K 0+293.03 Vallado Camino de las Eses 6 Sur
Vallado La Leonor Sur	0.415	K0+415.08	K0+000	No identificados

Nombre	Longitud levantada (km)	Inicio	Final	Vertimientos
Vallado Camino De Cerro - Occidental	2.73	K2+73.28	K0+000	K 1 + 755.04 Vallado Camino de Retiro - Chucua de Tiquiza K1 + 743.24 Vallado Camino de Retiro
Vallado Camino De Cerro - Oriental	0.693	K0+693.15	K0+000	No identificados
Vallado Camino De Retiro - Sur	1,555	K1+554.94	K0+000	No identificados
Vallado Camino De Retiro - Norte	15.98	K1+598.68	K0+000	No identificados
Vallado La Leonor Norte	0.722	K0+722.54	K0+000	K 0 + 299.17
Vallado Charnizo	0.582	K0+582.47	K0+000	No identificados
Chucua de Tiquiza	0.883	K0+882.56	K0+000	K0+882.56
Vallado Mg Tambo	1,424	K1+424	K0+000	No identificados
Vallado Carrera 11 Oriental	1,236	K1+235.77	K0+000	No identificados
Vallado Carrera 11 Occidental	0.148	K0+148.22	K0+000	No identificados
Vallado Camino Guanatá Sur	1,127	K1+127.270	K0+000	K 0 + 479.70 Vallado Camino Guanatá 2
Vallado Camino Guanatá Norte	1,109	K1+109.22	K0+000	No Identificados
Vallado Camino Costa Rica	1,019	K1+019.23	K0+000	No Identificados
Vallado Camino El Pozo Norte	0.306	K0+305.60	K0+000	No Identificados
Vallado Camino Ical Norte	0.86	K0+859.605	K0+000	No Identificados

Nombre	Longitud levantada (km)	Inicio	Final	Vertimientos
Vallado Camino De Guanatá	0.277	K0+277.23	K0+000	No Identificados
Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	0.467	K0+467.34	K0+000	No Identificados
Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	0.321	K0+320.76	K0+000	No Identificados
Vallado Camino De Colón	0.16	K0+159.54	K0+000	No identificados
Vallado Camino Guanatá 2	0.308	K0+307.66	K0+000	No Identificados

10 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA RED DE VALLADOS DEL MUNICIPIO.

De acuerdo (Burbano & Gil, 2011) encontrado en (Castillo Cardona & Vargas Vásquez, 2019), los canales de aguas lluvia son asechados por múltiples problemas, tales como, el uso inadecuado del canal de aguas lluvias producto de la contaminación directa por residuos sólidos, disposición inadecuada de escombros, quemas, deslizamientos, asentamientos humanos de desarrollos incompletos, estancamiento de las aguas lluvias. Dada la interacción de las comunidades asentadas cerca de los canales con los mismos, la población aledaña recibe tanto los servicios ambientales de soporte y regulación (aire limpio, el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos, mantenimiento de la calidad del agua) como los impactos negativos de una operación inapropiada, por ejemplo, contaminación visual, malos olores y presencia de vectores, entre otros.

Como principales impactos ambientales de los vallados en estudio se identifican:

Inundaciones: Dada la pérdida de conectividad de cada vallado, los problemas de colmatación por falta de mantenimiento, la densificación de las zonas rurales por el crecimiento de la vivienda que ha cambiado la cobertura del suelo y su capacidad de almacenamiento, es común que durante eventos de precipitación ordinarios se generen encharcamiento en las zonas aledañas a los vallados, afectando entre otras y de manera transitoria la movilidad y en algunos casos como el vallado de la vía Guanatá, dañando enseres de las viviendas cercanas.

Contaminación del agua: Esto por la presencia de descarga puntuales y difusas de aguas residuales en el sistema de vallados, adicional a la contaminación de primer lavado, que terminan generando aportes de materia orgánica, patógenos, sólidos en suspensión, entre otros, a cuerpos de agua naturales, tales como el Río Frío, la Chucua de Tíquiza, y el río Bogotá.

Generación de vectores: La acumulación de residuos sólidos y estancamiento de aguas genera la proliferación de vectores como roedores, mosquitos y cucarachas los cuales son portadores de enfermedades cutáneas, gástricas, visuales, respiratorias e infecciones a la comunidad aledaña a los canales de aguas lluvias, entre otras enfermedades (Burbano, D. 2011).

Contaminación atmosférica: Los residuos sólidos inadecuadamente dispuestos en los vallados se descompone generando malos olores y biogas (CH_4 y CO_2), este último compuesto por gases efecto invernadero.

Contaminación visual: Según (Moreno, 2017) la contaminación visual hace referencia al cambio o desequilibrio en el paisaje ya sea natural o artificial el cual afecta las condiciones de vida y las funciones vitales de los seres, distorsionando la observación del paisaje; dicha contaminación parte de todo aquello que afecte o perturbe la visualización de algún sitio, zona o paisaje. En sentido con lo anterior, uno de los impactos más significativos que generan los vallados es la contaminación visual por la acumulación de residuos sólidos y basuras, que afectan el paisaje.

11 CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA

Como conclusión general los vallados requieren manteniendo general, recuperar la conexión, y de manera puntual para algunos de ellos reconformación para recuperación de la capacidad hidráulica.

Así mismo, en algunas zonas donde no se cuenta ya con espacio para reconformar el canal, se concluye que es necesaria la construcción de un sistema de alcantarillado pluvial que sea el que transporte los caudales de los diferentes sectores.

De igual forma, en forma general, en los casos en los que se puede implementar la reconformación del vallado, es necesario también ajustar los pasos de vías y entradas a los predios, de forma que se dé continuidad al flujo de agua, y no se generen represamientos que puedan ocasionar desborde del canal.

A continuación, se presentan las conclusiones por sectores:

Sector Camino de Santa Bárbara – Cerca de Piedra

Para el sector, el vallado Pinares, cuenta con su totalidad de longitud con un tramo donde existe el canal. Este vallado en particular, está entregando su caudal a la red de aguas residuales sobre la vía Camino de santa Bárbara.

Actualmente para el paso de la vía Chía – Cota, la concesión vial tiene construida una alcantarilla de 36", que es la que le permite al agua dirigirse hacia el río Frío. Sin embargo, aguas abajo del cabezal de salida de esta estructura, se cuenta con un tramo de canal de no más de 30 m, el cual finaliza hacia la vía o carreteable de la Subestación Cacique de Codensa, que va hacia el río Frío, y por el cual circula el agua, actuando este como un canal.

Para el camino Santa Bárbara, dado que no se cuenta con espacio para poder reconformar el vallado, por las limitaciones de espacio, se propone implementar un sistema de alcantarillado pluvial, con conexión hasta el río Frío.

Sector La Carolina

Para este sector, que corresponde a la vía hacia el condominio La Carolina, es importante señalar que la estructura del canal se puede reconformar en toda su longitud, de forma que se puedan transportar los caudales que se presentan en este sector. El tramo final sobre la vía Chía – Cota de 30 m, también debe ser reconformado hasta el paso vial de 36".

Sector Camino El Rodadero

El canal en su longitud total, cuenta con el espacio para poder ser reconformado. Teniendo en cuenta que los resultados mostraron que en algunos sectores se presenta una baja capacidad hidráulica, es necesario reconformar la sección transversal, ampliando la misma y ajustando los pasos de las entradas hacia los predios.

Sobre esta vía, la reconformación del canal se debe realizar en su gran mayoría por el costado norte de la vía, que es la zona en la que se cuenta con mayor espacio para la recuperación de la funcionalidad hidráulica.

Sector Camino La Carlina

Para este vallado, la intervención de las viviendas, las cuales están a borde de vía, no permite que se realice una recuperación de la estructura del canal, dado que no hay espacio en el tramo de 885 m, hasta la vía a Fonquetá. Debido a esta condición, el flujo de agua, va por la vía, y en algunos casos se introduce este a la red de alcantarillado sanitario por medio de unos sumideros incipientes en el sector.

Para poder drenar este sector, dado que no se cuenta con espacio para la recuperación del vallado, es necesaria la construcción de un sistema de alcantarillado pluvial. En su parte baja, desde la vía a Fonquetá hacia el río Frío, existe espacio suficiente para reconformar el canal.

Sector Camino Alejandría Volador

En la vía el Volador, se tiene en gran parte, que la estructura del vallado es de muy baja profundidad en los sectores donde el mismo se puede apreciar. En términos generales, las áreas para este vallado están muy cercanas a las viviendas, por lo que la reconformación con sección de baja profundidad no sería lo más eficiente. Adicional, en un tramo aledaño entre el Colegio Montessori y el CIC de cerca de 300 m, la estructura del vallado no existe. El flujo en esta vía es llevado por la red de alcantarillado sanitario existente en el sector. En la vía al volador se recomienda implementar un sistema de alcantarillado pluvial.

Uno de los puntos críticos de este sector corresponde a la parte baja donde termina la estructura de placa huella de la vía a La Valvanera, dado que esta vía está actuando como un canal. En ese sentido, para minimizar los efectos del flujo de agua que llega hasta las viviendas, es necesaria la construcción de una rejilla de fondo o sumidero de fondo transversal a la estructura de la placa huella en su parte final, que se conecte hacia los vallados del sector.

En el caso de la vía Alejandría, teniendo en cuenta que se tiene espacio para reconformar el vallado de esta vía en sus dos costados, se recomienda reconformarlo como una estructura de baja profundidad en el costado sur, y con profundidad media en el costado norte, en el cual no se cuenta con muchas viviendas aledañas a la vía.

Sector Potrerito y 6 Eses

El sector de las 6 eses, es un sector que cuenta con una baja densificación de viviendas, por lo que las estructuras de los vallados, fácilmente se pueden recuperar para dar funcionalidad hidráulica a las mismas.

Adicionalmente, en este sector, se pueden mejorar las condiciones hidráulicas, aumentando la capacidad de los pasos viales.

Sector El Retiro - La Leonor

Del análisis hidráulico de este sector, los vallados que requieren intervención, corresponden a los vallados de la parte baja La Leonor, chucua de Tíquiza, al costado oriental de la vía Fagua – Cajicá. Esto, debido a la concentración de caudales en esta zona y a la baja capacidad hidráulica que tienen los vallados. No obstante, en este sector se recomienda la reconformación de la estructura de los vallados, la construcción de pasos acorde a la capacidad hidráulica, y la mejora en las condiciones de la Chucua de Tiquiza en el tramo de conexión hacia la Chucua de Fagua.

Sector Chamizo - Tambo

De acuerdo con los resultados del modelo hidráulico para este sector, los vallados deben ser reconformados en los trazados que actualmente existen, para poder aumentar la capacidad hidráulica de los mismos.

Sector Guanatá

El sector de la vía Guanatá, presenta un punto bajo en la zona donde la vía es atravesada por la Chucua de Fagua, lo que genera una batea en este sector, que, por la baja pendiente y la baja velocidad del flujo en la Chucua, efecto de las diferentes condiciones hidráulicas en la mismas, hacen que el flujo presente acumulación y por ende desborde.

Esta condición hidráulica, al ser la Chucua, un elemento articulador del drenaje, ocasiona que se represen todos los canales y vallados que confluyen hacia la misma, por lo que son recurrentes las inundaciones en toda el área de la vía a Guanatá.

Una forma de aliviar estas condiciones, es generando un alivio de caudales de la Chucua, implementando sobre la vía a Fagua, un sistema de conducción de caudales por rebose hacia el río Frío. Este sistema, que básicamente es un alcantarillado pluvial que funcionará por rebose, entregará el caudal al río de forma que, al alcanzar ciertos niveles de agua en la Chucua, el sistema empiece a operar y alivie la acumulación de flujo en el sector.

Sector Carrera 11 costa Rica Camino a Guanatá

La carrera 11, en su costado oriental, cuenta con la estructura del vallado a lo largo de esta vía. Al ser este un sector de baja pendiente, es necesario, para evitar problemas de encharcamiento, aumentar la capacidad hidráulica del vallado, y mejorar las condiciones en los pasos viales y en las entradas a los predios.

La reconformación del vallado, se debe realizar homogeneizando la pendiente del mismo, junto con su sección transversal.

Sector Camino Ical

A lo largo de la vía Ical, se encuentra en ambos costados, el vallado denominado como la vía. Este vallado drena hacia el oriente llegando a la vía Chía – Cajicá, diagonal al centro comercial Fontanar.

Dado que la estructura del vallado, logra transportar los caudales de la zona, para este vallado es necesario realizar el ajuste de las secciones transversales, la reconformación de la pendiente del canal, y antes de la curva a la altura de la entrada a la finca Kath Mandú, conectar los dos tramos de ambos costados, para dar salida al flujo hacia la alcantarilla de 30" que cruza la vía Chía – Cajicá.

ALCALDÍA MUNICIPAL
DE CHÍA

CONSORCIO CANALES CHIA 2021

CONTRATO No 724 DE 2021

"CONSULTORÍA PARA FORMULAR EL PLAN MAESTRO DE VALLADOS EN LOS SECTORES PRIORIZADOS DEL MUNICIPIO DE CHÍA"

BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2021

ALCALDÍA MUNICIPAL
DE CHÍA

CONSORCIO CANALES CHIA 2021

CONTRATO No 724 DE 2021

PRODUCTO 4. PLAN DE ACCIÓN A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO, PARA LOS VALLADOS DEL MUNICIPIO DE CHIA

BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2021

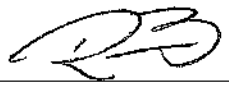
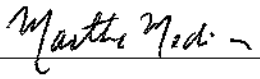
LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Las copias de este documento han sido entregadas a las siguientes dependencias:

DEPENDENCIA	COPIAS
Ingeniera Martha Medina Nieto **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Ingeniero Renny Balanta Murcia **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Gustavo Sierra **Supervisor**	1

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas y entregadas a **RENNY BALANTA MURCIA**, para proceder a realizar las modificaciones.

TRAZABILIDAD DEL DOCUMENTO

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
		
Renny Balanta Murcia	**Martha Medina Nieto**	**Gustavo Sierra**
Director Consultoría	Representante Legal Consorcio Canales Chía 2021	Supervisor

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 7
2 JUSTIFICACIÓN 10
3 ALCANCE 10
4 MARCO LEGAL 11
5 DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES 13
6 PLAN DE ACCIÓN 14
6.1 OBJETIVO DEL PLAN DE ACCIÓN 14
6.2 METAS 14
6.2.1 RECONFORMACIÓN DEL 100% DE LA LONGITUD TOTAL DEL CAUCE DEL VALLADO 15
6.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL 100% DE LAS ESTRUCTURAS DE CRUCE DE LOS VALLADOS 15
6.2.3 CONSTRUCCIÓN DEL 100% DE LA LONGITUD DE TUBERÍAS PARA EL MANEJO DE AGUA 15
6.3 INDICADORES DE CUMPLIMIENTO 16
6.4 RECURSOS FINANCIEROS 17
6.5 PROGRAMACIÓN EN EL HORIZONTE DE 12 AÑOS 17

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Localización de los componentes 13
Figura 5-1 Metas propuestas 15

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Vallados priorizados 7
Tabla 1-2. Sectores analizados 9
Tabla 5-1 Marco Normativo Sectorial 11
Tabla 5-2 Marco política nacional sectorial 12
Tabla 5-1 Indicadores de cumplimiento 16
Tabla 5-2 Longitudes de vallados a reconformar y colectroes pluviales a construir 16
Tabla 5-3. Recursos financieros 18
Tabla 5-4. Programación en horizonte de 12 años 20

I INTRODUCCIÓN

En el marco del Contrato 724 de 202, que tiene por objeto "La consultoria para formular el plan maestro de vallados en los sectores priorizados del municipio de Chía", este documento se constituye como el Producto 4, denominado **Plan de Acciones a realizar a corto, mediano y largo plazo**. Dentro los sectores priorizados se tienen los siguientes vallados, previamente concertados con el municipio, con sus respectivas longitudes, y que suma un total de 34 km de vallados analizados.

Tabla 1-1. Vallados priorizados

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	Vallado Pinares	Polideportivo La Libertad, Parte posterior parroquia Nuestra señora de Guadalupe, Camino Santa Bárbara Urb. Pinares Campestre	0.83
			Vallado Santa Bárbara Sur	Camino Santa Bárbara	1.22
			Vallado Santa Bárbara Norte	Camino Santa Bárbara	0.85
2	La Carolina	Fonquetá	Vallado Camino La Carolina	Vía Camino al Condominio La Carolina	0.14
			Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	Vía Camino al Condominio La Carolina	1.31
			Vallado Santa Bárbara	Vía barrio santa Bárbara, hacienda la Casa de Igaruma	0.52
			Vallado La Lucerna Oriental	Camino La Lucerna	0.34
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	Vallado Camino El Rodadero	Vía Resguardo Indígena, Vía Fonquetá	0.80
			Vallado Camino De Piedra En Cerca	Vía Resguardo Indígena, Vía Fonquetá	1.38
4	Camino La Carlina	Fonquetá	Vallado Camino La Carlina	Camino Vía La Carlina	1.15
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	Vallado Camino Al Volador	Vía La Valvanera, CIC	1.03
			Vallado La Lucerna Occidental	Vía Fonquetá	0.13
			Vallado Camino Alejandría Sur	Vía La Valvanera Camino Alejandría	0.91
			Vallado Camino Alejandría Norte	Vía La Valvanera Camino Alejandría	0.86
			Canaleta Placa Huella Sur	Vía La Valvanera	0.34
			Canaleta Placa Huella Norte	Vía La Valvanera	0.36
			Vallado Sidonia	Vía Fonquetá	0.36

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	Vallado Camino De Las 6 Eses	Calle de las 3 S	0.44
			Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	Calle de las 3 S	0.33
			Vallado Vía Al Chorro	Vía Fonquetá chucua de Tíquiza	0.30
			Vallado Camino Al Cerro	Calle 19 vía a Fagua	0.36
			Vallado El Potrerito	Colegio Aspaen	0.84
			Vallado Finca La Esperanza	Finca la esperanza Calle de las 3 S	0.09
			Vallado Sidonia El Chorro	Vía Fonquetá hacia el río Frío	0.29
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	Vallado La Leonor Sur	Anillo vía Fagua	0.415
			Vallado Camino De Cerro - Occidental	Calle 19 y Vía La Fagua-Cajicá	2.73
			Vallado Camino De Cerro - Oriental	Calle 19 y Vía La Fagua-Cajicá	0.69
			Vallado Camino Del Retiro - Sur	Vía Charrascal Camino del Retiro	1.58
			Vallado Camino Del Retiro - Norte	Vía Charrascal Camino del Retiro	1.60
			Vallado La Leonor Norte	Tramo Norte: Anillo Vial Fagua Tramo Occidente: Vía Tíquiza - Fagua	0.72
			Chucua de Tíquiza	Chucua de Tíquiza, Costado norte Agro Industrias Río Frío.	0.88
8	Guanatá	Fagua	Vallado Camino Guanatá Sur	Vía Guanatá	1.13
			Vallado Camino Guanatá Norte	Vía Guanatá	1.11
9	Chamizo - Tambo	Fagua	Vallado Chamizo	Sector MG	0.58
			Vallado MG Tambo	Vía Puente Peralta	1.42
10	Carrera 11 costa Rica	Bojacá	Vallado Camino Costa Rica	Vía Rancho Kan	1.02
			Vallado Camino El Pozo Norte	Calle 35	0.31
11	Camino Ical	Bojacá	Vallado Camino Ical Norte	Vía Colegio Campestre Ical	0.86
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	Vallado Camino De Guanatá	Vía Guanatá	0.28
			Vallado Carrera 11 Oriental	Carrera 11	1.24
			Vallado Carrera 11 Occidental	Carrera 11 sector norte	0.15

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
			Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	Carrera 11	0.47
			Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	Carrera 11	0.32
			Vallado Camino De Colon	Gimnasio Campestre Meryland	0.16
			Vallado Camino Guanatá 2	Camino Guanatá margen izquierda Rio Frío	0.31
Total					33.14

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

De lo anterior, los sectores que se analizan en esta Consultoría, son los siguientes:

Tabla 1-2. Sectores analizados

ID. sector	Sector	Vereda	Longitud de vallados analizados (Km)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	2.90
2	La Carolina	Fonquetá	2.31
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	2.18
4	Camino La Carlina	Fonquetá	1.15
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	3.99
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	2.65
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	8.60
8	Guanatá	Fagua	2.24
9	Chamizo - Tambo	Fagua	2.00
10	Carrera 11 costa Rica	Bojacá	1.33
11	Camino Ical	Bojacá	0.86
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	2.93
Total			**33.14**

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

Este producto contiene las acciones en el horizonte del Plan Maestro de Vallados, el cual será de doce años, junto con las inversiones a realizar en el corto, mediano y largo plazo.

2 JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista hidráulico, en la zona rural del municipio de Chía, al no tener un sistema de drenaje de aguas lluvias o sistema de alcantarillado pluvial, los vallados cumplen su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial en estas áreas, además de ser parte del sistema de protección hídrico, y son elementos conectores entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, conducen los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región. Por definición, los vallados son canales artificiales que generalmente se encuentran paralelos a las vías y hacen parte del Sistema Hídrico del Municipio.

De acuerdo con las condiciones evidenciadas en campo, el estado de los vallados en el municipio de Chía no es el adecuado, se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos. Por tanto, identifica como una necesidad para su adecuada gestión el adelantar un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados.

Esto, de la mano con lo establecido en el Acuerdo No. 168 de 2020, por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo Municipal 2020 – 2023, en su meta 201 Formular el plan Maestro de Vallados durante el periodo de gobierno.

3 ALCANCE

El Acuerdo 017 de 2000, por el cual se adopta el POT -Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Chía (Cundinamarca), como parte del Capítulo 3, Asignación de Usos y Tratamientos en el suelo Rural, como parte de las características ambientales, sanitarias y paisajísticas de la Zona Agropecuaria (ZAP), define que los vallados son parte constitutiva del drenaje natural, razón por la cual se deberán mantener en buen estado, y no podrán taponarse ni rellenarse. El municipio le da gran importancia a aquellos ubicados en las vías rurales, dejando claro que sobre los mismos no se podrá establecer ninguna infraestructura tipo edificación, ni postes de energía; además, los pasos sobre ellos (puentes) deberán garantizar el libre tránsito de las aguas.

Así mismo, para la Zona rural de Granja (ZRG), se establece que cada propietario deberá preservar y mantener los vallados existentes o restituirlo en caso que hayan sido rellenados, así mismo el municipio deberá restituir aquellos vallados que el haya rellenado como lo indica el Decreto Municipal 104 de 2004 "*Por medio del cual se ordena la limpieza y recuperación de los Vallados*",. Este POT para la ZRG establece como parte del espacio público los vallados paralelos a las vías por tanto sobre los mismos no se podrá instalar cerca o postes y define que para el acceso a los predios se podrán instalar puentes que garantice que discurra libremente el caudal que transita por el vallado.

Los vallados además de cumplir su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial del municipio, son parte del sistema de protección hídrico, y cumplen una función como elemento conector entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, la de conducir los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región.

Actualmente el área rural del Municipio de Chía cuenta con una serie de canales o vallados que recogen las aguas lluvias y las conduce hacia sistemas de canales. Sin embargo, en algunas oportunidades debido a las lluvias, las condiciones de depositación de material sólido y de transporte de estos, condiciones de mantenimiento, entre otras, se presentan desbordamientos que generan inundaciones localizadas en los sectores aledaños.

Esta situación se presenta debido a las condiciones actuales del canal no revestido en las que se evidencia sedimentación, proliferación de especies vegetales acuáticas, generados por falta de mantenimiento, lo cual reduce considerablemente la capacidad hidráulica del canal y aumenta el riesgo de desbordamiento al no poder evacuar rápidamente los caudales en precipitaciones fuertes.

Adicionalmente, el estado de los vallados en el municipio no es el adecuado, dado que se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos.

Por tal motivo, se hace necesario diagnosticar el sistema de recolección de aguas lluvias para aquellas zonas donde los canales son parte integral del sistema de drenaje, para que, en una etapa posterior, proponer alternativas a implementar. Esta consultoría tiene por alcance definir las condiciones particulares de operación cada uno de los vallados analizados, por medio de un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados, y las posibles alternativas para correcta gestión.

4 MARCO LEGAL

Para la elaboración del presente diagnóstico, se adelantó una revisión sistemática de los diferentes instrumentos de planeación, ejecución, control y evaluación a nivel nacional, regional y local.

Tabla 4-1 Marco Normativo Sectorial

Instrumento	Descripción
Constitución política de Colombia 1991	Consagra los derechos colectivos y del ambiente, determina las bases para la prestación de servicios públicos domiciliarios, así como también establece ámbitos de control y regulación.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, distribución de gas combustible, entre otros.
Ley 388 de 1997	Establece el ordenamiento territorial como un instrumento que permite gestionar los riesgos naturales como lo son inundaciones o deslizamientos generados por un inadecuado manejo de las aguas lluvias.
Decreto 302 de 2000	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
Resolución CRA 152 de 2002	Determina la regulación integral del sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución CRA 287 de 2004	Establece la metodología para el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.
Resolución 330 de 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y derogan las resoluciones 1096 de 2000, 024 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005, y 2320 de 2009
Resolución CRA 688 de 2017	Establece metodología tarifaria para los prestadores de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en área urbana.

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

Tabla 4-2 Marco política nacional sectorial

Instrumento	Descripción
Decreto 1449 de 1977	Presenta disposiciones para la protección de cuerpos de agua naturales o artificiales que existan en predios de privados.
Decreto 302 de 2000	Reglamenta las relaciones adquiridas entre los prestadores de servicios públicos domiciliarios y sus usuarios, en el marco de la Ley 142 de 1994.
Acuerdo 017 de 2000	Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Chía (Cundinamarca), Capitulo 3, Asignación de Usos y Tratamientos en el suelo Rural.
Ley 715 de 2001	Determina los recursos a destinar para el sector de acueducto y alcantarillado frente a los recursos que recibe un municipio por medio de las Participantes Generales de la Nación. Constituyendo así parte del financiamiento municipal para la prestación de estos servicios públicos.
Decreto 958 de 2001	Origina la Comisión Intersectorial de Servicios Públicos Domiciliarios como un ente orientador y coordinador a nivel nacional.
Ley 732 de 2002	Fomenta la urgencia de desarrollar la estratificación socioeconómica para definir tarifas de servicios públicos domiciliarios y régimen de subsidios.
Decreto 421 de 2002	Establece la posibilidad de que las comunidades constituidas como personas jurídicas sin ánimo de lucro prestar servicios en municipios menores (categoría 5ª y 6ª), zonas rurales, y zonas urbanas en específico.
Decreto 398 de 2002	Define las condiciones para que un municipio preste los servicios de acueducto y alcantarillado. De igual forma, establece el procedimiento para realizar la evaluación y adjudicación a empresas prestadoras de servicios públicos.
CONPES 3246 de 2003	Lineamientos de la política para el Sector de Acueducto y Alcantarillado.
CONPES 3320 de 2004	Establece la estrategia para el manejo ambiental e integral del Río Bogotá, con participación de la ciudad de Bogotá y los municipios de la región.
Decreto Municipal 104 de 2004	*"Por medio del cual se ordena la limpieza y recuperación de los Vallados"*
Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022	Estrategia nacional de restauración de ecosistemas que incluya el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación. Estudios de amenazas ante fenómenos naturales para el ordenamiento territorial municipal desde las entidades técnico-científicas del país. Iniciativas de adaptación al cambio climático que reduzcan los efectos de las sequías y las inundaciones en los sectores y los territorios.

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

5 DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Chía en el departamento de Cundinamarca. De acuerdo con los términos de referencia, el estudio abarca un total de 12 sectores que se presentan en la figura que son nombrados a continuación.



Figura 5-1 Localización de los componentes

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

6 PLAN DE ACCIÓN

El plan de acción para los vallados del municipio de Chia, describe las acciones que se tomarán y los recursos necesarios para poder realizar la construcción de la infraestructura necesaria para que estos vallados logren tener una funcionalidad hidráulica que beneficie las comunidades aledañas a los mismos, en términos de realizar un buen manejo de las aguas lluvias. Los elementos que componen el presente plan son:

- Objetivo general del plan
- Metas
- Indicadores de cumplimiento de las metas
- Programación por vallado en el horizonte de 12 años
- Recursos financieros

6.1 OBJETIVO DEL PLAN DE ACCIÓN

El objetivo principal de este plan de acción, es lograr en un 100%, que los vallados que han sido establecidos en el marco de esta consultoría, sean reestablecidos en su totalidad, en la funcionalidad hidráulica para el manejo de la escorrentía pluvial.

6.2 METAS

En la presente consultoria se identificaron tres metas, que le apuntan de acuerdo con cada proyecto. En general, las metas están asociadas a la completitud de las obras a realizar para poder tener un comportamiento hidráulico óptimo de las estructuras en eventos de lluvia en las zonas analizadas de las veredas del municipio de Chía.

Vale la pena indicar que en el plan de Desarrollo Municipal establece en uno de sus programas, "2.1-32 Acciones ambientales de hoy, que garanticen el desarrollo ambiental y sostenible del mañana", se plantea como objetivo realizar acciones para mitigar el cambio climático, la conservación y restauración de los ecosistemas, la biodiversidad y las fuentes hídricas, estableciendo para el caso de los vallados, la Meta 200, cuyo objetivo es el de Realizar el mantenimiento a 80 km de vallados que conforman la estructura ecológica municipal. Esta meta involucra a las secretarías de medio ambiente, obras públicas y planeación.

Tomando como base la Meta 200 del Plan de Desarrollo Municipal, como se muestra en la Figura 6-1 las metas de construcción en este plan maestro se asocian a la reconformación del canal, a la construcción de las estructuras de paso y a la construcción del colector pluvial en los casos en que no es posible dar continuidad o reconformar el vallado.

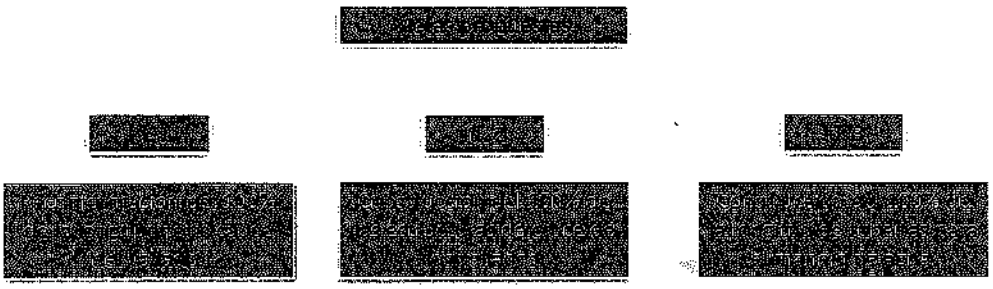


Figura 6-1 Metas propuestas

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

6.2.1 RECONFORMACIÓN DEL 100% DE LA LONGITUD TOTAL DEL CAUCE DEL VALLADO

Como ya se mencionó, esta meta corresponde a la reconformación del 100% de la longitud del vallado, lo que implica la reconformación del cauce, de acuerdo con la sección transversal óptima propuesta para cada elemento, así como la conformación de una pendiente longitudinal del cauce que permita el flujo a superficie libre en cada canal.

6.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL 100% DE LAS ESTRUCTURAS DE CRUCE DE LOS VALLADOS

Una de las estructuras de gran importancia para poder tener continuidad en el flujo del vallado, son los pasos o estructuras de cruce. Estas, deben ser implementadas en paralelo a la reconformación del cauce del vallado dado que de las mismas depende la continuidad del flujo.

Para esta meta, se propone la construcción de alcantarillas circulares o tipo box culvert, las primeras en los accesos a las viviendas, edificaciones o fincas, y las segundas para los cruces con otras vías de tráfico medio. Dado que su conformación es diferente a los movimientos de tierra, y dado que estas representan un porcentaje importante en el presupuesto, se plantea su construcción como una meta.

6.2.3 CONSTRUCCIÓN DEL 100% DE LA LONGITUD DE TUBERÍAS PARA EL MANEJO DE AGUA

En los casos en los cuales, no es posible dar continuidad a los vallados, o simplemente por los niveles de ocupación por las viviendas a los costados de las vías analizadas, no es posible reconstruir el vallado, es necesaria la implementación de un sistema de tuberías para poder dar manejo a las aguas de escorrentía de aguas lluvias.

En ese sentido, esta meta se traza en función de la construcción del 100% de los tramos de colectores de aguas lluvias para cada vía.

6.3 INDICADORES DE CUMPLIMIENTO

Para poder medir como se ejecuta el cumplimiento de cada meta, se plantea para cada una de ellas, un indicador, asociado a la característica principal medible de esta. En este caso, se plantea en términos, tanto de la longitud de los vallados reconformados, la longitud de los colectores de aguas lluvias, y el número de estructuras de paso de cada vallado. En la Tabla 6-1 se presentan para cada meta, su indicador y la forma de evaluación o ecuación de medición del mismo.

Tabla 6-1 Indicadores de cumplimiento

Meta	Indicador	Ecuación para evaluar el cumplimiento
Reconformación del 100% de la longitud total cauce del vallado	100% de la longitud del vallado	(Longitud reconformada de vallado / Longitud total del vallado) x 100%
Construcción del 100% de las estructuras de cruce de los vallados	100% de las estructuras de paso	(Número de estructuras construidas / Número total de estructuras de paso del vallado) x 100%
Construcción del 100% de la longitud de tuberías para el manejo de agua	100% de la longitud del colector pluvial	(Longitud de colector construido / Longitud total del vallado) x 100%

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

De acuerdo con las condiciones presentadas en el diagnóstico, y a su vez en los diseños para las reconformaciones de los vallados, a continuación, se presentan las longitudes a reconformar para los vallados.

Tabla 6-2 Longitudes de vallados a reconformar y colectroes pluviales a construir

ID. sector	Sector	Alternativa 1 Sistema de tuberías (m)	Alternativa 2 reconformación del vallado (m)
1	Camino de Santa Bárbara	1198.00	656.00
2	La Carolina	0.00	1148.00
3	Camino El Rodadero	0.00	1512.00
4	Camino La Carlina	898.00	0.00
5	Camino Alejandría Volador	0.00	3287.00

6	Potrerito y 6 Eses	0.00	2377.00
7	El Retiro - La Leonor	0.00	2010.00
9	Chamizo - Tambo	0.00	2000.00
8	Guanatá	342.00	520.00
10	Carrera 11 Costa Rica	0.00	999.00
11	Camino Ical	0.00	1437.00
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	0.00	1913.00
Total		**2438.00**	**17859.00**

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

6.4 RECURSOS FINANCIEROS

A continuación, en la Tabla 6-3 se presentan los recursos financieros presentados para cada vallado, para la reconformación del cauce de cada uno de ellos.

6.5 PROGRAMACIÓN EN EL HORIZONTE DE 12 AÑOS

En la se presenta la programación de las actividades para cada uno de los vallados en el horizonte de 12 años, donde aquellas obras a realizar en el corto plazo, corresponden a las realizadas en las zonas prioritarias en un tiempo de 4 años iniciales. El mediano plazo se define para los años 5 a 8 y el largo plazo del año 9 al 12.

Tabla 6-3. Recursos financieros

INFORMACIÓN ACTIVIDADES				
Id	SECTOR	INDICADOR Descripción y formula	INDICADOR Descripción y formula	PRESUPUESTO
1	Camino de Santa Bárbara	Longitud total construida de colector 1198.00 m	Longitud total de reconformación de vallado de 656.00 m	488,995,675
2	La Carolina		Longitud total de reconformación de vallado de 1148.00m	2,520,540,878
3	Camino El Rodadero		Longitud total de reconformación de vallado de 1512.00m	708,368,194
4	Camino La Carlina	Longitud total construida de colector 898.00 m	0.00	488,995,675
5	Camino Alejandría Volador		Longitud total de reconformación de vallado de 3287.00m	2,031,545,203
6	Potrerito y 6 Eses		Longitud total de reconformación de vallado de 2377.00m	708,368,194
7	El Retiro - La Leonor		Longitud total de reconformación de vallado de 2010.00m	488,995,675
9	Chamizo - Tambo		Longitud total de reconformación de vallado de 2000.00m	470,405,807
8	Guanatá	Longitud total construida de colector 342.00 m	Longitud total de reconformación de vallado de 520.00m	358,073,194
10	Carrera 11 Costa Rica		Longitud total de reconformación de vallado de 999.00m	1,694,717,227

INFORMACIÓN ACTIVIDADES				
Id	**SECTOR**	**INDICADOR Descripción y formula**	**INDICADOR Descripción y formula**	**PRESUPUESTO**
11	Camino Ical		Longitud total de reconformación de vallado de 1437.00m	546,136,494

sss

Tabla 6-4. Programación en horizonte de 12 años

INFORMACIÓN ACTIVIDADES		PROGRAMACIÓN EN EL HORIZONTE DE TIEMPO												
Id	VALLADO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	TOTAL
1	Camino de Santa Bárbara	50%	50%											100%
2	La Carolina				50%	50%								100%
3	Camino El Rodadero						50%	50%						100%
4	Camino La Carlina							100%						100%
5	Camino Alejandría Volador	50%	50%											100%
6	Potrerito y 6 Eses			50%	50%									100%
7	El Retiro - La Leonor								50%	50%				100%
8	Chamizo - Tambo										50%	50%		100%

INFORMACIÓN ACTIVIDADES		PROGRAMACIÓN EN EL HORIZONTE DE TIEMPO												
Id	VALLADO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	TOTAL
9	Guanatá	50%	50%											**100%**
10	Carrera 11 Costa Rica											50%	50%	**100%**
11	Camino Ical											50%	50%	**100%**
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá											50%	50%	**100%**

ALCALDÍA MUNICIPAL
DE CHÍA

CONSORCIO CANALES CHÍA 2021

CONTRATO No 724 DE 2021

PRODUCTO 3. DISEÑO A NIVEL DE PREFACTIBILIAD DE LA ALTERNATIVA PARA LOS VALLADOS DEL MUNICIPIO DE CHÍA

BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2021

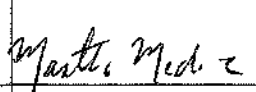
LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Las copias de este documento han sido entregadas a las siguientes dependencias:

DEPENDENCIA	COPIAS
Ingeniera Martha Medina Nieto **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Ingeniero Renny Balanta Murcia **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Gustavo Sierra **Supervisor**	1

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas y entregadas a **RENNY BALANTA MURCIA**, para proceder a realizar las modificaciones.

TRAZABILIDAD DEL DOCUMENTO

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
		
Renny Balanta Murcia	**Martha Medina Nieto**	**Gustavo Sierra**
Director Consultoría	Representante Legal Consorcio Canales Chía 2021	Supervisor

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 11
2 JUSTIFICACIÓN 15
3 ALCANCE 15
4 DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES 16
5 ANALISIS HIDROLÓGICOS 18
5.1 FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 18
5.2 ESTACIONES EN ÁREA DE INFLUENCIA 19
5.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN 21
5.3.1 RÉGIMEN DE LLUVIAS 21
5.4 VALORES MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN 21
5.5 Número de Días con Lluvia 22
5.6 CONSTRUCCIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO 23
5.6.1 Curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF) 23
5.6.2 Hietograma – Tormenta de diseño 25
5.7 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA 27
5.7.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE DRENAJE 27
5.8 PARÁMETROS DE CALCULO DE ESCORRENTÍA 31
5.9 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA 39
5.9.1 MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS) PARA EL CÁLCULO DE LAS ABSTRACCIONES Y LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA. 39
5.9.2 TRANSFORMACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA – HIDROGRAMA UNITARIO DEL SCS. 40
5.9.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO TOPOLÓGICO 41
5.9.4 SIMULACIÓN DE HIDROGRAMAS 42
6 DISEÑO GEOMÉTRICO E HIDRÁULICO A NIVEL DE PRE FACTIBILIDAD 46
6.1 GENERALIDADES 46
6.2 MARCO TEÓRICO 46
6.2.1 CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL 46
6.2.2 COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL 47
6.2.3 EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE ENERGÍA CINÉTICA 48

6.2.4 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN 48
6.2.5 EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES 50
6.2.6 LIMITACIONES DEL PROGRAMA 50
6.3 INFORMACIÓN DE ENTRADA 50
6.3.1 CAUDALES DE MODELACIÓN – CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ARRIBA 50
6.3.2 CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ABAJO 51
6.3.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING 52
6.4 CONSIDERACIONES GENERALES 54
6.5 CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA LOS CANALES 55
6.5.1 DISEÑO ESTRUCTURA DE INTERSECCIÓN PLACA HUELLA VÍA LA VALVANERA 61
6.5.2 DISEÑO DE PASOS VIALES Y ACCESOS 65
7 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, CANTIDADES DE OBRA, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PRESUPUESTO 69
8 ESTUDIO DE SUELOS 70
8.1 GENERALIDADES 70
8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 70
8.3 ALCANCE 70
8.4 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN 71
8.5 EXPLORACIÓN DE CAMPO 71
8.6 EQUIPO DE TRABAJO 72
8.7 EQUIPO DE EXPLORACIÓN Y LABORATORIO 72
8.8 NÚMERO Y TIPO DE SONDEOS 73
8.9 LOCALIZACION DE SONDEOS 73
8.10 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA 75
8.10.1 GEOLOGIA 75
8.10.2 GEOMORFOLOGÍA 80
8.11 ASPECTOS SISMICOS 84
8.12 PERFILES ESTRATIGRAFICOS DE LOS SONDEOS 85
8.13 NIVEL FREATICO 88
8.14 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 89
8.14.1 RESULTADO DE SPT 89

8.15 CORRELACION DE SPT 90
8.16 PARÁMETROS DE DISEÑO 92
8.17 FACTORES DE SEGURIDAD 93
8.18 ANALISIS GEOTECNICO REDES DE ALCANTARILLADO 95
8.18.1 MARCO TEORICO 95
8.18.2 PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN 98
8.18.3 CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE 98
8.18.4 ASENTAMIENTOS 99
8.18.5 EMPUJES 100
8.18.6 TIPO DE CIMENTACIÓN 100
8.18.7 RELLENOS 101
8.19 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 102

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Localización de los componentes 17
Figura 5-1 Localización de estaciones preliminarmente seleccionadas 20
Figura 5-2 Comportamiento medio multianual de la precipitación Guanatá 21
Figura 5-3 Valores máximos anuales de precipitación Guanatá 22
Figura 5-4 Promedio días de lluvia mensual multianual Guanatá 23
Figura 5-5 Curva IDF Estación Guanatá 25
Figura 5-6 Hietogramas para 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 Años de Periodo de Retorno 26
Figura 5-7 Canales de interés 28
Figura 5-8 Cuencas aferentes a Canales de interés 29
Figura 5-9 Cobertura de suelos en las cuencas aferentes a los vallados 35
Figura 5-10 Esquema del Hidrograma unitario del SCS 41
Figura 5-11 Modelo Topológico HEC-HMS 42
Figura 6-1 Caracteristicas de la sección transversal 56
Figura 6-2 Placa Huella vía La Valvanera 62
Figura 6-3 Sumidero de fondo con rejilla 63
Figura 6-4 Perfil del flujo en la alcantarilla de paso 67
Figura 6-5 Detalle de cabezal de entrada y salida 67
Figura 8-1 Localización de sondeos 74
Figura 8-2 Geología regional 76
Figura 8-3 Gemorfología regional 80
Figura 8-4 Planicie y delta lacustrino (Fpla), en el municipio de Sopó, en la vereda Pueblo Viejo 82
Figura 8-5 Plano o llanura de inundación (Fpi), sobre el río Teusacá, municipio de Chía 83
Figura 8-6 Mapa de microzonificación geotécnica para respuesta sísmica 84
Figura 8-7 Falla de cortante 93
Figura 8. Cálculo del incremento de esfuerzo dentro del área rectangular cargada uniformemente. 96
Figura 9. Modelo de cimentación Tipo, en zanja para tuberías flexibles en calzada 101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Vallados priorizados 11
Tabla 1-2. Sectores analizados 13

Tabla 5-1 Selección preliminar de estaciones en área de influencia 19
Tabla 5-2 Resumen de datos estación seleccionada datos de precipitación 20
Tabla 5-3 Número de días con lluvia Guanatá 22
Tabla 5-4 Coeficiente para construcción de IDF 24
Tabla 5-5 Valores curva IDF Estación Guanatá 24
Tabla 5-6 Valores Hietograma para diferentes periodos de retorno 27
Tabla 5-7. Caracterización morfométrica 30
Tabla 5-8. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S 32
Tabla 5-9. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S 33
Tabla 5-10. CN para las coberturas encontradas en las cuencas de los vallados 37
Tabla 5-11. Parámetros de cálculo de escorrentia 37
Tabla 5-12. Caudales pico estimados para cada cuenca para diferentes peridos. 43
Tabla 6-1. Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow y Cowan 49
Tabla 6-2. Condición de frontera aguas abajo 51
Tabla 6-3. Coeficiente de Rugosidad de Manning 53
Tabla 6-4. Calculos hidráulicos 57
Tabla 6-5. Calculos hidráulicos (continuación) 59
Tabla 6-6. Curva Nivel Vs. Caudal de la alcantarilla 66
Tabla 7-1. Resumen de presupuestos 69
Tabla 8-1. Listado de equipos 72
Tabla 8-2. Ensayos de laboratorio realizados 73
Tabla 8-3. Características sísmicas del perfil de suelo 84
Tabla 8-4. Perfil estratigráfico sondeo 1 85
Tabla 8-5. Perfil estratigráfico sondeo 1 85
Tabla 8-6. Perfil estratigráfico sondeo 2 85
Tabla 8-7. Perfil estratigráfico sondeo 3 86
Tabla 8-8. Perfil estratigráfico sondeo 4 86
Tabla 8-9. Perfil estratigráfico sondeo 5 86
Tabla 8-10. Perfil estratigráfico sondeo 6 87
Tabla 8-11. Perfil estratigráfico sondeo 7 87

Tabla 8-12. Perfil estratigráfico sondeo 8 87
Tabla 8-13. Perfil estratigráfico sondeo 9 88
Tabla 8-14. Perfil estratigráfico sondeo 10 88
Tabla 8-15. Resultados de SPT 89
Tabla 16. Factores de seguridad directos mínimos 94
Tabla 17. Factores de seguridad indirectos mínimos 94
Tabla 18. Capacidad portante, Df = 1.5m 98
Tabla 19. Capacidad portante, Df = 2.0m 98
Tabla 20. Asentamientos, Df = 1.5m 99
Tabla 21. Asentamientos, Df = 2.0m 99
Tabla 22. Calculo de empujes 100

I INTRODUCCIÓN

En el marco del Contrato 724 de 2021, que tiene por objeto "La consultoría para formular el plan maestro de vallados en los sectores priorizados del municipio de Chía", este documento se constituye como el Producto 3, denominado "**Diseños a nivel de prefactibilidad**". Dentro los sectores priorizados se tienen los siguientes vallados, previamente concertados con el municipio, con sus respectivas longitudes, y que suma un total de 33 km de vallados analizados.

Tabla 1-1. Vallados priorizados

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	Vallado Pinares	Polideportivo La Libertad, Parte posterior parroquia Nuestra señora de Guadalupe, Camino Santa Bárbara Urb. Pinares Campestre	0.83
			Vallado Santa Bárbara Sur	Camino Santa Bárbara	1.22
			Vallado Santa Bárbara Norte	Camino Santa Bárbara	0.85
2	La Carolina	Fonquetá	Vallado Camino La Carolina	Vía Camino al Condominio La Carolina	0.14
			Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	Vía Camino al Condominio La Carolina	1.31
			Vallado Santa Bárbara	Vía barrio santa Bárbara, hacienda la Casa de Igaruma	0.52
			Vallado La Lucerna Oriental	Camino La Lucerna	0.34
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	Vallado Camino El Rodadero	Vía Resguardo Indígena, Vía Fonquetá	0.80
			Vallado Camino De Piedra En Cerca	Vía Resguardo Indígena, Vía Fonquetá	1.38
4	Camino La Carlina	Fonquetá	Vallado Camino La Carlina	Camino Vía La Carlina	1.15
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	Vallado Camino Al Volador	Vía La Valvanera, CIC	1.03
			Vallado La Lucerna Occidental	Vía Fonquetá	0.13
			Vallado Camino Alejandría Sur	Vía La Valvanera Camino Alejandría	0.91
			Vallado Camino Alejandría Norte	Vía La Valvanera Camino Alejandría	0.86
			Canaleta Placa Huella Sur	Vía La Valvanera	0.34
			Canaleta Placa Huella Norte	Vía La Valvanera	0.36

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
			Vallado Sidonia	Vía Fonquetá	0.36
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	Vallado Camino De Las 6 Eses	Calle de las 3 S	0.44
			Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	Calle de las 3 S	0.33
			Vallado Vía Al Chorro	Vía Fonquetá chucua de Tíquiza	0.30
			Vallado Camino Al Cerro	Calle 19 vía a Fagua	0.36
			Vallado El Potrerito	Colegio Aspaen	0.84
			Vallado Finca La Esperanza	Finca la esperanza Calle de las 3 S	0.09
			Vallado Sidonia El Chorro	Vía Fonquetá hacia el río Frío	0.29
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	Vallado La Leonor Sur	Anillo vía Fagua	0.415
			Vallado Camino De Cerro - Occidental	Calle 19 y Vía La Fagua-Cajicá	2.73
			Vallado Camino De Cerro - Oriental	Calle 19 y Vía La Fagua-Cajicá	0.69
			Vallado Camino Del Retiro - Sur	Vía Charrascal Camino del Retiro	1.56
			Vallado Camino Del Retiro - Norte	Vía Charrascal Camino del Retiro	1.60
			Vallado La Leonor Norte	Tramo Norte: Anillo Vial Fagua Tramo Occidente: Vía Tiquiza - Fagua	0.72
			Chucua de Tíquiza	Chucua de Tíquiza, Costado norte Agro Industrias Río Frío.	0.88
8	Guanatá	Fagua	Vallado Camino Guanatá Sur	Vía Guanatá	1.13
			Vallado Camino Guanatá Norte	Vía Guanatá	1.11
9	Chamizo - Tambo	Fagua	Vallado Chamizo	Sector MG	0.58
			Vallado MG Tambo	Vía Puente Peralta	1.42
10	Carrera 11 costa Rica	Bojacá	Vallado Camino Costa Rica	Vía Rancho Kan	1.02
			Vallado Camino El Pozo Norte	Calle 35	0.31
11	Camino Ical	Bojacá	Vallado Camino Ical Norte	Vía Colegio Campestre Ical	0.86
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	Vallado Camino De Guanatá	Vía Guanatá	0.28
			Vallado Carrera 11 Oriental	Carrera 11	1.24

ID. sector	Sector	Vereda	Nombre Vallado	Descripción	Longitud levantada (km)
			Vallado Carrera 11 Occidental	Carrera 11 sector norte	0.15
			Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	Carrera 11	0.47
			Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	Carrera 11	0.32
			Vallado Camino De Colon	Gimnasio Campestre Meryland	0.16
			Vallado Camino Guanatá 2	Camino Guanatá margen izquierda Río Frío	0.31
Total					33.14

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

De lo anterior, los sectores que se analizan en esta Consultoría, son los siguientes:

Tabla 1-2. Sectores analizados

ID. sector	Sector	Vereda	Longitud de vallados analizados (Km)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	2.90
2	La Carolina	Fonquetá	2.31
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	2.18
4	Camino La Carlina	Fonquetá	1.15
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	3.99
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	2.65
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	8.60
8	Guanatá	Fagua	2.24
9	Chamizo - Tambo	Fagua	2.00
10	Carrera 11 costa Rica	Bojacá	1.33
11	Camino Ical	Bojacá	0.86
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	2.93
Total			**33.14**

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

Este producto contiene la caracterización geoespacial, hidrológica, hidráulica, identificación de vertimientos y problemáticas ambientales evidenciadas en los vallados, y tiene como alcance conocer el estado actual de los vallados.

Por su parte el CONSORCIO CANALES CHÍA 2021 en el desarrollo de sus actividades, estructura el presente informe denominado PRODUCTO 3 que contiene los siguientes Capítulos: Introducción,

Justificación, Alcance, ingeniería a nivel de pre factibilidad, Definición y localización de cada uno de los componentes del proyecto a diseñar, Análisis hidrológico, Diseño geométrico e hidráulico a nivel de pre factibilidad, estudio de suelos, Determinación a nivel de pre factibilidad de cantidades de obra, especificaciones técnicas y presupuestos, con sus respectivas memorias de cálculo, Diseño estructural a nivel de pre factibilidad y de obras complementarias.

2 JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista hidráulico, en la zona rural del municipio, al no tener un sistema de drenaje de aguas lluvias o sistema de alcantarillado pluvial, los vallados cumplen su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial en estas áreas, además de ser parte del sistema de protección hídrico, y son elementos conectores entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, conducen los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región. Por definición, los vallados son canales artificiales que generalmente se encuentran paralelos a las vías y hacen parte del Sistema Hídrico del Municipio.

De acuerdo con las condiciones evidenciadas en campo, el estado de los vallados en el municipio no es el adecuado, se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos. Por tanto, identifica como una necesidad para su adecuada gestión el adelantar un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados.

3 ALCANCE

El Acuerdo 017 de 2000, por el cual se adopta el POT -Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Chía (Cundinamarca), como parte del Capítulo 3, Asignación de Usos y Tratamientos en el suelo Rural, como parte de las características ambientales, sanitarias y paisajísticas de la Zona Agropecuaria (ZAP), define que los vallados son parte constitutiva del drenaje natural, razón por la cual se deberán mantener en buen estado, y no podrán taponarse ni rellenarse. El municipio le da gran importancia a aquellos ubicados en las vías rurales, dejando claro que sobre los mismos no se podrá establecer ninguna infraestructura tipo edificación, ni postes de energía; además, los pasos sobre ellos (puentes) deberán garantizar el libre tránsito de las aguas.

Así mismo, para la Zona rural de Granja (ZRG), se establece que cada propietario deberá preservar y mantener los vallados existentes o restituirlo en caso que hayan sido rellenados, como lo indica el Decreto Municipal 104 de 2004 "*Por medio del cual se ordena la limpieza y recuperación de los Vallados*", así mismo el municipio deberá restituir aquellos vallados que el haya rellenado. Este POT para la ZRG establece como parte del espacio público los vallados paralelos a las vías por tanto sobre los mismos no se podrá instalar cerca o postes y define que para el acceso a los predios se podrán instalar puentes que garantice que discurra libremente el caudal que transita por el vallado.

Los vallados además de cumplir su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial del municipio, son parte del sistema de protección hídrico, y cumplen una función como elemento conector entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, la de conducir los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región.

Actualmente el área rural del Municipio de Chía cuenta con una serie de canales o vallados que recogen las aguas lluvias y las conduce hacia sistemas de canales. Sin embargo, en algunas oportunidades debido a las lluvias, las condiciones de depositación de material sólido y de transporte de estos, condiciones de mantenimiento, entre otras, se presentan desbordamientos que generan inundaciones localizadas en los sectores aledaños.

Esta situación se presenta debido a las condiciones actuales del canal no revestido en las que se evidencia sedimentación, proliferación de especies vegetales acuáticas, generados por falta de

mantenimiento, lo cual reduce considerablemente la capacidad hidráulica del canal y aumenta el riesgo de desbordamiento al no poder evacuar rápidamente los caudales en precipitaciones fuertes.

Adicionalmente, el estado de los vallados en el municipio no es el adecuado, dado que se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos.

Por tal motivo, se hace necesario diagnosticar el sistema de recolección de aguas lluvias para aquellas zonas donde los canales son parte integral del sistema de drenaje, para que, en una etapa posterior, proponer alternativas a implementar. Esta consultoría tiene por alcance definir las condiciones particulares de operación cada uno de los vallados analizados, por medio de un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados, y las posibles alternativas para correcta gestión.

4 DEFINICIÓN Y LOCALIZACIÓN DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Chía en el departamento de Cundinamarca. De acuerdo con los términos de referencia, el estudio abarca 12 sectores que se presentan en la figura que son nombrados a continuación.



Figura 4-1 Localización de los componentes

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2022

5 ANALISIS HIDROLÓGICOS

5.1 FUENTES DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para la construcción del modelo hidrológico, es necesario contar con información de las variables climáticas de interés y de las características físicas del área. A continuación, se describen las fuentes principales de información:

- IDEAM - Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales.

El IDEAM[1] es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilita la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general.

En ese sentido, a través de los canales actualmente habilitados, se tiene acceso a la información hidrometereológica disponible a nivel nacional, de acuerdo con la Ley 1712 del 6 de marzo de 2014, el IDEAM le hará entrega de la información de manera gratuita. La información revisada para la construcción del modelo hidrológico es: Catálogo Nacional de Estaciones; Información hidrológica disponible, Curvas intensidad duración frecuencia

- Red Hidrometeorológica CAR

La Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) es la encargada de ejercer como máxima autoridad ambiental en su jurisdicción, ejecutando políticas, planes, programas y proyectos ambientales, a través de la construcción de tejido social, para contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región2 cuenta con una red de estaciones hidrometereológicas que están a disposición de los interesados únicamente en el departamento de Cundinamarca, de las cuales las más cercanas a la zona de estudio han sido utilizadas para el análisis hidrológico. La información revisada para la construcción del modelo hidrológico corresponde al Catálogo Nacional de Estaciones

- Información hidrológica disponible

El Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) "Es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos, y tecnologías involucradas en la gestión de información ambiental del país, para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible". El SIAC se sustenta en un proceso de concertación interinstitucional, intersectorial e interdisciplinario, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y los Institutos de Investigación Ambiental:

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH),
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR),
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) y
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP),

[1] http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion

[2] https://www.car.gov.co/vercontenido/3

- Unidades Administrativas Especiales, el Sistema de Parques Nacionales y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA.

Es importante mencionar que los análisis hidrológicos se adelantan a partir de información secundaria suministrada por el IDEAM y/o la CAR, por tanto, los análisis que se adelantan con dicha información quedan condicionados por la resolución, frecuencia, cantidad y calidad de la información disponible.

5.2 ESTACIONES EN ÁREA DE INFLUENCIA

De acuerdo con el catálogo nacional de las estaciones del IDEAM y de la CAR, existen varias estaciones que son consideradas dentro del área de estudio, las cuales son seleccionadas inicialmente para la revisión y solicitud de la información climatológica y pluviométrica. Para esta selección preliminar se consideran dos aspectos iniciales: la cercanía al área de interés, y que la estación se encuentre activa. La Tabla 5-1 relacionan algunas de las estaciones consideradas y en la Figura 5-1 se muestra su localización relativa.

Tabla 5-1 Selección preliminar de estaciones en área de influencia

CÓDIGO	2120500135	21205890	21206480	2120565
NOMBRE	Universidad de la Sabana - Automática	Guanatá	Centro Investigación	Tabio
CATEGORÍA	Climática Principal	Meteorológica Especial	Climática Ordinaria	Climática Principal
LONGITUD	-74,03	-74,05	-74,02	7356 W
LATITUD	4,85	4,89	4,90	0446 N
ALTITUD	2.548,00	2.550,00	2.500,00	2620 m.s.n.m
DEPARTAMENTO	Cundinamarca	Cundinamarca	Cundinamarca	Cundinamarca
MUNICIPIO	Chía	Chía	Chía	Tabio
ESTADO	Activa	Activa	Activa	Activa
TECNOLOGÍA	Automática con Telemetría	Convencional	Convencional	Convencional
FECHA DE INSTALACIÓN	Octubre 16, 2018	Septiembre 15, 1976	Marzo 15, 1993	7/01/1970

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2022

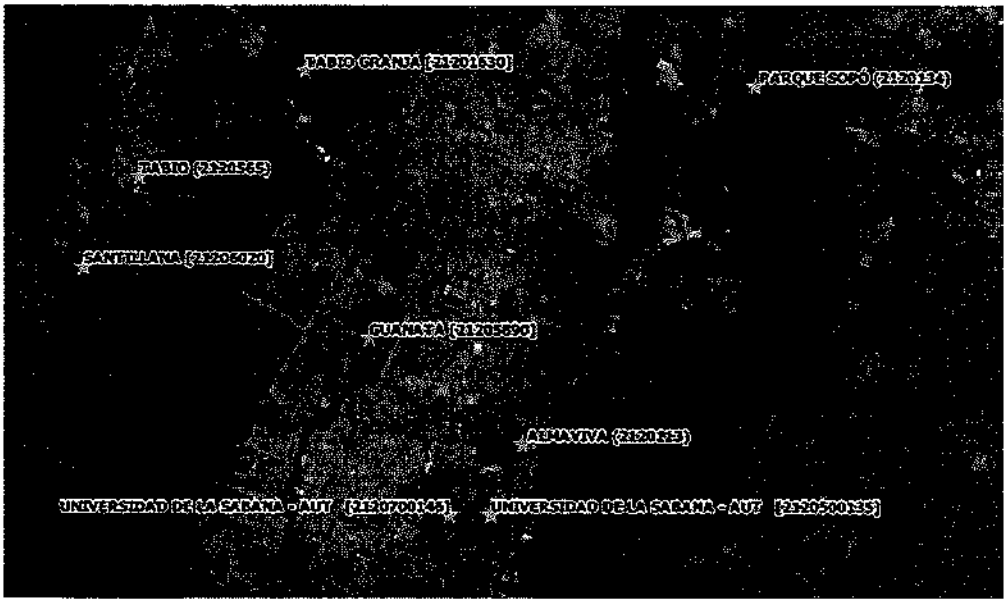


Figura 5-1 Localización de estaciones preliminarmente seleccionadas

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 202

Posteriormente, se realiza la revisión de la disponibilidad real de información de acuerdo con los registros entregados por el IDEAM a partir de la selección anterior, donde se selecciona la estación que contiene mejor registro en términos de longitud. En la Tabla 5-2 se resumen los parámetros de la estación seleccionada.

Tabla 5-2 Resumen de datos estación seleccionada datos de precipitación

Nombre	Guanatá [21205890]
Código	21205890
Tipo	Meteorológica Especial
Altitud	2550
Latitud norte	4.886
Longitud este	-74.054
Periodo registro	1996 - 2022

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2022

La estación meteorológica especial Guanatá [21205890] se encuentra ubicada al sur de las estructuras de interés en el municipio de Chía Cundinamarca, cuenta con un total de 27 (de acuerdo

con la información disponible en la página del IDEAM) años de registros de precipitación diaria y por lo tanto se considera pertinente para el análisis de la información climatológica. En el Anexo denominado ANE_HIDRO1 se presenta la información cruda de los registros de precipitación.

5.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN

Habiendo seleccionado la estación Guanatá [21205890] como la más apropiada para el análisis hidrológico del proyecto, en los siguientes numerales se presentan los diferentes análisis de la distribución temporal de la lluvia.

5.3.1 RÉGIMEN DE LLUVIAS

Como se muestra en la Figura 5-2 el régimen de precipitación en la zona de interés puede ser calificado como bimodal, con dos períodos de lluvias más abundantes, y dos períodos de bajas precipitaciones. La primera temporada de lluvias se presenta entre los meses de abril y mayo, con valores promedio mensuales máximos de 91 mm, y con una segunda temporada de lluvias entre los meses de octubre a noviembre, con un valor total anual máximo de 103 mm en el mes de noviembre, los cual coincide a nivel nacional con el periodo de mayores precipitaciones al año.

Por otra parte, la temporada de menos lluvias se presenta entre los meses de junio a septiembre y de diciembre a febrero, siendo el mes de enero, el que presenta los valores promedio totales mensuales más bajos con magnitudes de 36mm.

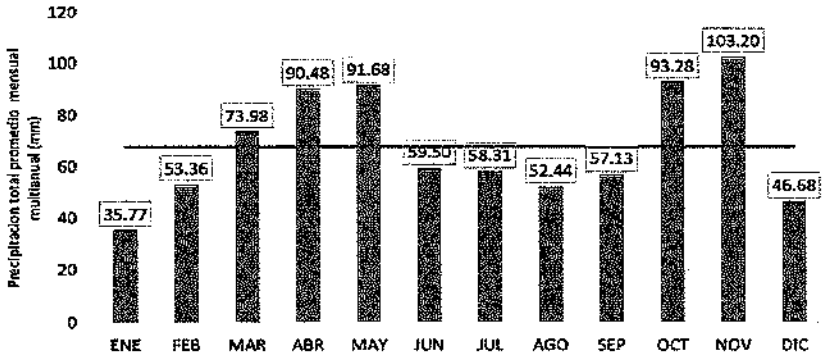


Figura 5-2 Comportamiento medio multianual de la precipitación Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

Desde el punto de vista de la totalidad de la serie de precipitación total mensual multianual, es posible decir que para los 27 años de registro disponible en la estación Guanatá [21205890] se registra un promedio general de 67,98 mm mensuales, y mientras que a nivel anual los registros indican valores totales de precipitación entre los 548 mm para el año 2001 y 1358 mm para el año 2011, con un promedio multianual de 816 mm. En el Anexo denominado ANE_HIDRO2 se presenta la información procesada de los registros de precipitación.

5.4 VALORES MÁXIMOS DE PRECIPITACIÓN

Por otro lado, un criterio relevante para el análisis de la precipitación es la magnitud de la precipitación máxima en 24hrs. De acuerdo con la información disponible, se presentan los valores

máximos de precipitación para cada año, identificando que en un año se presentaron precipitaciones mayores a 50mm en 24hrs, tal y como se observa en la Figura 5-3 presentada a continuación

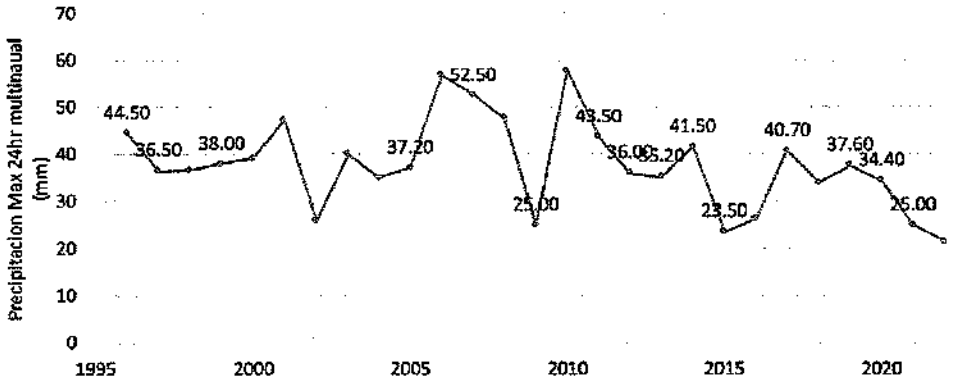


Figura 5-3 Valores máximos anuales de precipitación Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

La serie extraída para el periodo entre 1996 y 2022 evidencia que existe una variación de valores máximos entre 23-52mm, presentando una recurrencia significativa de precipitaciones entre 30-35mm.

5.5 NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA

Finalmente, de la serie de precipitación diaria en la estación Guanatá [21205890] del IDEAM es posible identificar cual es la cantidad de días al año que se ha medido históricamente la presencia de precipitación. La Tabla 5-3 permite evidenciar cual es el porcentaje de días de lluvia para cada uno de los años del registro, encontrando que predominantemente se cuenta con años con porcentajes inferiores al 50% menos de 200 días de lluvia al año, siendo el más bajo el de 2021 con 22% de días de lluvia, para un total de solo 82 días. En promedio, se puede decir que para los 27 años de registro se tienen 160 días de lluvia al año, o que representa de 45% del periodo.

Tabla 5-3 Número de días con lluvia Guanatá

AÑO	SUMA	%	AÑO	SUMA	%	AÑO	SUMA	%
1996	175	0.48	2005	166	0.45	2014	177	0.48
1997	129	0.35	2006	186	0.51	2015	139	0.38
1998	129	0.35	2007	180	0.49	2016	112	0.31
1999	188	0.52	2008	196	0.54	2017	165	0.45
2000	183	0.5	2009	162	0.44	2018	182	0.5
2001	134	0.37	2010	211	0.58	2019	162	0.44
2002	140	0.38	2011	206	0.56	2020	159	0.44
2003	149	0.41	2012	199	0.55	2021	82	0.22
2004	167	0.46	2013	182	0.5			

Nota*: Años con registros incompletos.

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

Ahora bien, si se analiza el mismo parámetro, pero a nivel mensual, la serie de datos disponible arroja que el promedio de días de lluvia a nivel mensual fluctúa entre 10 hasta 17 días al mes, evidenciando nuevamente el comportamiento bimodal en los meses de mayor precipitación total mensual, tal y como se evidencia en Figura 5-4

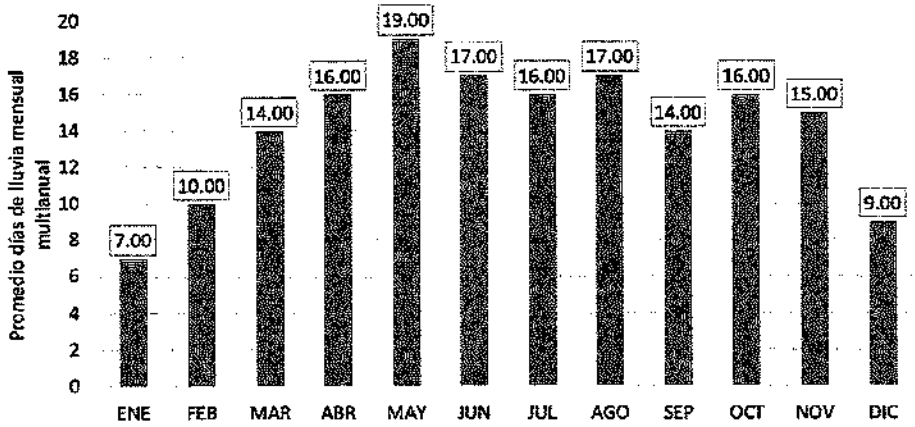


Figura 5-4 Promedio días de lluvia mensual multianual Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., a partir de la información del IDEAM, 2021

5.6 CONSTRUCCIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

La siguiente etapa en la modelación hidrológica corresponde a la distribución de la lluvia temporalmente a partir de los registros históricos, con el fin de construir la tormenta de diseño para la simulación de los caudales. En los siguientes numerales se detallan los aspectos relevantes de dicho procedimiento.

5.6.1 CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA (IDF)

Con la información de precipitación, se elaboran las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia para conocer el comportamiento de la precipitación en función de su intensidad, para diferentes periodos de retorno. La construcción de las curvas IDF se realiza mediante el método desarrollado por Vargas y Mario Diaz-Granados donde se analizaron tormentas a lo largo del territorio nacional y a partir de análisis estadísticos se desarrollaron diferentes relaciones matemáticas que permiten calcular la intensidad de un evento de lluvia a partir de 3 o 4 datos extraídos del registro de precipitación.

Las ecuaciones del método se desarrollaron para 4 diferentes regiones del país a las cuales se le asigna un grupo de coeficientes propios, generando así el mejor ajuste de las intensidades encontradas. Para el caso particular de interés en Nariño en el municipio de Chía Cundinamarca se aplican los coeficientes de la correspondientes a la Región Andina (R1) para la siguiente ecuación

$$I=a\frac{T^b}{t^c}M^D N^E P T^f$$

Una vez aplicado el método, se construye la curva intensidad, duración frecuencia donde se pueden obtener las características de una tormenta de diseño para diferentes periodos de retorno. En la Tabla 5-4 se presentan los datos correspondientes a las curvas de la Figura 5-5.

Tabla 5-4 Coeficiente para construcción de IDF

A	1.61
B	0.19
C	0.65
D	0.75
E	-0.15
F	0.08

Fuente: Diaz-Granados, Vargas, 1999

Tabla 5-5 Valores curva IDF Estación Guanatá

Periodo de retorno (años)	Duraciones (Minutos) / Intensidad (mm/h)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
2.33	80.3	51.2	39.3	32.6	28.2	25.0	22.7	20.8	19.2	18.0	16.9	16.0
5	92.8	59.1	45.4	37.7	32.6	29.0	26.2	24.0	22.2	20.8	19.5	18.5
10	105.9	67.5	51.8	43.0	37.2	33.0	29.9	27.4	25.4	23.7	22.3	21.1
25	126.0	80.3	61.7	51.2	44.3	39.3	35.6	32.6	30.2	28.2	26.5	25.1
50	143.7	91.6	70.4	58.4	50.5	44.8	40.6	37.2	34.5	32.2	30.2	28.6
100	164.0	104.5	80.3	66.6	57.6	51.2	46.3	42.4	39.3	36.7	34.5	32.6
500	222.6	141.9	109.0	90.4	78.2	69.5	62.8	57.6	53.4	49.8	46.8	44.3

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

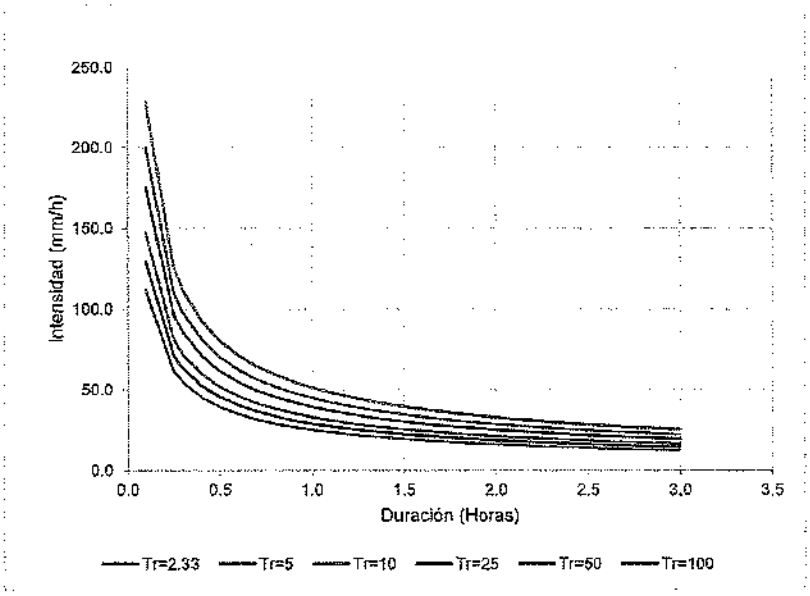


Figura 5-5 Curva IDF Estación Guanatá

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

5.6.2 HIETOGRAMA – TORMENTA DE DISEÑO

A partir de la información de la lluvia y la construcción de la curva de intensidad duración frecuencia de la estación, se elabora el hietograma de diseño que representa la distribución temporal de la lluvia para un periodo de retorno y una duración de la tormenta dada.

Para el caso particular de este estudio se requiere conocer el comportamiento de la precipitación en las cuencas de interés y por lo tanto, se considera pertinente hacer una distribución de la lluvia para diferentes periodos de retorno, y de esta manera poder representar el comportamiento de la escorrentía para un evento de lluvia determinado. Para este caso se utiliza el método de bloques alternos (*alternating block method, Chow et al 1994*). En la Figura 5-6 se presentan los hietogramas correspondientes.

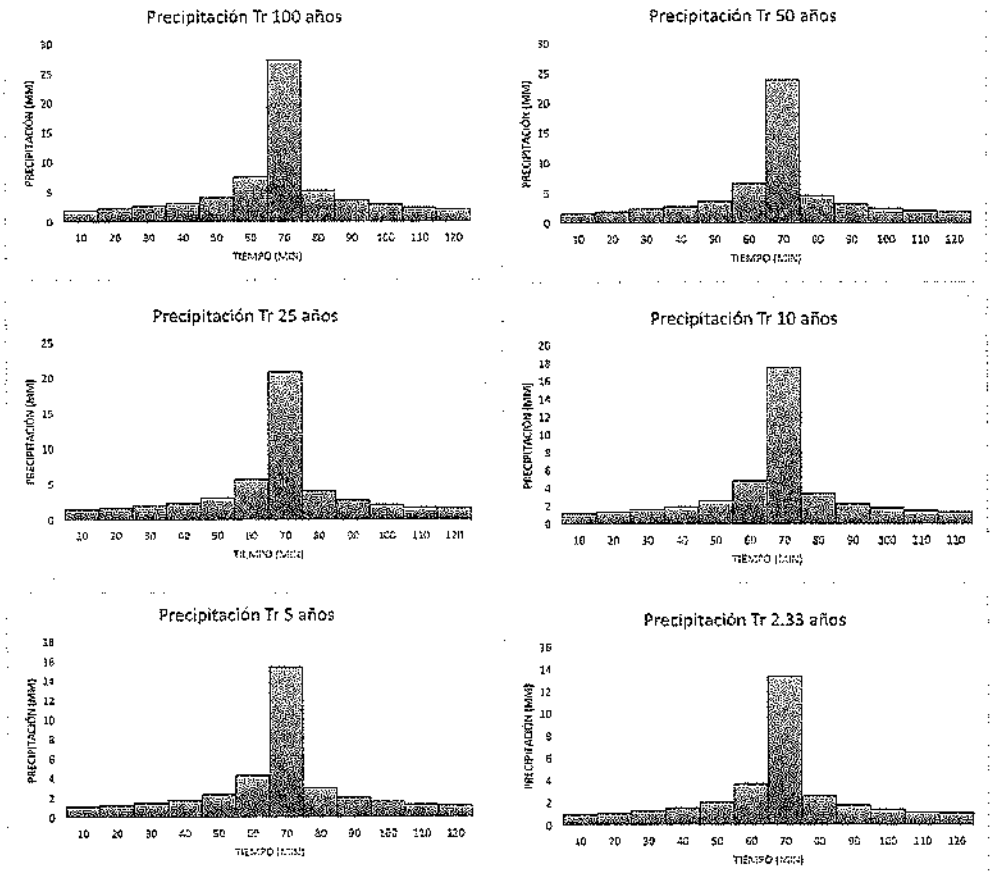


Figura 5-6 Hietogramas para 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 Años de Periodo de Retorno
Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

Tabla 5-6 Valores Hietograma para diferentes periodos de retorno

	Precipitación (mm)					
Tiempo (min)	TR 2.33	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100
10	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
20	1.1	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2
30	1.3	1.5	1.7	2.1	2.3	2.7
40	1.5	1.8	2.0	2.4	2.8	3.2
50	2.0	2.3	2.7	3.2	3.6	4.1
60	3.7	4.3	4.9	5.8	6.6	7.5
70	13.3	15.4	17.6	20.9	23.9	27.3
80	2.6	3.0	3.5	4.1	4.7	5.4
90	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6
100	1.4	1.7	1.9	2.2	2.6	2.9
110	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4
120	1.1	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2

5.7 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

Para este proyecto en particular es necesario definir el sistema de drenaje que pudiera estar asociado a las estructuras de interés, que para el caso específico de este documento corresponde a los canales que se encuentran en el área rural del municipio de Chía y de esta manera establecer el un posible comportamiento hidrológico del sistema aferente. En los siguientes numerales se definen las características de dichas áreas.

5.7.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE DRENAJE

A partir de la información definida en el numeral 5.1 y mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución, se realizó la definición del área de drenaje aferente a los puntos de interés.

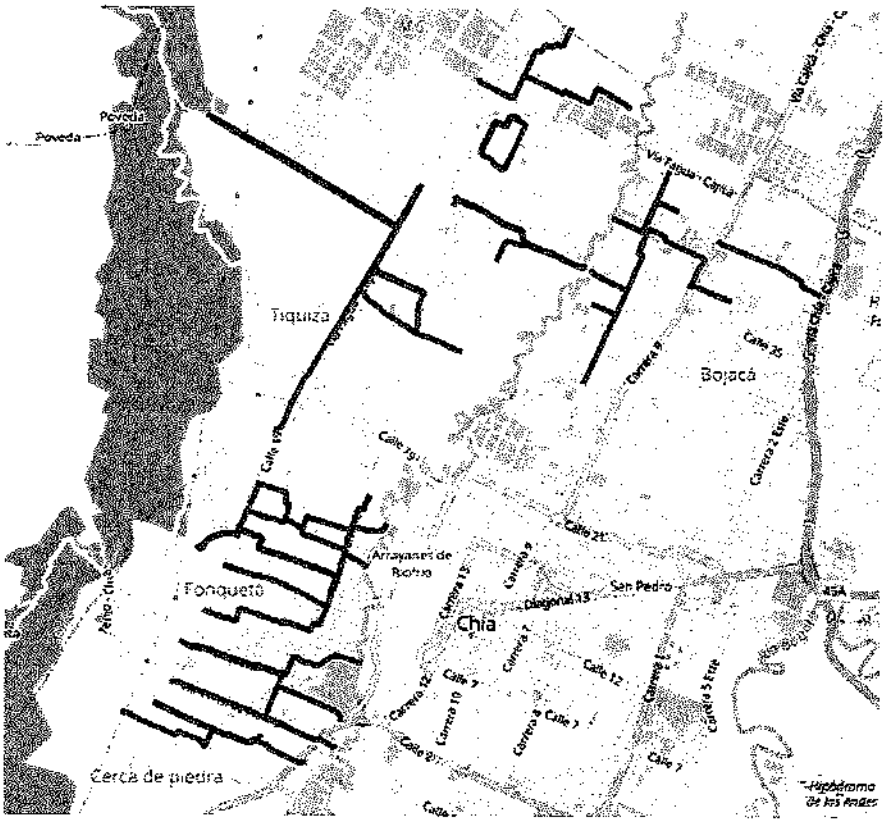


Figura 5-7 Canales de interés

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

Ahora bien, teniendo en cuenta que el área aferente a los canales mencionados corresponde a una zona rural con desarrollo de vivienda, las cuencas que pueden aportar escorrentía a estos sistemas están definidas por los alineamientos de las calles y la configuración catastral cercana para las zonas planas, mientras para las zonas montañosas la cartografía 1:25.000 del IGAC permite una acertada aproximación para la delimitación de estas.

En la Figura 5-8 que se muestra a continuación se identifican las áreas definidas como aferentes, y que son uno de los insumos requeridos para el modelo hidrológico, como se explicará más adelante. En la Tabla 5-7 se relacionan las magnitudes asociadas

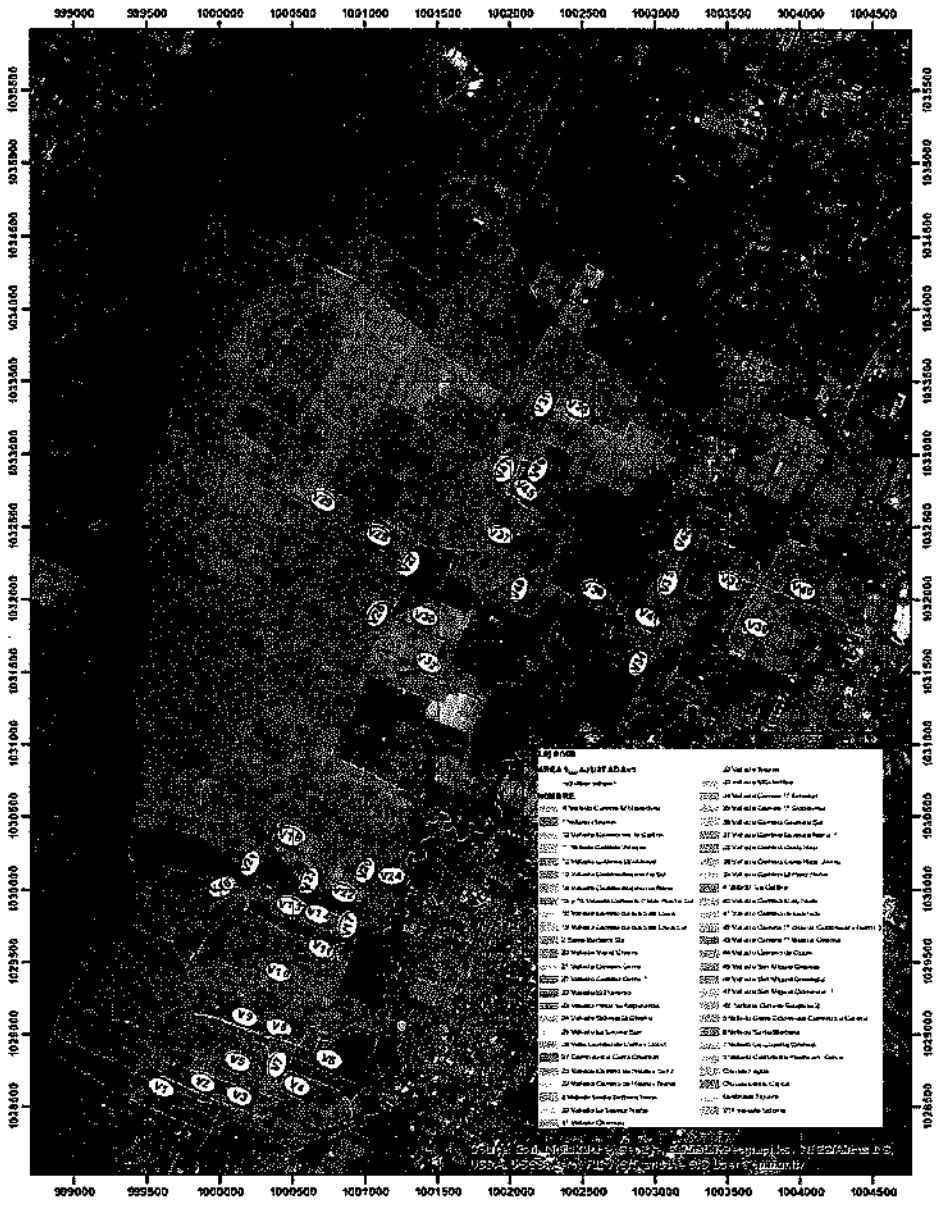


Figura 5-8 Cuencas aferentes a Canales de interés

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

Tabla 5-7. Caracterización morfométrica

Id	Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)
1	Vallado Pinares	0.016	0.203
2	Vallado Santa Bárbara sur	0.010	0.149
3	Vallado Santa Bárbara norte	0.008	0.121
4	Vallado camino La Carolina	0.010	0.013
5	Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.017	0.557
6	Vallado Santa Bárbara	0.017	0.270
7	Vallado La Lucerna Oriental	0.010	0.040
8	Vallado camino El Rodadero	0.024	0.476
9	Vallado camino de Piedra en Cerca	0.015	0.271
10	Vallado camino La Carlina	0.011	0.242
11	Vallado camino Al Volador	0.010	0.269
12	Vallado Lucerna Occidental	0.004	0.016
13	Vallado camino Alejandría Sur	0.011	0.111
14	Vallado camino Alejandría Norte	0.008	0.052
15	Canaleta placa huella sur	0.098	0.163
16	Canaleta placa huella norte	0.092	0.163
17	Vallado Sidonia	0.025	0.033
18	Vallado camino de Las 6 Eses	0.008	0.083
19	Vallado camino de Las 6 Eses sur	0.007	0.098
20	Vallado vía al Chorro	0.023	0.014
21	Vallado camino al Cerro	0.010	0.577
22	Vallado El Potrerito	0.007	0.127
23	Vallado finca La Esperanza	0.007	0.011
24	Vallado Sidonia El Chorro	0.029	0.042
25	Vallado La Leonor sur	0.004	0.026
26	Vallado camino de Cerro – occidental	0.010	0.862
27	Vallado camino de Cerro - oriental	0.002	0.095
28	Vallado camino de Retiro - sur	0.156	1.486
29	Vallado camino de Retiro - norte	0.007	0.361
30	Vallado La Leonor norte/occidente	0.010	0.139
31	Vallado Chamizo	0.004	0.240
32	Chucua de Tíquiza	0.010	0.270
33	Vallado MG Tambo	0.008	0.440
34	Vallado Carrera 11 oriental	0.005	0.163
35	Vallado Carrera 11 occidental	0.001	0.036
36	Vallado camino Guanatá sur	0.006	0.143

Id	Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)
37	Vallado camino Guanatá norte	0.005	0.340
38	Vallado camino Costa Rica	0.001	0.157
39	Vallado camino El Pozo norte	0.001	0.159
40	Vallado camino Ical norte	0.002	0.336
41	Vallado camino de Guanatá	0.006	0.081
42	Vallado carrera 11 Bojacá occidental	0.001	0.100
43	Vallado carrera 11 Bojacá oriental	0.001	0.076
44	Vallado camino de Colón	0.001	0.032
45	Vallado San Miguel oriental	0.011	0.025
46	Vallado San Miguel oriental 2	0.008	0.147
47	Vallado San Miguel occidental	0.008	0.065
48	Vallado camino Guanatá 2	0.007	0.085
49	Chucua Fagua	0.120	3.140
50	Chucua limite Cajica	0.004	2.600
51	Chucua de Tíquiza	0.145	1.320

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

5.8 PARÁMETROS DE CALCULO DE ESCORRENTÍA

El almacenamiento en la cuenca se puede expresar en términos de un parámetro adimensional que tiene en cuenta las características geomorfológicas del suelo, su uso y cobertura vegetal. Este parámetro es conocido, de acuerdo con la metodología propuesta por el SCS, como el número de curva (CN).

El número de curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología de la zona de estudio, el uso del suelo, el grado de área impermeable en la cuenca, la condición del suelo, es decir, si es pobre, aceptable o buena, y la condición de humedad antecedente. Este parámetro varía entre 0 y 100, siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presenta un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración aquel que presenta un CN igual a 100. De acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras de Invias 2009, a continuación, se presentan los CN recomendados según la cobertura para una condición de humedad Normal, escenario simulado para el área de estudio.

Tabla 5-8. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES[1]	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida):					
Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.)[2]					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas:					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables)[3]		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barreras impermeables de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; Cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Áreas urbanas:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 de acre o menos (506 m^2 o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m^2)	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m^2)	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m^2)	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m^2)	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m^2)	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas:					
Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Referencia: Monsalve S. Germán. "Hidrología en la Ingeniería". Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

1 El porcentaje promedio de área impermeable muestreada fue empleado para desarrollar el conjunto de valores de CN. Otras suposiciones son las siguientes: áreas impermeables están directamente conectadas con el sistema de drenaje, áreas impermeables tienen un CN=98; y áreas permeables son consideradas equivalentes a espacios abiertos con una condición hidrológica buena.

2 CNs mostrados son equivalentes a aquéllos de pastos. Se pueden calcular valores de CN compuestos para otras combinaciones de tipo de cobertura de espacios abiertos.

3 Los valores de CN de áreas permeables se suponen equivalentes a arbustos de desierto con un condición hidrológica pobre

Tabla 5-9. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas y tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo[1]	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	—	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento[2]	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30[3]	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles)[4]	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques[5]	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	—	59	74	82	86

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

1 Mala: Menos de 50% del suelo cubierto con pastoreo intensivo sin maleza Regular: 50 a 75% del suelo cubierto y un pastoreo no muy intensivo. Buena: más del 75% del suelo cubierto y un pastoreo ocasional a ligero.

2 Mala: Menos del 50% del suelo cubierto. Regular: 50 a 75% del suelo cubierto. Buena: más del 75% del suelo cubierto.

3 Número de curva actual menor a 30. Emplear CN=30 para cálculos de escorrentía.

4 Los valores de CN mostrados se calcularon para áreas con 50% bosques y 50% cubiertas con pastos. Se pueden calcular otras combinaciones de CN para bosques y pastos.

5 Mala: Humus vegetal, pequeños árboles y maleza destruida por pastoreo intensivo, y quemas regulares. Regular: Bosques con pastoreo pero no quemados, suelo cubierto por humus vegetal. Buena: Bosques protegidos del pastoreo, y el suelo cubierto adecuadamente por humus vegeta.

La tabla anterior está definida a partir de los 5 criterios principales, los cuales se describen brevemente a continuación:

- Clasificación de los suelos: Los suelos se clasifican en cuatro categorías (A, B, C y D) según su tasa mínima de infiltración, que se obtiene para suelo desnudo después de un humedecimiento prolongado.
- Condición hidrológica: La condición hidrológica indica los efectos del tipo de cobertura y el tratamiento sobre la infiltración y la escorrentía y generalmente se estima a partir de la densidad de la cobertura vegetal y de residuos en las áreas de muestreo. Algunos factores por considerar al estimar el efecto de la cobertura sobre la infiltración y la escorrentía son: (a) dosel o densidad de césped, cultivos u otras áreas vegetativas; (b) cantidad de cobertura durante todo el año; (c) cantidad de gramíneas o leguminosas de semillas compactas en rotaciones; (d) porcentaje de cobertura de residuos; y (e) grado de rugosidad superficial.
- Tipo de cobertura: Hay varios métodos para determinar el tipo de cobertura. Los más comunes son el reconocimiento de campo, las fotografías aéreas y los mapas de uso de la tierra. El tratamiento es un modificador del tipo de cobertura para describir el manejo de las tierras agrícolas cultivadas. Incluye prácticas mecánicas, como contorneado y terrazas, y prácticas de manejo, como rotaciones de cultivos y labranza reducida o nula.
- Condición de humedad antecedente: El índice de potencial de escorrentía antes de una tormenta es la condición de escorrentía antecedente (ARC). El CN para el ARC promedio en un sitio es el valor mediano tomado de la muestra de datos de lluvia y escorrentía.
- Porcentaje de área impermeable: El porcentaje de área impermeable y los medios para transportar la escorrentía desde las áreas impermeables a los sistemas de drenaje deben considerarse al calcular la CN para áreas urbanas. Un área impermeable se considera conectada si la escorrentía fluye directamente hacia los sistemas de drenaje. También se considera conectado si la escorrentía ocurre como un flujo superficial concentrado poco profundo que corre sobre un área permeable y luego hacia un sistema de drenaje.
- En la zona de estudio de acuerdo con el mapa de cobertura del suelo

En la zona de estudio de acuerdo con el mapa de cobertura del suelo se tienen las siguientes coberturas

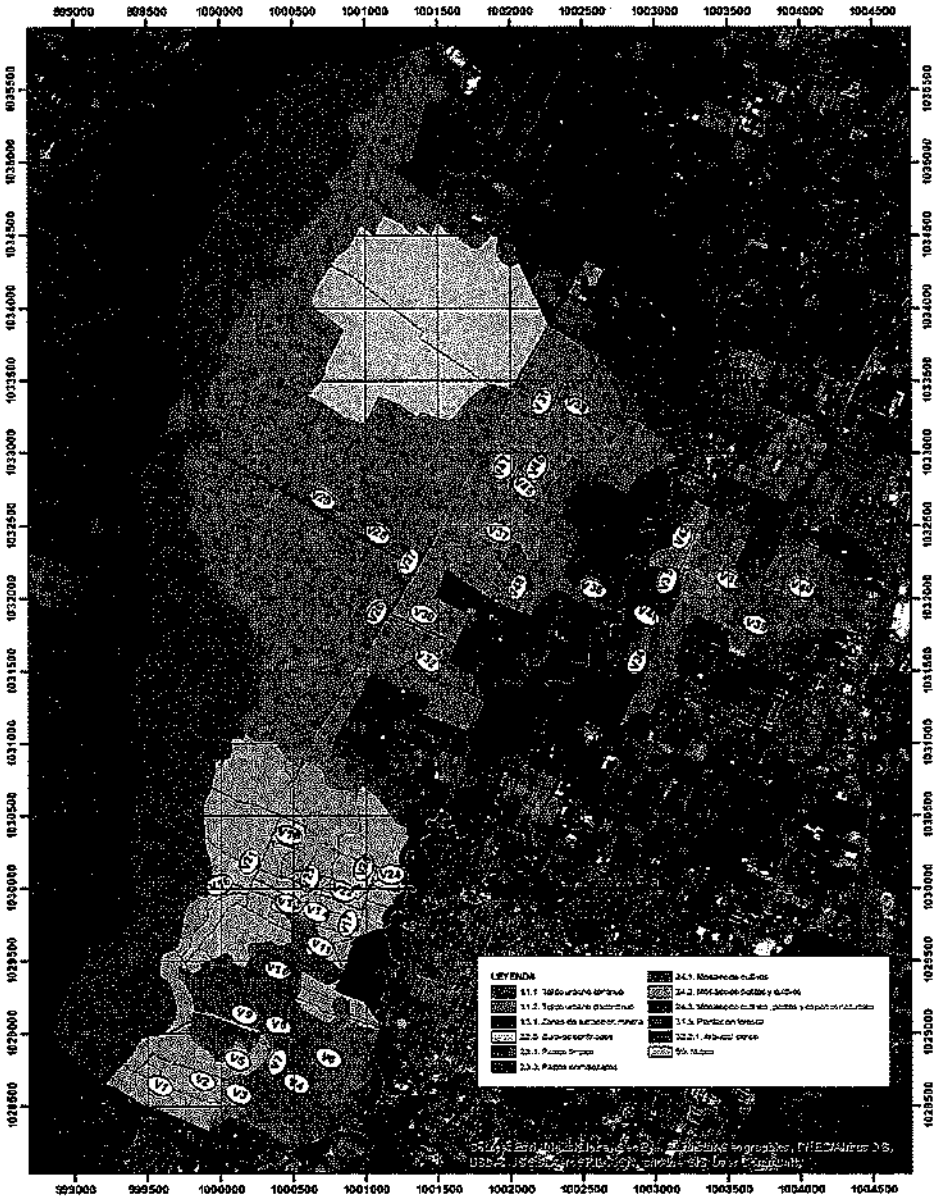


Figura 5-9 Cobertura de suelos en las cuencas aferentes a los vallados

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

De acuerdo con la información disponible, se identifica que las cuencas de los puntos de interés tienen condiciones de recubrimiento del suelo caracterizadas por zonas de poca urbanización, presencia de vías en afirmado en su mayoría, fincas y parcelas destinadas a cultivos de bajo porte y pastizales, con viviendas unifamiliares aisladas predominantemente, y algunas edificaciones grandes tipo invernadero. En ese sentido, los criterios para la selección del CN en la

Tabla 5-8 son:

- Clasificación de los suelos: A (condición promedio - favorable)
- Condición hidrológica: Fair (condición promedio - desfavorable)
- Condición de humedad antecedente: Condición escorrentía promedio Ia = 0.2S

Se asignaron los siguientes números de curva para las coberturas encontradas

Tabla 5-10. CN para las coberturas encontradas en las cuencas de los vallados

GRUPO DE SUELO CON CONDICIÓN HIDROLÓGICA NORMAL	
COBERTURA DEL SUELO	**CN**
1.1.1. Tejido urbano continuo	75
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	68
2.2.5. Cultivos confinados	72
2.3.1. Pastos limpios	63
2.3.3. Pastos enmalezados	63
2.4.1. Mosaico de cultivos	65
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	63
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	60
3.1.5. Plantación forestal	60
3.2.2.1. Arbustal denso	63

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

En la tabla que se presenta a continuación, se presentan los valores asignados a cada cuenca.

Tabla 5-11. Parámetros de cálculo de escorrentia

Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)	Cn	Tlag (min)
Vallado Pinares	0.016	0.203	63	53
Vallado Santa Bárbara sur	0.010	0.149	68	80
Vallado Santa Bárbara norte	0.008	0.121	65	76
Vallado camino La Carolina	0.010	0.013	75	12
Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.017	0.557	62	77
Vallado Santa Bárbara	0.017	0.270	64	35
Vallado La Lucerna Oriental	0.010	0.040	73	26
Vallado camino El Rodadero	0.024	0.476	63	43
Vallado camino de Piedra en Cerca	0.015	0.271	69	71
Vallado camino La Carlina	0.011	0.242	68	73
Vallado camino Al Volador	0.010	0.269	65	75
Vallado Lucerna Occidental	0.004	0.016	65	23
Vallado camino Alejandría Sur	0.011	0.111	63	69

Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)	Cn	Tlag (min)
Vallado camino Alejandría Norte	0.008	0.052	63	78
Canaleta placa huella sur	0.098	0.163	65	10
Canaleta placa huella norte	0.092	0.163	65	11
Vallado Sidonia	0.025	0.033	63	22
Vallado camino de Las 6 Eses	0.008	0.083	63	47
Vallado camino de Las 6 Eses sur	0.007	0.098	63	39
Vallado vía al Chorro	0.023	0.014	68	18
Vallado camino al Cerro	0.010	0.577	63	34
Vallado El Potrerito	0.007	0.127	63	85
Vallado finca La Esperanza	0.007	0.011	63	14
Vallado Sidonia El Chorro	0.029	0.042	63	17
Vallado La Leonor sur	0.004	0.026	68	54
Vallado camino de Cerro – occidental	0.010	0.862	63	180
Vallado camino de Cerro - oriental	0.002	0.095	68	118
Vallado camino de Retiro - sur	0.156	1.486	65	27
Vallado camino de Retiro - norte	0.007	0.361	63	137
Vallado La Leonor norte/occidente	0.010	0.139	63	60
Vallado Chamizo	0.004	0.240	68	113
Chucua de Tíquiza	0.010	0.270	64	71
Vallado MG Tambo	0.008	0.440	65	77
Vallado Carrera 11 oriental	0.005	0.163	62	136
Vallado Carrera 11 occidental	0.001	0.036	63	77
Vallado camino Guanatá sur	0.006	0.143	65	106
Vallado camino Guanatá norte	0.005	0.340	63	116
Vallado camino Costa Rica	0.001	0.157	69	213
Vallado camino El Pozo norte	0.001	0.159	68	105
Vallado camino Ical norte	0.002	0.336	64	162
Vallado camino de Guanatá	0.006	0.081	63	36
Vallado carrera 11 Bojacá occidental	0.001	0.100	63	135
Vallado carrera 11 Bojacá oriental	0.001	0.076	66	92
Vallado camino de Colón	0.001	0.032	63	62
Vallado San Miguel oriental	0.011	0.025	68	36
Vallado San Miguel oriental 2	0.008	0.147	64	62
Vallado San Miguel occidental	0.008	0.065	68	42
Vallado camino Guanatá 2	0.007	0.085	64	36
Chucua Fagua	0.120	3.140	62	48
Chucua límite Cajicá	0.004	2.600	65	247

Cuenca	Pendiente (m/m)	Área aferente (km^2)	Cn	Tlag (min)
Chucua de Tíquiza	0.145	1.320	61	38

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

5.9 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

El modelo HEC –HMS 4.2.1es un modelo lluvia – escorrentía que calcula el hidrograma producido por una cuenca a partir de los datos físicos de la cuenca y la precipitación considerada, utilizando diferentes métodos para el cálculo de la infiltración y la transformación de la precipitación en escorrentía.

Los hidrogramas de caudal para una creciente en la cuenca se determinaron con el modelo HEC – HMS (Hydrologic Modeling System) del Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos, el cual puede determinar dichos hidrogramas empleando diferentes metodologías de cálculo (USACE, 2020).

Este modelo está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente modela un aspecto del proceso lluvia-escorrentía dentro de una subcuenca o subárea; los componentes incluyen la escorrentía superficial de la subcuenca, los canales y los embalses.

Elemento Subcuenca o subárea: En este elemento, a partir de los datos meteorológicos (en este estudio se empleó solamente la lluvia), se realiza el balance hídrico descontando las pérdidas de agua por infiltración, y se transforma el exceso de precipitación en escorrentía superficial con la posibilidad de trabajar con y sin flujo base.

- Tramo del cauce o canal: esquematiza el comportamiento de un canal, con la posibilidad de recibir uno o varios flujos de entrada dando lugar a un solo flujo de salida.
- Nodos o Confluencias: reciben uno o varios flujos entrantes y dan lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente de ríos o canales, con la posibilidad de obtener también, flujos entrantes procedentes de subcuencas.

Cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrogramas de escorrentía directa para varias subáreas y los hidrogramas de caudal en lugares predeterminados de la cuenca..

Es posible también simular el comportamiento de salidas de flujo en el sistema de drenaje, como es el caso de los puntos donde se extrae caudal a partir de bombeo. También, el modelo es capaz de simular el comportamiento en tanques de almacenamiento.

5.9.1 MÉTODO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS) PARA EL CÁLCULO DE LAS ABSTRACCIONES Y LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA.

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service - SCS), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración cuantificada a partir de un parámetro conocido como el número de curva de escorrentía.

Si se conoce el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta (P), y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia, en éste una parte del volumen en el inicio de la lluvia, es retenido o interceptado en la vegetación o en depresiones topográficas, de forma que en un aguacero existe una pérdida de volumen inicial o abstracción inicial (I_a).

De igual forma, parte de dicho volumen se infiltra en el suelo (F_a), es decir sólo una parte de la lluvia total es la que contribuye a la escorrentía directa (precipitación efectiva, Pe). El método del SCS parte de la relación entre las siguientes cantidades:

$$\frac{F_a}{S}=\frac{P_e}{P-I_a}$$

Donde S es la retención potencial máxima, o el almacenamiento. Siguiendo con la deducción de la precipitación efectiva, por el principio de continuidad se tiene que,

$$P=P_e+I_a+F_a$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene,

$$P_e=\frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S}$$

Siendo esta última la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, donde las abstracciones iniciales pueden ser expresadas en términos del almacenamiento, a partir de la expresión $I_a=C_a\,S$, donde C_a un coeficiente que varía entre 0.15 y 0.20 para cuencas colombianas.

5.9.2 TRANSFORMACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA – HIDROGRAMA UNITARIO DEL SCS.

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondientes a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un hidrograma unitario sintético adimensional. En este hidrograma, el caudal máximo se expresa en términos del área de drenaje (A) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico (Tp), a partir de la siguiente ecuación:

$$Qp=\frac{2.08A}{Tp}$$

Donde,

$$Tp=\frac{tr}{2}+tp$$

Donde tr es el tiempo de duración de la lluvia y tp el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el pico del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración (Tc), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que $tr=0.60\,Tc$.

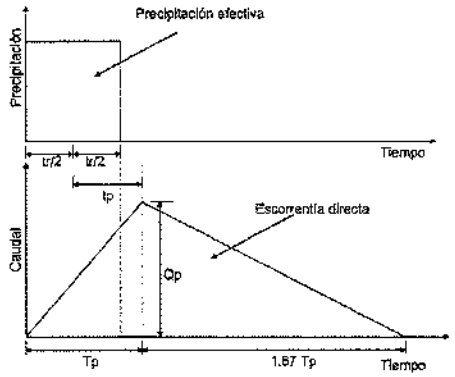


Figura 5-10 Esquema del Hidrograma unitario del SCS

Fuente: HEC – HMS, USACE, 2021.

El tiempo de retardo o rezago (T_{lag}) puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$T_{lag} = L^{0.8} \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}}$$

Donde T_{lag} es el tiempo de retardo en horas, L es la longitud hidráulica en pies, CN es el número de Curva, y Y es la pendiente en porcentaje.

5.9.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO TOPOLÓGICO

La aplicación de los modelos mencionados mediante el uso de la herramienta -HEC-HMS requiere de la representación matemática de cada uno de los componentes relevantes de las metodologías, para así reproducir el posible comportamiento de las variables de interés dentro del sistema. El programa trabaja con cuatro módulos básicos que definen en su conjunto la entrada de datos y la estructura de simulación de la cuenca:

- Datos de entrada. El programa presenta un sistema de entrada de datos. Datos que serán posteriormente tratados de acuerdo con los distintos submódulos de modelado para los que se requieren.
- Modelo de cuenca. El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. El usuario desarrolla un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca.
- Modelo de precipitación. Calcula la precipitación requerida en una subcuenca. Se puede utilizar información puntual de precipitación o distribuida espacialmente. El módulo puede modelar precipitación sólida y líquida y, también, evapotranspiración. El cálculo de la evapotranspiración sólo es requerido cuando se modelan respuestas hidrológicas en largos periodos de tiempo.
- Módulo de control. Las especificaciones de control fijan el tiempo de duración de cada ejecución de una simulación. Las especificaciones de control deben incluir la fecha de inicio, la fecha de finalización y el intervalo de tiempo (minutos, horas, días) de la simulación.

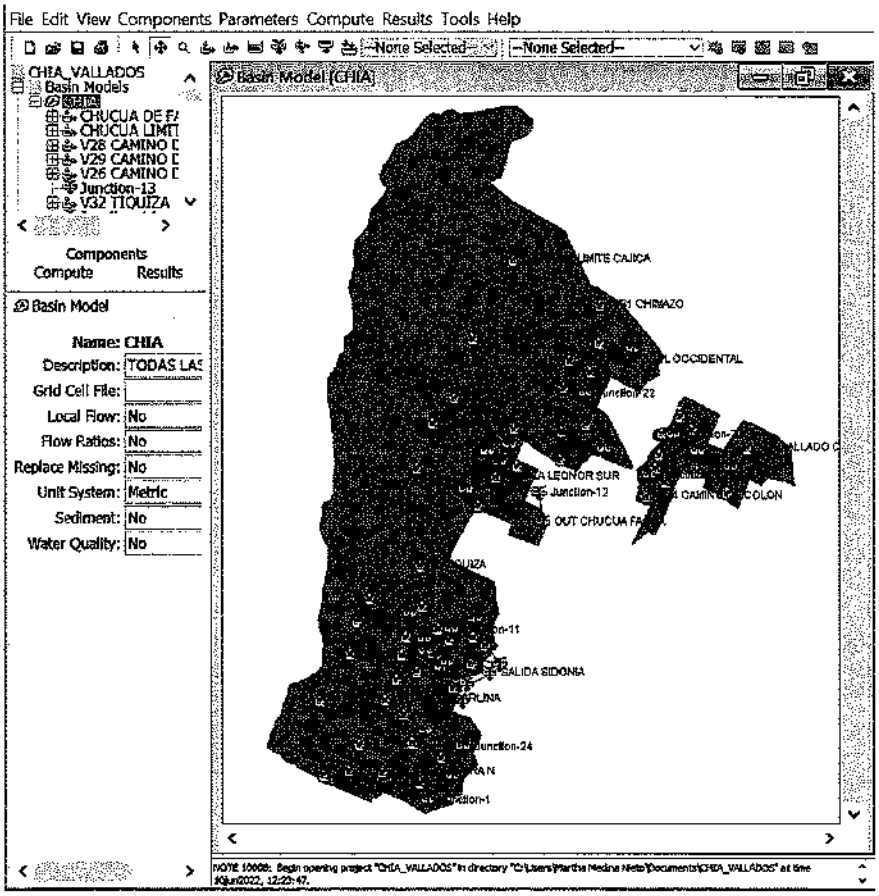
Para este caso se construye el modelo de las dos cuencas de interés, como se presenta en la Figura 5-11, dentro del cual se definen todos los parámetros requeridos. En el Anexo ANE_HIDRO3 Modelo Hidrológico se presentan los archivos correspondientes a la construcción del modelo.

5.9.4 SIMULACIÓN DE HIDROGRAMAS

Para la construcción del modelo matemático en HEC-HMS, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones generales.

- Para el cálculo de dichos hidrogramas, se empleó la metodología del hidrograma unitario (HU) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, sin flujo base.
- Las pérdidas o abstracciones se estimaron también empleando la metodología del SCS, que involucra el número de curva (CN).
- Las simulaciones hidrológicas en la cuenca se presentan para eventos de lluvia de 2.33, 5, 10, 25, 50,100 años, eventos obtenidos a partir de las curvas IDF sintéticas propuestas por Vargas y Díaz-Granados (1998) mostradas anteriormente.
- Se simulan las cuencas de manera individual, sin considerar tránsito de creciente por ningún cauce.

Figura 5-11 Modelo Topológico HEC-HMS



Fuente: HEC – HMS, USACE, 2021. - Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

A continuación, se presentan los cálculos de los caudales para las áreas de drenaje propias asociadas a cada canal, empleando el método del SCS, caudales que fueron estimados para periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, de acuerdo con las condiciones de precipitación en la zona. En el Anexo ANE_HIDRO4 Resultados Modelo Hidrológico se presentan los archivos correspondientes a los resultados obtenidos

Tabla 5-12. Caudales pico estimados para cada cuenca para diferentes peridos.

Elemento	Área	Caudal (m^3/s) para diferentes periodos de retorno					
		2.33	5	10	25	50	100
CHUCUA DE FAGUA	3.14	0.006	0.138	0.448	1.152	2.028	3.287
CHUCUA LIMITE CAJICÁ	2.6	0.021	0.084	0.196	0.430	0.700	1.076
CHUCUA DE TIQUIZA	1.32	0.000	0.055	0.213	0.562	1.003	1.636
PINARES	0.2	0.001	0.011	0.033	0.081	0.138	0.221

Elemento	Área	Caudal (m^3/s) para diferentes periodos de retorno					
		2.33	5	10	25	50	100
SANTA BÁRBARA SUR	0.15	0.012	0.029	0.053	0.101	0.153	0.224
STA BARBARA NORTE	0.12	0.002	0.011	0.025	0.055	0.089	0.138
LA CAROLINA	0.013	0.008	0.015	0.024	0.040	0.057	0.081
LA CAROLINA OCCIDENTAL	0.56	0.001	0.019	0.063	0.170	0.301	0.490
SANTA BÁRBARA	0.27	0.008	0.036	0.083	0.180	0.297	0.464
LUCERNA ORIENTAL	0.04	0.016	0.028	0.045	0.080	0.117	0.165
RODADERO	0.47	0.004	0.037	0.104	0.242	0.415	0.660
CAMINO DE PIEDRA EN CERCA	0.27	0.029	0.065	0.118	0.216	0.323	0.466
VIA LA CARLINA	0.24	0.019	0.046	0.087	0.167	0.254	0.372
CAMINO VOLADOR	0.27	0.007	0.026	0.060	0.129	0.209	0.321
LUCERNA OCCIDENTAL	0.016	0.001	0.003	0.007	0.013	0.022	0.035
CAMINO ALEJANDRÍA SUR	0.111	0.001	0.007	0.019	0.045	0.076	0.119
CAMINO ALEJANDRÍA NORTE	0.052	0.000	0.003	0.007	0.018	0.031	0.049
ÁREA DE PLACA HUELLA	0.32	0.022	0.072	0.139	0.285	0.497	0.812
SIDONIA	0.033	0.000	0.004	0.010	0.021	0.035	0.059
CAMINO LAS 6 ESES	0.083	0.001	0.006	0.017	0.041	0.069	0.110
CAMINO LAS 6 ESES SUR	0.098	0.001	0.008	0.023	0.053	0.089	0.141
VIA AL CHORRO	0.014	0.003	0.005	0.010	0.019	0.031	0.047
CAMINO CERRO	0.37	0.003	0.034	0.088	0.208	0.351	0.563
CAMINO CERRO	0.2	0.002	0.018	0.049	0.114	0.192	0.306
EL PROTERITO	0.127	0.001	0.006	0.016	0.041	0.070	0.113
FINCA LA ESPERANZA	0.011	0.000	0.001	0.004	0.007	0.013	0.022
SINDONIA EL CHORRO	0.042	0.001	0.005	0.013	0.028	0.048	0.081
LA LEONOR SUR	0.026	0.003	0.006	0.012	0.022	0.034	0.050
CAMINO DE CERRO - OCC	0.086	0.000	0.002	0.006	0.014	0.025	0.039
CAMINO DE CERRO - ORI	0.095	0.005	0.012	0.023	0.045	0.068	0.100
CAMINO DE RETIRO	1.5	0.076	0.280	0.577	1.187	1.945	3.008
CAMINO DE RETIRO - NORTE	0.36	0.001	0.010	0.031	0.077	0.133	0.213
CAMINO LA LEONOR NORTE	0.14	0.001	0.008	0.023	0.056	0.096	0.154
CHAMIZO	0.24	0.021	0.052	0.097	0.186	0.284	0.415
TÍQUIZA	0.27	0.003	0.019	0.048	0.113	0.190	0.297
MG TAMBO	0.44	0.006	0.027	0.062	0.137	0.223	0.343
CARRERA 11 ORIENTAL	0.16	0.000	0.003	0.010	0.029	0.051	0.085
CARRERA 11 OCCIDENTAL	0.036	0.000	0.002	0.005	0.013	0.022	0.034
CAMINO GUNATÁ SUR	0.14	0.002	0.009	0.021	0.047	0.078	0.121
CAMINO GUNATÁ NORTE	0.34	0.001	0.011	0.034	0.084	0.145	0.232
CAMINO COSTA RICA	0.124	0.006	0.014	0.024	0.043	0.063	0.089

Elemento	Área	Caudal (m^3/s) para diferentes periodos de retorno					
		2.33	5	10	25	50	100
CAMINO COSTA RICA ARRIBA	0.032	0.000	0.002	0.003	0.007	0.011	0.017
CAMINO EL POZO NORTE	0.16	0.009	0.023	0.043	0.083	0.127	0.186
ICAL NORT	0.33	0.003	0.013	0.032	0.074	0.122	0.190
CAMINO GUNATÁ	0.081	0.001	0.007	0.019	0.045	0.076	0.122
CARRERA 11 BOJACA OCC	0.099	0.000	0.003	0.009	0.022	0.038	0.061
CARRERA 11 BOJACA OREINT	0.075	0.003	0.008	0.018	0.036	0.057	0.085
CAMINO DE COLÓN	0.031	0.000	0.002	0.005	0.013	0.022	0.035
CAMINO GUANATÁ	0.0847	0.002	0.010	0.024	0.053	0.088	0.140

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

6 DISEÑO GEOMÉTRICO E HIDRÁULICO A NIVEL DE PRE FACTIBILIDAD

6.1 GENERALIDADES

La modelación hidráulica se realiza con el modelo HEC-GEORAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América, a continuación, se presenta las bases conceptuales del modelo implementado.

6.2 MARCO TEÓRICO

HEC-GeoRAS es un sistema integrado diseñado para un uso interactivo en ambientes multiusuarios. El sistema está compuesto de una interfase gráfica para el usuario, análisis de componentes hidráulicos por separado, almacenamiento de datos y manejo de funciones, gráficos y facilidades en la generación de reportes.

La versión HEC-GeoRAS soporta el cómputo de perfiles de agua en flujos permanentes y no permanentes. El modelo está diseñado para desarrollar los cálculos hidráulicos en una dimensión para redes naturales y artificiales. El sistema puede manejar una red completa de canales, un sistema dendrítico o un solo río. El componente de flujo permanente soporta análisis con flujos subcríticos, supercríticos, críticos y mixtos. El procedimiento básico de computación está basado en la solución unidimensional de la ecuación de energía.

La pérdida de energía es evaluada por fricción (Ecuación de Manning) y coeficientes de contracción y/o expansión multiplicados por el cambio en la carga de velocidad. La ecuación de Momentum es utilizada en situaciones donde el perfil de agua es rápidamente variado; en estas situaciones se incluyen flujos mixtos, saltos hidráulicos, hidráulica de puentes y evaluación de perfiles en la confluencia de ríos.

6.2.1 CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL

Las ecuaciones para los cálculos básicos de los perfiles de flujo de agua superficial son calculadas de una sección a otra, resolviendo la ecuación de energía mediante un sistema de iteraciones denominada "Método del paso estándar". La pérdida de energía entre dos secciones está compuesta por pérdidas de fricción y contracción.

Subdivisiones en las secciones transversales para cálculos de transporte de caudal: La determinación del transporte total y del coeficiente de velocidad para una sección transversal requiere que el flujo sea subdividido en unidades en las cuales la velocidad es uniformemente distribuida. El algoritmo utilizado por HEC-RAS subdivide el flujo en las áreas del canal principal utilizando la entrada de los valores de coeficiente de Manning. El transporte del flujo es calculado con la subdivisión con la siguiente forma de la Ecuación de Manning:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

Donde:

K : Subdivisión para transporte

n: Coeficiente de rugosidad de Manning para la subdivisión

A: Área del flujo para la subdivisión

R: Radio hidráulico para la subdivisión

El programa suma todos los transportes para obtener el transporte adecuado en la banca derecha e izquierda. El canal principal es usualmente analizado como un elemento singular. El transporte total para la sección transversal es obtenido al sumar las tres subdivisiones de transporte (izquierdo, derecho, y canal principal)

6.2.2 COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL

El flujo en el Canal no se subdivide excepto cuando el coeficiente de rugosidad es cambiado en el área del canal. El programa determina si el valor de n que corresponde a la sección transversal puede ser subdividida, o si el valor de n compuesto para el canal principal puede ser utilizado basado en el siguiente criterio:

Si la pendiente lateral del canal es más pronunciada que 5H:1V y el canal principal tiene más de un valor de n, se calcula automáticamente un valor de nc compuesto. El modelo determina la rugosidad equivalente; existen muchas hipótesis para el cálculo de este parámetro Paulovskii, Muhlhofer, Banks, Lotter entre otros. Además, usa las recomendaciones de Horton y Einstein que se basa en el supuesto de considerar que cada sub-área tiene la misma velocidad e igual a la velocidad media de la sección con lo cual se obtiene lo siguiente:

$$n_c = \sum \left(Pi \cdot ni^{1.5}\right)^{2/3} \Big/ \sum Pi$$

Dónde:

nc: Coeficiente de Rugosidad compuesta o equivalente

ni: Coeficiente de rugosidad para la subdivisión i

Pi: Perímetro mojado para la subdivisión i.

El procedimiento coincide en dividir la sección hidráulica en las partes que sean necesarias y asignarles un valor de "n" de rugosidad según corresponda a su naturaleza física de oposición al flujo. Como las secciones están geométricamente definidas, el modelo evalúa con la fórmula anterior el valor de rugosidad equivalente, ver los capítulos 2 y 3 del manual del HEC-RAS (páginas 2-6, 2-7 y 3-12 a 3-16) y el libro Hidráulica de Canales Abiertos, V.T. Chow (páginas 108 a 120 y página 135), del que se obtienen los valores de referencia que se presentan a continuación:

Finalmente, a partir del reconocimiento de los factores expuestos anteriormente, Cowan propone el siguiente procedimiento:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5$$

Donde n0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n1 es un valor que debe agregarse para corregir el efecto de las rugosidades superficiales, n2 considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n3 es un valor para considerar las obstrucciones, n4 tiene en cuenta la vegetación y las condiciones del flujo, y m5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

6.2.3 EVALUACIÓN DE LA ALTURA DE ENERGÍA CINÉTICA

Debido a que el programa HEC-RAS es un programa desarrollado para perfiles de agua superficial, solamente una superficie de agua y una carga de energía se computan en cada sección transversal. Para una elevación de agua superficial dada, la energía principal es obtenida al realizar el cálculo con ponderación de las n sub-secciones en la sección transversal. (Banca derecha, izquierda y canal principal)

6.2.4 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Las pérdidas por fricción son evaluadas por HEC-RAS como el producto de Sf y L, donde Sf es la fricción para la pendiente y L es la distancia ponderada para el tramo de análisis. El coeficiente de pendiente (pendiente de la línea de energía) para cada sección transversal es estimado con la ecuación de Manning.

Tabla 6-1. Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow y Cowan

Condiciones del Cauce		Valores de Rugosidad	
Material del Lecho	Tierra	no	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava triturada		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n2	0.00
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efectos Relativos de Obstrucciones	Despreciable	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: V. T. Chow, 1999

6.2.5 EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES

El programa asume que una contracción está ocurriendo cuando la cabeza de velocidad aguas abajo es mayor que la cabeza de velocidad aguas arriba de igual manera, cuando la cabeza de velocidad aguas arriba es mayor que la cabeza de velocidad aguas abajo, el programa asume que una expansión del flujo está ocurriendo.

6.2.6 LIMITACIONES DEL PROGRAMA

Las siguientes hipótesis están implícitas en las expresiones analíticas utilizadas en la versión del programa:

El flujo es gradualmente variado (con excepción de las estructuras hidráulicas como: puentes, tubos y vertederos). En estos casos el flujo puede ser rápidamente variado y la ecuación de momentum u otra ecuación empírica se utiliza.

El flujo es unidimensional (los componentes de velocidad en otras direcciones que no son las del flujo no son contabilizados)

Los canales de los ríos tienen pendientes pequeñas, es decir menor de 1:10

6.3 INFORMACIÓN DE ENTRADA

HEC-GEORAS es una extensión de ArcGIS que provee del usuario un sistema de procedimientos, herramientas, y utilidades para la preparación de los datos de GIS para la importación de geometrías hidráulicas al HEC-RAS 4.1.0, y lectura de resultados generados. Mientras que la extensión de GeoRAS se diseña para los usuarios con experiencia geográfica limitada en los sistemas de información (GIS). Los usuarios, sin embargo, deben tener experiencia en modelar con HEC-RAS y tener con la comprensión de la hidráulica del río, una correcta interpretación de los modelos en el GIS. Se requiere ArcGIS 10.1, con las extensiones de 3DAnalyst.

La información de entrada al modelo hidráulico la compone los siguientes tópicos: caudales, Modelo Digital de Terreno (extraído del levantamiento topográfico) del cual se establecen las secciones transversales y las fronteras del modelo aguas abajo.

6.3.1 CAUDALES DE MODELACIÓN – CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ARRIBA

Los caudales de modelación corresponden a los valores para diferentes periodos de retorno estimados con el modelo hidrológico HEC – HMS y presentados en el documento de hidrología para los tres cauces.

La condición de frontera aguas arriba corresponde al caudal de entrada a cada uno de los cauces, datos que como ya se mencionó, fueron estimados en el capítulo de Hidrología.

6.3.2 CONDICIÓN DE FRONTERA AGUAS ABAJO

La condición de frontera aguas abajo, corresponde a los niveles producidos asumiendo que el flujo tiende a ser uniforme en las partes bajas de los canales, tomando esta condición como el control hidráulico. Los niveles obtenidos son los presentados en los siguientes cuadros, para cada uno de los vallados.

Tabla 6-2. Condición de frontera aguas abajo

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Pendiente de la línea de energía (m/m)
1	Camino de Santa Bárbara	Vallado Pinares	0.030
		Vallado Santa Bárbara Sur	0.024
		Vallado Santa Bárbara Norte	0.024
2	La Carolina	Vallado Camino La Carolina	0.019
		Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.017
		Vallado Santa Bárbara	0.002
		Vallado La Lucerna Oriental	0.011
3	Camino El Rodadero	Vallado Camino El Rodadero	0.015
		Vallado Camino De Piedra En Cerca	0.011
4	Camino La Carlina	Vallado Camino La Carlina	0.015
5	Camino Alejandría Volador	Vallado Camino Al Volador	0.011
		Vallado La Lucerna Occidental	0.007
		Vallado Camino Alejandría Sur	0.019
		Vallado Camino Alejandría Norte	0.004
		Canaleta Placa Huella Sur	0.003
		Canaleta Placa Huella Norte	0.003
		Vallado Sidonia	0.022
6	Potrerito y 6 Eses	Vallado Camino De Las 6 Eses	0.014
		Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	0.001
		Vallado Vía Al Chorro	0.013
		Vallado Camino Al Cerro	0.015
		Vallado El Potrerito	0.015

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Pendiente de la línea de energía (m/m)
		Vallado Finca La Esperanza	0.016
		Vallado Sidonia El Chorro	0.010
7	El Retiro - La Leonor	Vallado La Leonor Sur	0.012
		Vallado Camino De Cerro - Occidental	0.004
		Vallado Camino De Cerro - Oriental	0.019
		Vallado Camino Del Retiro - Sur	0.005
		Vallado Camino Del Retiro - Norte	0.010
		Vallado La Leonor Norte	0.016
		Chucua de Tíquiza	0.060
8	Guanatá	Vallado Camino Guanatá	0.009
		Vallado Camino Guanatá Norte	0.008
9	Chamizo - Tambo	Vallado Chamizo Sur	0.010
		Vallado MG Tambo	0.010
10	Carrera 11 Costa Rica	Vallado Camino Costa Rica	0.006
		Vallado Camino El Pozo Norte	0.018
11	Camino Ical	Vallado Camino Ical Norte	0.006
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Vallado Camino De Guanatá	0.015
		Vallado Carrera 11 Oriental	0.021
		Vallado Carrera 11 Occidental	0.016
		Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	0.003
		Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	0.025
		Vallado Camino De Colón	0.013
		Vallado Camino Guanatá 2	0.002

6.3.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

El coeficiente de rugosidad para estas simulaciones de los cauces, se estableció de acuerdo con los criterios de clasificación mostrados en el manual del United Steate Geological Survey – USGS, "Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains", donde se presentan cauces naturales en los Estados Unidos, a los cuales se les realizaron aforos

de caudales con la finalidad de estimar dicho coeficiente, y aplicando la ecuación de Cowan, de acuerdo con lo presentado en el Marco Teórico.

Esta metodología es la apropiada para estos canales, los cuales presentan un alta pendiente, y también cuentan con presencia de grandes bloques a lo largo del cauce.

Tabla 6-3. Coeficiente de Rugosidad de Manning

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Coeficiente de Rugosidad de Manning
1	Camino de Santa Bárbara	Vallado Pinares	0.042
		Vallado Santa Bárbara Sur	0.042
		Vallado Santa Bárbara Norte	0.042
2	La Carolina	Vallado Camino La Carolina	0.042
		Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.042
		Vallado Santa Bárbara	0.042
		Vallado La Lucerna Oriental	0.042
3	Camino El Rodadero	Vallado Camino El Rodadero	0.042
		Vallado Camino De Piedra En Cerca	0.042
4	Camino La Carlina	Vallado Camino La Carlina	0.042
5	Camino Alejandría Volador	Vallado Camino Al Volador	0.042
		Vallado La Lucerna Occidental	0.042
		Vallado Camino Alejandría Sur	0.042
		Vallado Camino Alejandría Norte	0.042
		Canaleta Placa Huella Sur	0.042
		Canaleta Placa Huella Norte	0.042
		Vallado Sidonia	0.042
6	Potrerito y 6 Eses	Vallado Camino De Las 6 Eses	0.042
		Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	0.042
		Vallado Vía Al Chorro	0.042
		Vallado Camino Al Cerro	0.042
		Vallado El Potrerito	0.042
		Vallado Finca La Esperanza	0.042
		Vallado Sidonia El Chorro	0.042
7	El Retiro - La Leonor	Vallado La Leonor Sur	0.042

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Coeficiente de Rugosidad de Manning
		Vallado Camino De Cerro - Occidental	0.042
		Vallado Camino De Cerro - Oriental	0.042
		Vallado Camino Del Retiro - Sur	0.042
		Vallado Camino Del Retiro - Norte	0.042
		Vallado La Leonor Norte	0.042
		Chucua de Tíquiza	0.042
8	Guanatá	Vallado Camino Guanatá	0.042
		Vallado Camino Guanatá Norte	0.042
9	Chamizo - Tambo	Vallado Chamizo Sur	0.042
		Vallado MG Tambo	0.042
10	Carrera 11 Costa Rica	Vallado Camino Costa Rica	0.042
		Vallado Camino El Pozo Norte	0.042
11	Camino Ical	Vallado Camino Ical Norte	0.042
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Vallado Camino De Guanatá	0.042
		Vallado Carrera 11 Oriental	0.042
		Vallado Carrera 11 Occidental	0.042
		Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	0.042
		Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	0.042
		Vallado Camino De Colón	0.042
		Vallado Camino Guanatá 2	0.042

6.4 CONSIDERACIONES GENERALES

A continuación, se presentan las consideraciones generales que se tuvieron en cuenta para la construcción del modelo hidráulico:

A partir de toda la información topográfica de la zona de estudio (topografía y batimetría del cauce), se constituyó el modelo geométrico (secciones transversales), empleando el subprograma HEC-GeoRAS del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, el cual permite el procesamiento de la información empleando el sistema de información geográfica Arc-GIS con el cual se establecen las secciones transversales.

El Subprograma HEC-GeoRAS, genera las secciones transversales a partir de un modelo digital de elevación del terreno.

A partir del modelo de elevaciones, se procedió a obtener las secciones transversales del cauce.

La información procesada en el subprograma HEC-GeoRAS es posteriormente cargada en el programa HEC-RAS, para realizar los análisis hidráulicos.

El flujo se supone como un flujo permanente. A partir de esta suposición, se obtienen los niveles de la superficie del agua para cada sección transversal y para cada uno de los escenarios analizados.

Coeficientes de expansión y contracción: Estos valores son los sugeridos en las referencias bibliográficas. Para el coeficiente de expansión se adoptó el valor por defecto que sugiere el software (0.30); de igual forma, para el coeficiente de contracción (0.10).

6.5 CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA LOS CANALES

Todos los cálculos hidráulicos de la sección transversal se realizaron asumiendo que el flujo se comporta como un flujo permanente uniforme, permitiendo así el uso de la ecuación de Manning.

$$AR^{(2/3)} = Q\,n / So^{(1/2)}$$

Donde.

Q	Caudal del flujo en m^3/s
n	Coeficiente de rugosidad de Manning
So	Pendiente del fondo del canal en unidades a dimensionales (m/m)
A	Área de la sección transversal del flujo en m^2
R	Radio hidráulico en metros, que corresponde a la relación entre el área y el perímetro mojado (R = A/P).

Para un canal de sección trapezoidal, de ancho de la base B, talud lateral z, el área de la sección transversal es:

$$A = B\,h + z\,h^2$$

Siendo h La profundidad del flujo para condiciones de flujo permanente uniforme; para dicha sección, el perímetro mojado de la sección es:

$$P = B + 2h\sqrt{z^2 + 1}$$

Se calcula también para cada tramo por continuidad del flujo, la velocidad promedio del flujo, y el número de Froude, siendo la velocidad igual a:

$$V = Q / A$$

Y el número de Froude, igual a:

$$F = V / (g\ D)^{0.5}$$

Donde:

V es la velocidad del flujo (m/s)

F el número de Froude (a dimensional)

g la aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

D la profundidad hidráulica en metros.

A continuación, se presentan los cálculos realizados para determinar las características hidráulicas de los canales para cada sector.

Figura 6-1 Caracteristicas de la sección transversal

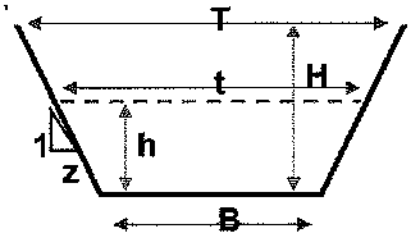


Tabla 6-4. Calculos hidráulicos

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Caudal (m3/s)	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Ancho de la base (m)	Talud lateral	Caudal total (m3/s)	Pendiente (%)	n Manning
1	Camino de Santa Bárbara	Vallado Pinares	0.081	0.83	0.016	0.80	1	0.081	1.62	0.030
2	La Carolina	Vallado Camino La Carolina	0.170	0.14	0.01	0.60	1	0.170	0.97	0.030
		Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.210	1.31	0.02	1.00	1	0.381	1.71	0.030
3	Camino El Rodadero	Vallado Camino El Rodadero	0.242	0.80	0.02	0.60	1	0.242	2.39	0.030
		Vallado Camino De Piedra En Cerca	0.216	1.38	0.02	0.60	1	0.216	1.51	0.030
5	Camino Alejandría Volador	Vallado Camino Alejandría Sur	0.330	0.91	0.01	0.60	1	0.330	1.09	0.030
		Vallado Camino Alejandría Norte	0.018	0.86	0.01	0.60	1	0.018	0.80	0.030
6	Potrerito y 6 Eses	Vallado Camino De Las 6 Eses	0.363	0.44	0.01	0.70	1	0.363	0.75	0.030
		Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	0.060	0.33	0.01	0.70	1	0.060	0.71	0.030
		Vallado Vía Al Chorro	0.079	0.30	0.02	0.60	1	0.079	2.25	0.030
		Vallado Camino Al Cerro	0.322	0.36	0.01	0.60	1	0.322	1.03	0.030
		Vallado El Potrerito	0.726	0.84	0.01	0.60	1	0.726	0.65	0.030

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Caudal (m3/s)	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Ancho de la base (m)	Talud lateral	Caudal total (m3/s)	Pendiente (%)	n Manning
		Vallado Finca La Esperanza	0.007	0.092	0.01	0.60	1	0.007	0.72	0.030
		Vallado Sidonia El Chorro	1.439	0.293	0.03	1.00	1	1.439	2.94	0.030
7	El Retiro - La Leonor	Vallado La Leonor Sur	0.022	0.415	0.00	0.70	1	0.022	0.41	0.030
		Vallado La Leonor Norte	0.123	0.722	0.01	0.80	1	0.123	1.02	0.030
		Chucua de Tiquiza	0.394	0.88	0.01	0.90	1	0.394	0.97	0.030
9	Chamizo - Tambo	Vallado Chamizo	0.190	1.06	0.00	0.80	1	0.190	0.41	0.030
		Vallado MG Tambo	0.140	0.94	0.01	0.80	1	0.140	0.84	0.030
10	Carrera 11 Costa Rica	Vallado Camino Costa Rica	0.156	1.02	0.00	0.60	1	0.156	0.11	0.030
		Vallado Camino El Pozo Norte	0.346	0.306	0.00	0.60	1	0.346	0.07	0.030
11	Camino Ical	Vallado Camino Ical Norte	0.074	0.860	0.00	1.20	1	0.074	0.17	0.030
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Vallado Camino De Guanatá	0.086	0.277	0.01	0.60	1	0.086	0.62	0.030
		Vallado Carrera 11 Oriental	0.029	1.24	0.01	1.10	1	0.029	0.50	0.030
		Vallado Carrera 11 Occidental	0.013	0.148	0.00	1.10	1	0.013	0.05	0.030
		Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	0.058	0.467	0.00	1.10	1	0.058	0.10	0.030

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Caudal (m3/s)	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Ancho de la base (m)	Talud lateral	Caudal total (m3/s)	Pendiente (%)	n Manning
		Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	0.036	0.321	0.00	1.10	1	0.036	0.10	0.030
		Vallado Camino De Colón	0.013	0.160	0.00	1.10	1	0.013	0.09	0.030

Tabla 6-5. Calculos hidráulicos (continuación)

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Prof. del fluj o (m)	Área (m2)	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Ancho superior (m)	Prof. Hidráulica (m)	Qn/So^ 0.5	Velocidad (m/s)	Número de Froude
1	Camino de Santa Bárbara	Vallado Pinares	0.11	0.10	1.10	0.09	1.01	0.09	0.019	0.84	0.87
2	La Carolina	Vallado Camino La Carolina	0.22	0.18	1.23	0.15	1.05	0.18	0.052	0.93	0.71
		Vallado Cerro Occidental Camino La Carolina	0.23	0.28	1.65	0.17	1.46	0.19	0.087	1.35	0.98
3	Camino El Rodadero	Vallado Camino El Rodadero	0.21	0.17	1.20	0.14	1.02	0.17	0.047	1.41	1.10
		Vallado Camino De Piedra En Cerca	0.23	0.19	1.24	0.15	1.05	0.18	0.053	1.16	0.88
5	Camino Alejandría Volador	Vallado Camino Alejandría Sur	0.31	0.28	1.48	0.19	1.22	0.23	0.095	1.16	0.77
		Vallado Camino	0.06	0.04	0.78	0.05	0.73	0.06	0.006	0.43	0.57

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Prof. del flujo (m)	Área (m2)	Perímetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Ancho superior (m)	Prof. Hidráulica (m)	Qn/So^ 0.5	Velocidad (m/s)	Número de Froude
		Alejandría Norte									
6	Potrerito y 6 Eses	Vallado Camino De Las 6 Eses	0.34	0.35	1.66	0.21	1.38	0.26	0.126	1.03	0.65
		Vallado Camino De Las 6 Eses Sur	0.12	0.10	1.05	0.10	0.95	0.11	0.021	0.59	0.58
		Vallado Vía Al Chorro	0.11	0.08	0.92	0.09	0.82	0.10	0.016	0.99	1.01
		Vallado Camino Al Cerro	0.31	0.29	1.48	0.19	1.23	0.23	0.095	1.13	0.75
		Vallado El Potrerito	0.54	0.62	2.13	0.29	1.68	0.37	0.270	1.18	0.62
		Vallado Finca La Esperanza	0.04	0.02	0.71	0.03	0.68	0.04	0.003	0.31	0.52
		Vallado Sidonia El Chorro	0.42	0.60	2.19	0.27	1.84	0.32	0.252	2.41	1.35
7	El Retiro - La Leonor	Vallado La Leonor Sur	0.08	0.06	0.93	0.07	0.86	0.07	0.010	0.36	0.42
		Vallado La Leonor Norte	0.16	0.15	1.24	0.12	1.11	0.13	0.036	0.82	0.72
		Chucua de Tiquiza	0.29	0.35	1.73	0.20	1.48	0.23	0.120	1.13	0.75
9	Chamizo - Tambo	Vallado Chamizo	0.26	0.28	1.54	0.18	1.32	0.21	0.089	0.68	0.48
		Vallado MG Tambo	0.18	0.17	1.31	0.13	1.16	0.15	0.046	0.80	0.66
10	Carrera 11 Costa Rica	Vallado Camino Costa Rica	0.39	0.39	1.71	0.23	1.38	0.28	0.145	0.40	0.24

ID. sector	Sector	Nombre Vallado	Prof. del flujo (m)	Área (m2)	Perimetro (m)	Radio Hidráulico (m)	Ancho superior (m)	Prof. Hidráulica (m)	Qn/So^ 0.5	Velocidad (m/s)	Número de Froude
		Vallado Camino El Pozo Norte	0.66	0.84	2.47	0.34	1.93	0.43	0.406	0.41	0.20
11	Camino Ical	Vallado Camino Ical Norte	0.15	0.21	1.64	0.13	1.51	0.14	0.053	0.35	0.30
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Vallado Camino De Guanatá	0.17	0.13	1.09	0.12	0.94	0.14	0.033	0.65	0.55
		Vallado Carrera 11 Oriental	0.07	0.08	1.29	0.06	1.23	0.06	0.012	0.37	0.47
		Vallado Carrera 11 Occidental	0.08	0.10	1.33	0.07	1.26	0.08	0.017	0.13	0.15
		Vallado Carrera 11 Bojacá Occidental	0.17	0.21	1.57	0.13	1.43	0.15	0.055	0.28	0.23
		Vallado Carrera 11 Bojacá Oriental	0.12	0.16	1.45	0.11	1.35	0.11	0.034	0.24	0.22
		Vallado Camino De Colón	0.07	0.08	1.30	0.06	1.24	0.07	0.013	0.16	0.20

6.5.1 DISEÑO ESTRUCTURA DE INTERSECCIÓN PLACA HUELLA VÍA LA VALVANERA

De la inspección realizada a la vía La Valvanera se identificaron las siguientes condiciones de gran importancia:

- La vía a la Valvanera, cuenta con una estructura de pavimento tipo Placa Huella, la cual en ambos de sus costados cuenta con una cuneta para el manejo del agua.

- La estructura y la forma montañosa cerrada en forma de vaso por donde trascurre la vía, hacen que este sector se comporte como un canal de drenaje.

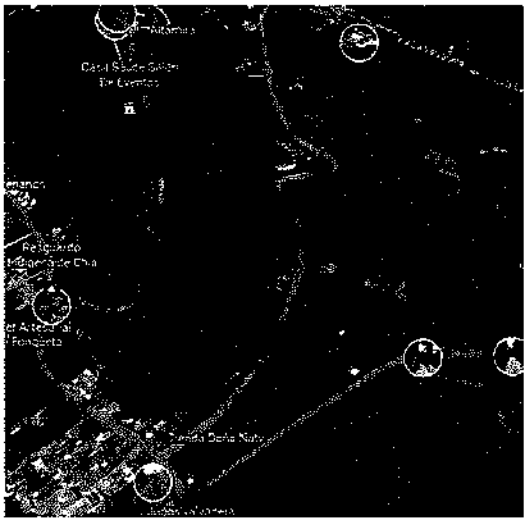
- A la altura de la abscisa K0+360 se encuentra una estructura de paso, que desvía el agua que viene bajando por la estructura de pavimento, hacia una depresión del terreno. Desde este punto en particular, el agua que es drenada por la vía, es encauzada hacia la parte baja.

- Los resultados de las modelaciones hidráulicas, muestran que esta estructura de pavimento, y en general, por la forma del vaso que se conforma para la vía, hacen que esta actúe como un canal, lo cual hace que el flujo de agua llegue hacia el punto de intersección de las vías (Figura 6-2), generando el encharcamiento hacia las viviendas que se encuentran de frente con la vía.

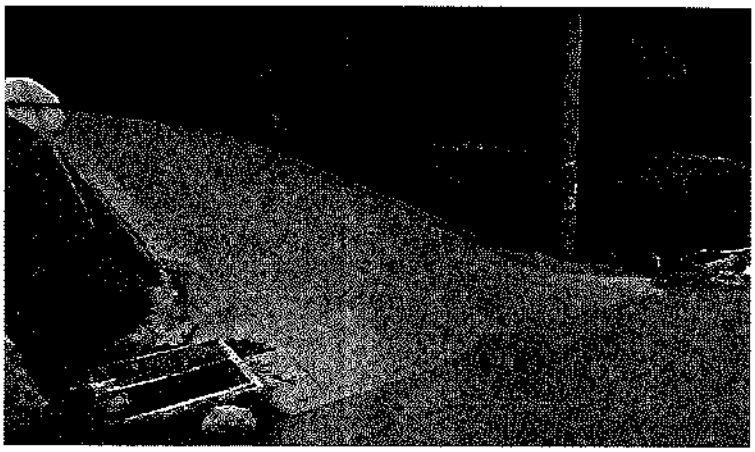
Figura 6-2 Placa Huella vía La Valvanera



Placa huella vía La Valvanera



Vaso generado por la forma topográfica en la vía La Valvanera



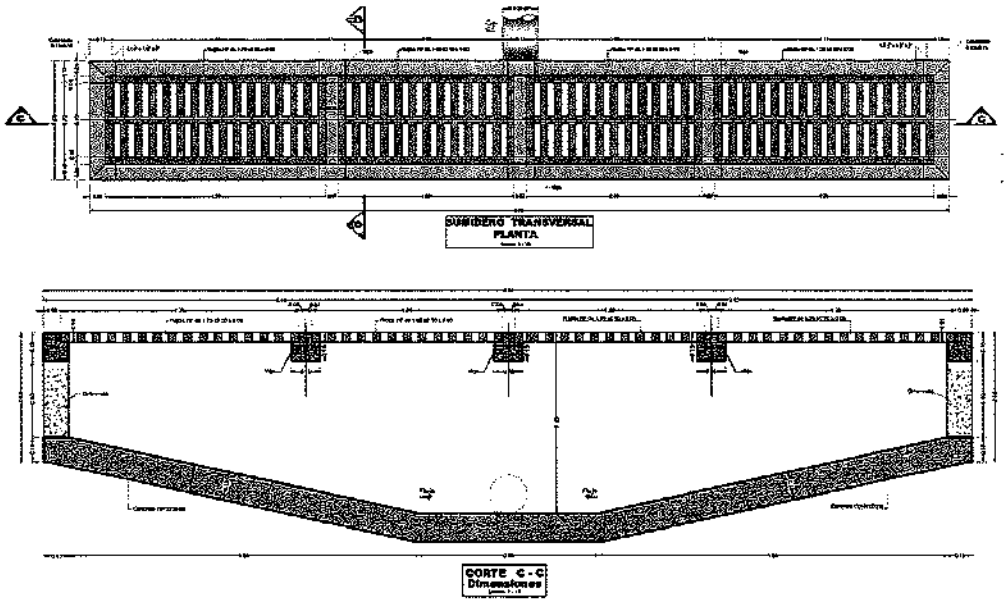
Estructura de recolección existente

- En la esquina mencionada, se tienen dos cajas que en teoría recogen el agua de las cunetas que vienen por la placa huella. Sin embargo, por la forma y ubicación de las mismas, la una pequeña parte del agua es llevada hacía estas dos cajas, y un porcentaje alto se desplaza hacia la vía.

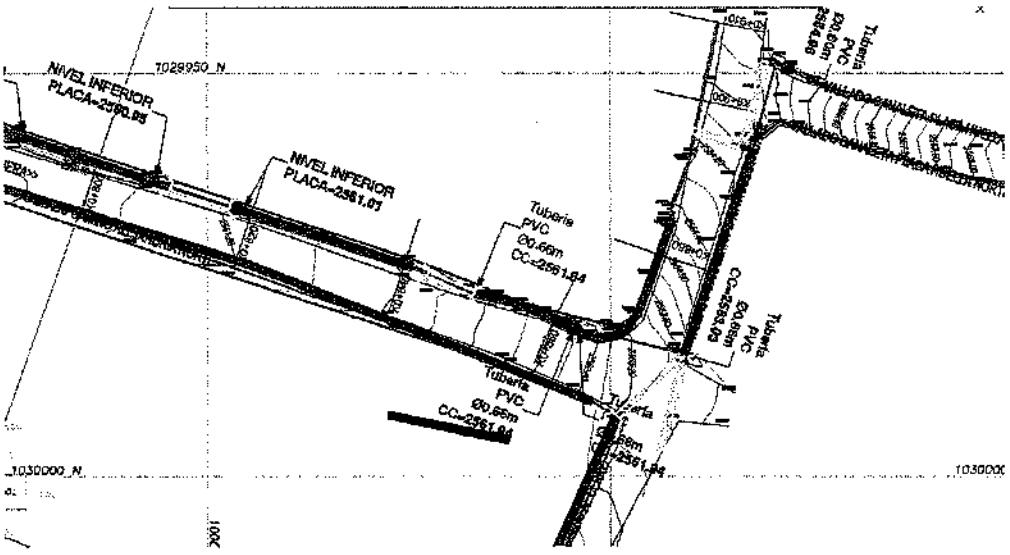
Teniendo en cuenta que el agua viene de forma frontal por toda la estructura de la vía, siendo las canaletas laterales unas estructuras que solo transportan una parte del caudal, y teniendo en cuenta que la estructura del pavimento de la placa huella es relativamente reciente como para realizar intervenciones a la mismas, se propone para captar el agua en este sector, la instalación de una rejilla transversal o sumidero transversal a la vía que recoja

Como propuesta para el manejo del drenaje se tienen la implementación de un sistema de recolección de agua por medio de rejillas de fondo ubicadas en la parte baja de la placa huella, las cuales se ubicarán a borde de dicha estructura, para evitar

Figura 6-3 Sumidero de fondo con rejilla



La ubicación de las rejillas de fondo, se instalarán en la salida de la placa huella, y de las vías que descienden desde el cerro La Valvanera, con el fin de interceptarlas el agua proveniente de la ladera y conduciria de forma adecuada hacia los canales.



6.5.2 DISEÑO DE PASOS VIALES Y ACCESOS

Bajo régimen de flujo a superficie libre, el control hidráulico lo ofrece la profundidad crítica a la entrada de la descarga de fondo en el caso en el que el flujo que se presente dentro de la estructura sea supercrítico, es decir con un número de Froude mayor que 1 (Fr>1).

Considerando que las obras operarán con control en la entrada, y suponiendo una pendiente longitudinal del 2.0% (Valor mínimo aceptado por el INVIAS), se empleó la ecuación de la energía entre la altura de energía del agua en la entrada de la alcantarilla y la altura crítica que se forma en seguida, así:

$$H_w = d_c + (1 + Ke)\frac{V_c^2}{2g}$$

Donde:

Hw	Nivel de la línea de energía del agua en inmediaciones de la entrada del conducto (m)
dc	Altura crítica (m)
Vc	Velocidad del flujo correspondiente a la altura crítica (m/s)
Ke	Coeficiente de pérdidas generadas en la entrada del conducto
L	Longitud del box en (m)

Los coeficientes de pérdida K se obtuvieron de los manuales del U.S. Department of Transportation de la Federal Highway Administration, del cual se adoptó un coeficiente igual a 0.5.

Para estimar la profundidad normal del flujo en las alcantarillas (profundidad de flujo uniforme), se emplea la ecuación de Manning:

AR 2/3 = Q n / So 1/2

Donde:

Q	Caudal en (m3/s)
A	Área mojada en (m2)

R Radio hidráulico en (m), que corresponde a la relación entre el área y el perímetro mojado (R = A/P)

n Coeficiente de rugosidad de Manning

So Pendiente del fondo de la alcantarilla (m/m)

La pendiente del fondo del canal (So), se supuso igual a 2.0% (0.020 m/m) que es el valor mínimo aceptado por el INVIAS.

A continuación, Se presenta la curva de capacidad de la alcantarilla, para los caudales máximos que se puedan presentar, teniendo en cuenta las características y dimensiones estimadas para la misma.

Diámetro de la alcantarilla: 0.60 m (24")

Longitud: 3.0 a 8.0 m

Pendiente: Se supone una pendiente del 2.0%

Ancho de la base del canal de salida: 0.60 a 1.50 m

Tabla 6-6. Curva Nivel Vs. Caudal de la alcantarilla

Caudal total (m3/s)	Caudal descarga alcantarilla (m3/s)	Elevación linea de energia (m)	Prof. en la entrada (m)	Prof. en la salida (m)	Tipo de flujo	Prof. normal (m)	Prof. critica (m)	Prof. en la salida (m)	Prof. en la entrada (m)	Velocid. de salida (m/s)	Velocid. de entrada (m/s)
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.30	0.30	1.54	0.54	0.35	1-S2n	0.21	0.36	0.27	0.15	2.10	1.72
0.60	0.60	1.98	0.98	0.84	5-S2n	0.32	0.50	0.41	0.23	2.61	2.15
0.66	0.66	2.10	1.10	0.14	5-S2n	0.34	0.52	0.44	0.24	2.71	2.21
1.20	0.87	2.63	1.63	1.29	5-S2n	0.41	0.57	0.51	0.34	3.17	2.64
1.50	0.89	2.69	1.69	1.33	5-S2n	0.42	0.57	0.52	0.36	3.22	2.81
1.80	0.91	2.74	1.74	1.37	5-S2n	0.43	0.57	0.53	0.43	3.27	2.96
2.10	0.92	2.78	1.78	1.40	5-S2n	0.44	0.57	0.53	0.46	3.30	3.09
2.40	0.94	2.83	1.83	1.42	5-S2n	0.45	0.56	0.54	0.50	3.34	3.21
2.70	0.95	2.87	1.87	1.46	7-M2c	0.60	0.56	0.56	0.53	3.47	3.31
3.00	0.96	2.90	1.90	1.48	7-M2t	0.60	0.55	0.56	0.56	3.48	3.40

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

Figura 6-4 Perfil del flujo en la alcantarilla de paso

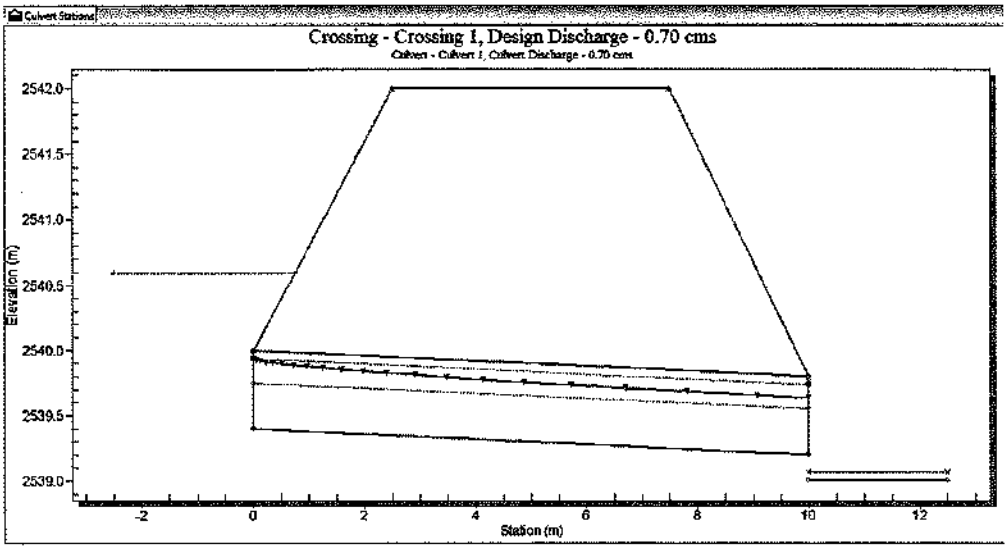
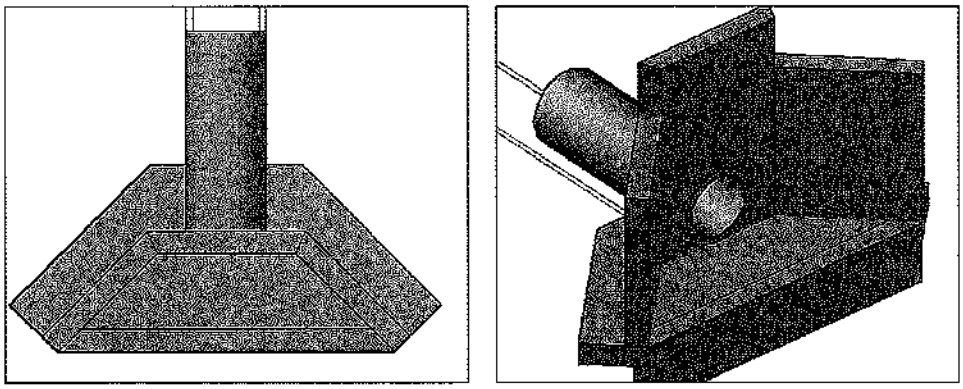


Figura 6-5 Detalle de cabezal de entrada y salida



A continuación, estas son las características generales de las estructuras de paso propuestas.

Diámetro de la tubería (Pulgadas)	24"

Pendiente (%)	2.0%
Altura Aletas	1.0 m
Altura cabezal	1.2 – 1.5 m
Longitud de la alcantarilla (m)	3 – 8 m
Material de la tubería	Concreto

7 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, CANTIDADES DE OBRA, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PRESUPUESTO

En el Anexo PR3-PRES-ANE-1 se presenta el análisis de precios unitarios cuyos precios son tomados de los precios del ICCU del año 2022, a corte julio de 2022, realizado para poder determinar los costos de cada intervención en cada vallado.

Dado que se realizan para poder estimar los presupuestos, las cantidades de obra de cada canal, en el anexo PR3-PRES-ANE-2, se presentan las cantidades junto con sus respectivas memorias de cálculo.

Así mismo, en el anexo PR3-PRES-ANE-3 se presenta el presupuesto estimado para cada uno de los canales. Esto, de acuerdo con lo propuesto para cada canal. Se entrega en el anexo PR3-PRES-ANE-4 las especificaciones generales.

En términos generales para cada uno de los sectores propuestos, el presupuesto es el que se presenta a continuación, resaltando que los colectores de aguas lluvias, son los que más impactan el presupuesto total de las intervenciones.

Tabla 7-1. Resumen de presupuestos

ID sector	Sector	Presupuesto	Movimientos de tierra	Colectores
1	Camino de Santa Bárbara – Cerca de Piedra	488,995,675	488,995,675	
1	Camino de Santa Bárbara – Cerca de Piedra - colector	**2,031,545,203**		**2,031,545,203**
2	La Carolina	708,368,194	708,368,194	
3	Camino El Rodadero	488,995,675	488,995,675	
4	Camino La Carlina	**2,031,545,203**		**2,031,545,203**
5	Camino Alejandría Volador	708,368,194	708,368,194	
6	Potrerito y 6 Eses	488,995,675	488,995,675	
7	El Retiro - La Leonor	470,405,807	470,405,807	
9	Chamizo - Tambo	358,073,194	358,073,194	
8	Guanatá	145,296,812	145,296,812	
8	Guanatá - Colector de Alivio	**1,549,420,415**		**1,549,420,415**
10	Carrera 11 costa Rica	546,136,494	546,136,494	
11	Camino Ical	358,597,797	358,597,797	
Total		**10,374,744,338**	**4,762,233,517**	**5,612,510,821**

8 ESTUDIO DE SUELOS

8.1 GENERALIDADES

El presente informe contiene la exploración, resultados, análisis y recomendaciones geotécnicas para los trabajos a realizar en la renovación de tramos de redes de Alcantarillado en el municipio de Chía.

En el marco de dicho contrato se realizará este proyecto que tiene como objetivo hacer los estudios y diseños detallados para la renovación de tramos de redes de Alcantarillado en el municipio de Chía, esto teniendo en cuenta las necesidades actuales y buscando que los diseños propuestos permitan garantizar la prestación óptima del servicio en este municipio.

Las obras diseñadas responderán a la exigencia de cumplimiento de los parámetros hidráulicos de la normatividad vigente y darán una solución a las problemáticas que se encuentren en las redes existentes mediante la implementación de redes o estructuras complementarias que mejoren el funcionamiento del sistema troncal.

8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar los ensayos de campo, necesarios para la caracterización del material presente en la zona de estudio.
- Establecer los perfiles estratigráficos promedio y sectorización geotécnica dentro de los sectores de estudio.
- Identificar a través de la información recopilada y análisis de resultados de laboratorio, el comportamiento mecánico de los suelos existentes en la zona y las propiedades físico-mecánicas, con el fin de obtener los parámetros geotécnicos necesarios para los diferentes diseños geotécnicos, estructurales e hidráulicos.
- Identificar y evaluar el potencial de licuación y expansibilidad de los suelos encontrados en la zona de estudio, de presentarse dichos fenómenos, presentar las recomendaciones propias para cada caso.
- Realizar la programación de sondeos y de las profundidades necesarias según la norma.
- Realizar los diseños geotécnicos de cimentación para las redes de alcantarillado, considerando los parámetros definidos.
- Realizar el cálculo de asentamientos para las estructuras y redes en cada uno de los sistemas hidráulicos.

8.3 ALCANCE

El presente informe tiene como alcance presentar los resultados de la investigación del subsuelo involucrado y establecer el análisis para la elaboración del diseño geotécnico para la renovación o

rehabilitación de algunos tramos de los sistemas de alcantarillado, en el área de cobertura del municipio de Chía, Cundinamarca.

Para el estudio se implementó una metodología coherente de exploración del subsuelo con el fin de lograr estimar aceptablemente los parámetros de resistencia y las características físicas de los estratos de soporte.

Conseguidos los parámetros que caracterizan a cada material en particular se procede a determinar la cimentación con las mejores condiciones técnicas y económicas, su capacidad portante, susceptibilidad a la expansividad, su potencial de licuación y los asentamientos.

Los alcances específicos del proyecto son:

- Recopilar información existente relacionada con la geología, geotecnia, microzonificación, exploraciones anteriores y demás elementos que conformen una base para el estudio.
- Realizar los ensayos de campo y laboratorio, necesarios para la caracterización del material presente en la zona de estudio.
- Establecer los perfiles estratigráficos promedio y sectorización geotécnica dentro de los sectores de estudio.
- Identificar a través de la información recopilada y análisis de resultados de laboratorio, el comportamiento mecánico de los suelos existentes en la zona y las propiedades físico-mecánicas, con el fin de obtener los parámetros geotécnicos necesarios para los diferentes diseños geotécnicos, estructurales e hidráulicos.
- Identificar y evaluar el potencial de licuación y expansibilidad de los suelos encontrados en la zona de estudio, de presentarse dichos fenómenos, presentar las recomendaciones propias para cada caso.
- Realizar el diseño geotécnico de la cimentación para las redes de alcantarillado proyectadas mediante el método de zanja abierta.
- Analizar la estabilidad de los taludes de corte, cálculo de empujes sobre los entibados requeridos.

8.4 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para el desarrollo del presente estudio se realizó una revisión de la bibliografía existente de las normas y de la información geológica del sitio. Adicionalmente se usaron los resultados consignados en los formatos de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio y metodologías para el análisis geotécnico de cimentaciones.

8.5 EXPLORACIÓN DE CAMPO

De acuerdo con el alcance de este estudio se definió la exploración del subsuelo necesaria, tipo y cantidad de ensayos, y el equipo de trabajo necesario para desarrollar el proyecto. Estos ítems se evaluaron con la normatividad vigente.

8.6 EQUIPO DE TRABAJO

- Un (1) Ingeniero civil con postgrado en geotecnia.
- Funciones: Elaboración del estudio geotécnico de acuerdo con los resultados de la exploración en campo y los resultados de los ensayos de laboratorio.
- Un (1) Técnico en laboratorio de suelos.
- Funciones: Realizar los ensayos de laboratorio de cada una de las muestras obtenidas en campo de acuerdo a las especificaciones del proyecto
- Un (1) Técnico Perforador.
- Funciones: Realizar las perforaciones correspondientes, los registros y ensayos de campo.

8.7 EQUIPO DE EXPLORACIÓN Y LABORATORIO

En la Tabla 1 se adjunta un resumen general de los equipos usados en el presente estudio.

Tabla 8-1. Listado de equipos

Tipo	Marca	Año de Fabricación	Ultima Calibración y/o inspección	Ente de Calibración
Balanza Digital	FWE	2006	Octubre 2021	Pinzuar
Balanza Digital	BBC	2007	Octubre 2021	Pinzuar
Cazuela de Casagrande	Controls	2007	Octubre 2021	Pinzuar
Equipo de perforación	Tamiequipos Ltda.	2007	Octubre 2021	Control Interno
Horno para secado de muestras	Tamiequipos Ltda.	2007	Octubre 2021	Control Interno
Serie de Tamices	Tamiequipos Ltda.	2007	Octubre 2021	Control Interno

A fin de determinar los parámetros geotécnicos y características índices de los suelos encontrados en los sectores de estudio, se realizaron pruebas de campo, ensayos de laboratorio para la clasificación y determinación de propiedades físicas e índices.

Se tendrá en cuenta una extracción mínima del 90% de las muestras en recuperación inalterada para poder obtener una caracterización a través de ensayos de laboratorio y por último en la siguiente tabla se presentan los ensayos adicionales que se realizaran a las muestras recuperadas de acuerdo a la exploración de campo.

Tabla 8-2. Ensayos de laboratorio realizados

ENSAYOS DE LABORATORIO	NORMA
Peso específico y peso Unitario	
Granulometría	NTC 1522
Límites de consistencia	NTC 4630
Contenido de humedad natural	NTC 1495
Compresión inconfinada	NTC 1527
Corte Directo	NTC 17234
Consolidación	NTC 1967

8.8 NÚMERO Y TIPO DE SONDEOS

Para el desarrollo de las actividades de exploración se siguió el procedimiento que se describe a continuación:

En el sitio bajo estudio se efectuó un recorrido para considerar los puntos adecuados en donde se realizarían las exploraciones necesarias para determinar las características del subsuelo.

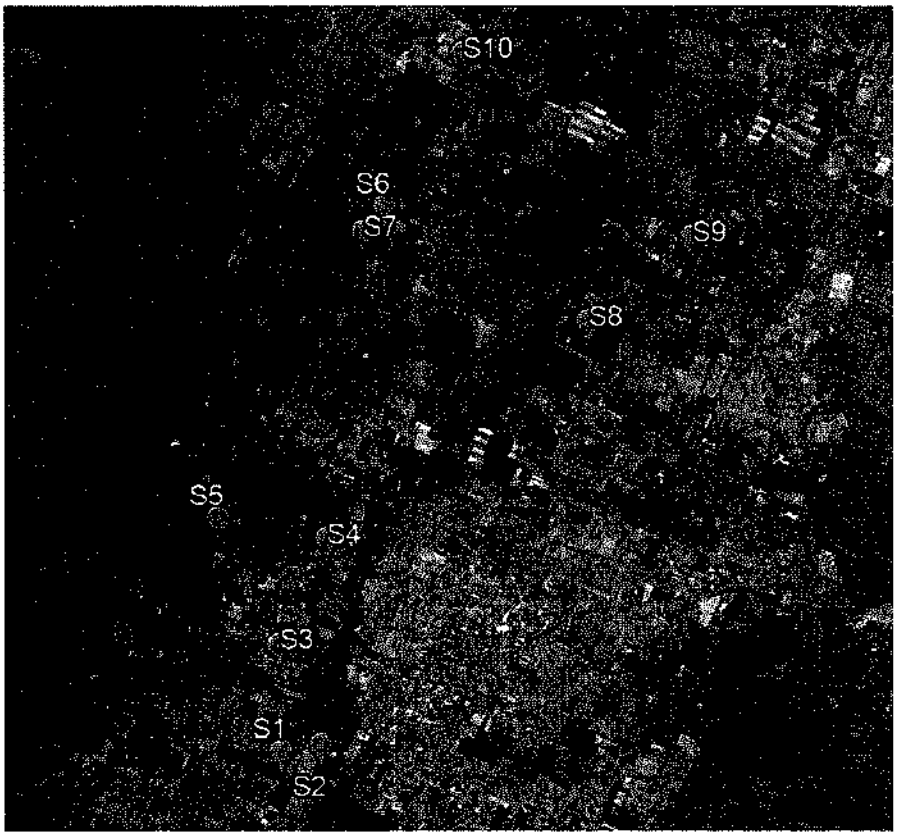
Se determinó un plan de exploración consistente en diez (10) sondeos, que se denominan S1 hasta S10.

Los sondeos se realizaron a una profundidad entre 3.00 a 6.00 m cumpliendo la norma de diseño sismo resistente NSR – 2010.

8.9 LOCALIZACION DE SONDEOS

En la siguiente figura, se presentan, la localización de los sondeos contemplados en los corredores de las redes de alcantarillado.

Figura 8-1 Localización de sondeos



Durante la ejecución de los sondeos se realizó la recuperación de muestras remoldeadas tomadas con muestreador estándar "Split Spoon", de cada perforación se realizará una columna estratigráfica, la descripción de los materiales detectados al avanzar la exploración y la posición de nivel freático en los casos en que se encontró.

8.10 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

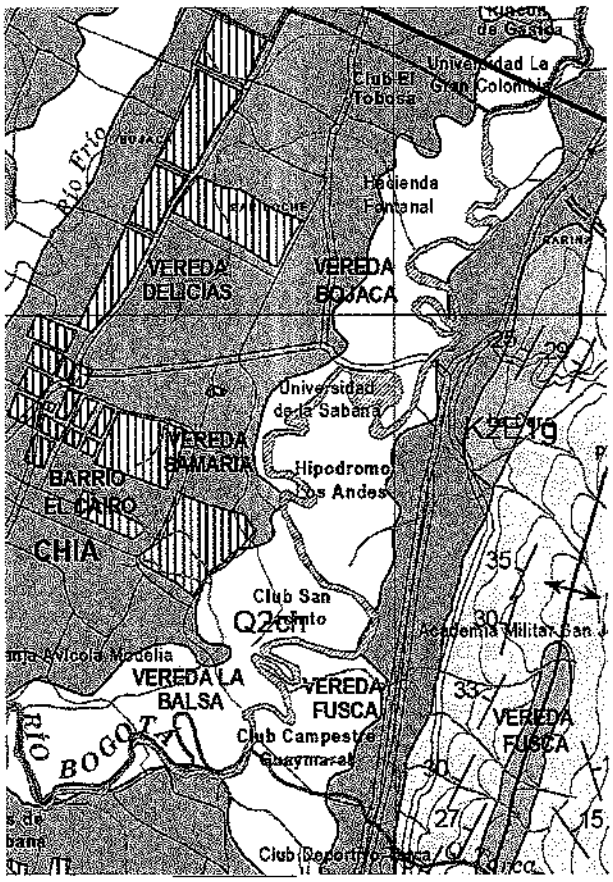
8.10.1 GEOLOGIA

El cuaternario en el área de la plancha 228-Bogotá está representado principalmente por los sedimentos depositados en la cuenca de Bogotá, de predominio lacustre, fluvioglacial y fluvial. En el Pleistoceno temprano se deposita la arcillosa Formación Subachoque al extenderse la sedimentación lacustre y de pantanos en la cuenca de Bogotá (Van der Hammen, 2003), con evidencias de flora de alta montaña y principalmente condiciones glaciales (Van der Hammen et al., 1973).

El Pleistoceno medio y tardío está representado por la Formación Sabana, que consiste principalmente en arcillas lacustres y demuestra una secuencia de periodos glaciales e interglaciales (Van der Hammen et al., 1973) y la formación Río Siecha que incluye depósitos fluvio-glaciales de gravas y bloques (Helmens, 1990).

La sedimentación en el Pleistoceno y hasta el Holoceno se completa con la Formación Río Tunjuelito que contiene espesas series de gravas acumuladas como producto de los cursos de los principales ríos de la cuenca y por último, la Formación Chía que se compone de arcillas de inundación del Holoceno (Helmens, 1990). Algunos depósitos no consolidados coluviales y lacustres muy recientes (Holoceno) se han identificado en el área de estudio (Montoya & Reyes, 2005).

Figura 8-2 Geología regional



Unidades del cuaternario:

Las unidades del periodo Cuaternario que afloran en el área son las formaciones Subachoque (Pleistoceno temprano), Sabana (Pleistoceno medio y tardío), Río Siecha (Pleistoceno medio y tardío), Río Tunjuelito (Pleistoceno-Holoceno) y Chía (Holoceno), además de depósitos inconsolidados coluviales y lacustres (Holoceno).

Formación Sabana (Q1sa)

Pleistoceno medio-superior La Formación Sabana aflora en los valles de los ríos Bogotá (228: A1, A2, B1, B2, C1, C2 D1), Teusacá (228: A3, A4, B3, C3, D3, E3) y Frío (228: B1, C1). Carvajal et al. (2004) describen estos depósitos como extensos, de aspecto aterrazado y con morfología ondulada suavemente inclinada. Esta unidad se encuentra disectada por el río Bogotá y sus afluentes (Helmens & Van der Hammen, 1995).

Nombre y sección tipo: La definición original se debe a Hubach (1957a), quien agrupa los "depósitos lacustres, paludales y marginales distribuidos en la planicie de la Sabana de Bogotá y anexos, en los valles que desembocan en ellas, y en algunos cerros bajos, como los de Madrid y Mosquera". El autor incluye también los depósitos glaciares del páramo de Cruz Verde al sureste de Bogotá y la parte norte de la región de Sumapaz; el nombre proviene de la Sabana de Bogotá.

Helmens (1990) menciona como área tipo de la Formación Sabana la parte más o menos plana de la Sabana de Bogotá y propone como secciones tipo las perforaciones Funza II, cerca de la población de Funza, y Bogotá CUX-CUY, en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Bogotá.

La Formación Sabana consiste principalmente de arcillas lacustres y hacia los márgenes de la cuenca de Bogotá se incrementan las intercalaciones de arcillas orgánicas, turbas arcillas arenosas y arenas arcillosas (Helmens, 1990).

Descripción litológica: En la parte central de la Sabana de Bogotá, la Formación Sabana está constituida principalmente por arcillas, mientras que hacia el sector de Chía-Cota se encuentran (hacia el techo) intercalaciones de arcillas arenosas y arenas arcillosas relacionadas con sedimentos de los ríos Frío y Bogotá; en la parte más norte del valle de Sopó-La Calera se encuentran intercalaciones de turba y arenas arcillosas al tope de la formación (Helmens, 1990).

Posición estratigráfica y edad: La Formación Sabana suprayace la Formación Subachoque, aunque puede encontrarse directamente sobre el sustrato rocoso precuaternario (Helmens, 1990). En el núcleo Bogotá CUX-CUY se encontraron 3 m suprayaciendo la Formación Sabana que podrían corresponder a la Formación Chía (Helmens & Van der Hammen, 1995).

De acuerdo con dataciones absolutas de las cenizas más inferiores y de carbono-14 para la parte superior de la Formación Sabana, se establece una edad de Pleistoceno medio y tardío (Helmens, 1990). El espesor de la Formación Sabana se determinó en 320 m en el centro de la cuenca y 168 m al sureste de Bogotá (Helmens, 1990).

Formación Chía (Q2ch) Holoceno:

La Formación Chía aflora en las riberas de los ríos Teusacá (228: A2, A3, B3, C3, D3, E3), Bogotá (228: A2, B2, C1, D1) y Frío (228: A1, B1, C1), Siecha (228: B5, C4, C5) y Aves (228: B6) y en el valle de la quebrada Floresta (228: D2). De acuerdo con Carvajal et al. (2004), estos depósitos forman terrazas fluviales planas de suave pendiente, talladas por la acción de las corrientes fluviales actuales.

Nombre y sección tipo: Es definida por primera vez por Helmens (1990), y toma su nombre de la población de Chía, al norte de la ciudad de Bogotá. El área tipo es definida por el autor en la llanura de inundación del río Bogotá al sureste de Chía, en donde se observan arcillas moteadas de colores gris y naranja.

Descripción litológica: La unidad consiste principalmente de arcillas de inundación, localmente limos fluviales y en áreas pantanosas arcillas orgánicas lacustres (diatomitas); en la localidad tipo la litología predominante son las arcillas moteadas de color gris y naranja, e incluyen arcillas con materia orgánica suprayacidas por una capa delgada de limos y arcillas color marrón (Helmens, 1990).

Posición estratigráfica y edad: En el área de Chía, la Formación Chía se encuentra sobre la Formación Sabana, mientras que en el área de Subachoque reposa sobre la Formación Río Tunjuelito (Helmens, 1990). Helmens & Van der Hammen (1995) con base en dataciones de carbono-14 reportan edad Holoceno para la Formación Chía. El espesor máximo de esta formación es de alrededor de 5 m (Helmens, 1990).

Depósitos coluviales (Q2c) Holoceno:

Dentro de los depósitos coluviales se incluyen los depósitos de pendiente de origen local, que se encuentran dispersos en el área de trabajo. Se destacan las cabeceras de los ríos Negro (228: F9, F10, G9, G10), Chuza (228: G7, G8, H8), Juiquín (228: C7, C8), Amoladero (228: B7, C7, C8), Lagunero (228: A8, A9, B8, B9), las quebradas Jaboncillo (228: E6, F6), Quisquiza (288: F4, G4) y la Caja (228: H5), además de parches menorconglomeráticos matriz-soportados de cantos y bloques, moderadamente seleccionados y subredondeados, polimícticos.

Según Carvajal et al. (2004) estos depósitos forman unidades de conos coluviales, conos de taludes, lóbulos de solifluxión y flujos torrenciales; los conos coluviales y lóbulos de solifluxión son de longitudes cortas y largas, tienen formas convexas e inclinaciones, suaves o abruptas. De acuerdo con este autor, son acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturado y no saturado, y la litología es de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebido en un material arcilloso.

Depósitos lacustres (Q2l) Holoceno: Corresponden a depósitos alternados de arenas y lodos de origen lacustre que se encuentran en el flanco occidental del Anticlinal de Río Blanco-Machetá, y que coinciden con la cabecera del río Lagunero (228: A8, B8).es distribuidos en las laderas. En el área de estudio estos depósitos constan de depósitos

Formación Guaduas (K2E1g) Maastrichtiano superior – Paleoceno

La Formación Guaduas aflora ampliamente en el núcleo de los sinclinales de Sueva (228: A10, B9, B10, C8, C9, D7, D8, E7, E8), Sisga (228: B6, B7, C6, D5, D6), Sesquilé (228: A5, A6, B4, B5, B6, C4), Siecha (228: F3, F4, G3, G4, H3), El Verjón (228: H2, H3) y Teusacá (228: H2,G2), además de escamas en los Cerros Orientales de Bogotá, asociadas a la Falla de Teusacá (228: G2, F2, E3). Aflora también en el Cerro de La Conejera, al norte de Bogotá (228: E1), en el sector de La Caro (228: B2, C2) y en el occidente de la Cordillera Los Micos (228: A1).

Morfológicamente, la Formación Guaduas conforma un valle con colinas de pendientes muy suaves entre la infrayacente Formación Arenisca de Labor y Tierna y la suprayacente Formación Cacho.

Nombre y sección tipo: El nombre de Piso de Guaduas fue acuñado por Hettner (1892) quien lo describe como "un sistema de arcilla multicolor, especialmente amarilla, roja o violeta", con bancos de arenita roja o blanca que se convierte en conglomerado, con carbón hacia la parte inferior y huellas de plantas. Más tarde Hubach (1931a, 1957a) limita el uso del término, dándole el rango de formación, a la parte baja de la serie que Hettner (1892) denominó Piso de Guaduas y que consta de "arcillas oscuras con carbón que traspasan a gredas abigarradas y rojas" que se encuentra en la Sabana de Bogotá "entre la Arenisca del Cacho y la Arenisca Tierna", definición que se emplea en el presente trabajo.

Según Hubach (1957a) la Formación Guaduas está constituida por tres conjuntos: el inferior que consta de arcillolitas de color gris oscuro con amonitas y bivalvos en la base; el intermedio compuesto por arcillolitas frecuentemente carbonosas, de color gris oscuro, mantos de carbón explotables y dos niveles de areniscas, La Guia (inferior) y la Lajosa (superior); y el superior, de lodolitas rojizas, azulosas, verdosas y moradas con algunos mantos no explotables de carbón y areniscas.

De Porta (1974) indica que "el nombre de esta unidad procede de la población de Guaduas situada en el borde occidental de la Cordillera Oriental sobre la carretera Bogotá-Honda" y enuncia como sección tipo "la de Guatavita donde se encuentra mejor representado".

Descripción litológica: La base de la Formación Guaduas en el área de estudio consiste en capas medias a muy gruesas de arcillolitas grises con laminación plano-paralela, algunas trazas de carbón y restos vegetales carbonizados, interestratificadas con lodolitas carbonosas de color negro y capas muy delgadas o láminas de carbón. Se intercalan escasas capas medias o gruesas de cuarzoarenita masiva de color blanco, con granos de arena tamaño fino y medio, muy bien calibrada y redondeada, deleznable, esporádicamente con ondulitas al tope.

Hacia la parte media de la unidad, se encuentran arcillolitas en capas medias o gruesas con laminación plano-paralela y a veces lenticulares de color principalmente gris y en menor medida violeta, amarillo o marrón, con calcos de carga y estructuras de escape de fluidos, que se intercalan con capas medias y muy delgadas de carbón. Arenitas deleznables de grano muy fino en capas gruesas a muy delgadas, muy bien calibradas y redondeadas se interponen con las arcillolitas.

El tope de la Formación Guaduas lo conforman capas muy gruesas y gruesas de arcillolitas localmente carbonosas, color marrón, gris, amarillo y violeta (Figura 17), con laminación plano-paralela; presentan láminas y capas muy delgadas de carbón y láminas de lodolitas y limolitas carbonosas. Como intercalaciones ocurren cuarzoarenitas de tamaño de grano muy fino y fino (esporádicamente grueso) en capas medias a delgadas, con fragmentos líticos oscuros, moderadamente calibradas y con granos subredondeados a redondeados.

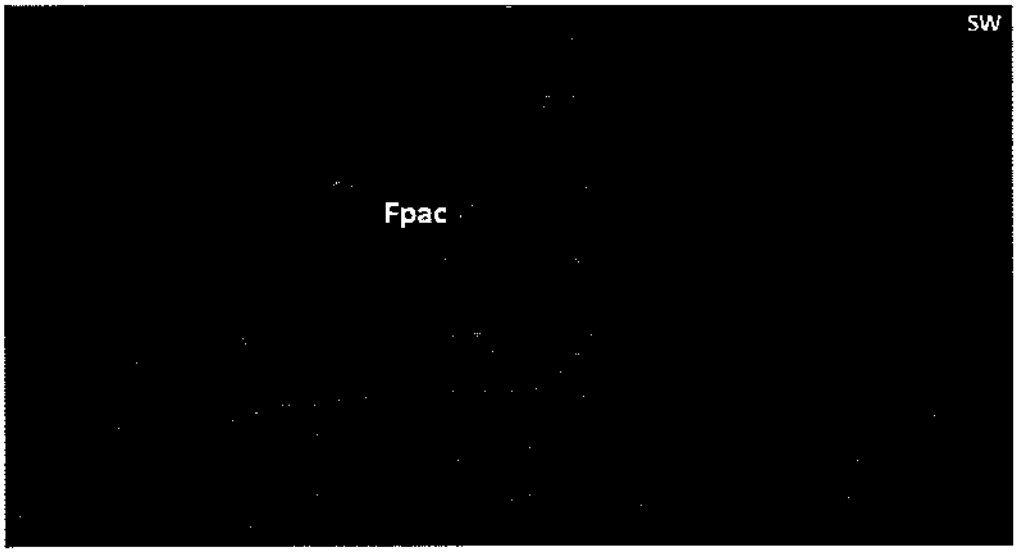
8.10.2 GEOMORFOLOGÍA

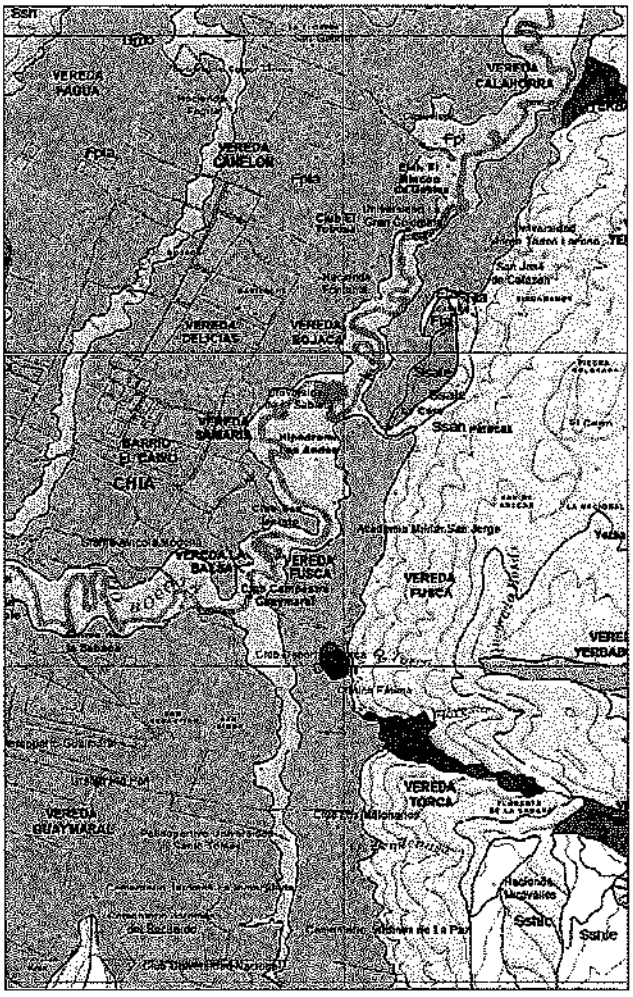
Planicie aluvial confinada (Fpac):

Tres unidades de este tipo han sido identificadas en la plancha, la primera de ellas y que corresponde con la de mayor dimensión y se localiza en el municipio de La Calera, entre las veredas El Hato, Líbano y Salitre, donde es generada por el río Teusacá, la segunda unidad se localiza en el municipio de Guatavita, en la vereda Monquevita, sector El Espejo de la Peña, donde es generada por el río Pan de Azúcar, la tercera unidad hace parte del municipio de Gacheta, y se extiende desde el occidente del casco urbano del municipio hasta la vereda Cusaquin, donde es generada por el río Salinero.

Estas planicies se constituyen de depósitos aluviales compuestos de arcillas con limos y arcillas orgánicas de la Formación Chía (Q2ch). Corresponde con una franja de terreno de morfología plana, muy angosta eventualmente inundable, en forma de "U", limitada por otras geoformas de morfología colinada, alomada o montañosa, que bordean los cauces fluviales, en los cuales se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo.

Figura 8-3 Gemorfología regional





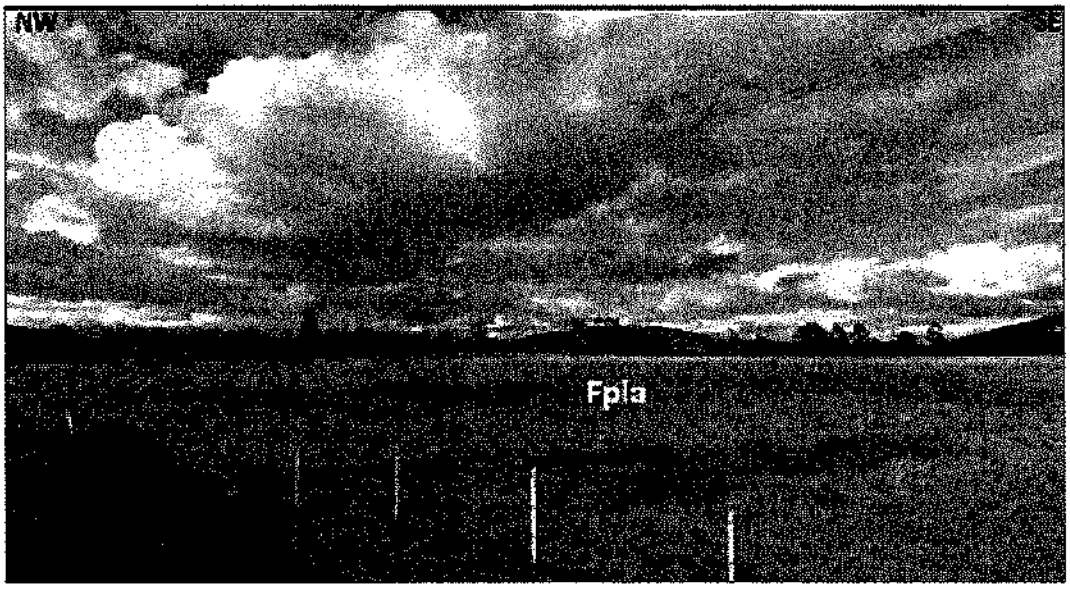
Planicie y delta lacustrino (Fpla):

Esta unidad se localiza hacia el sector occidental de la plancha, en dos franjas alargadas de dirección nororiente – suroccidente, haciendo parte de los municipios de Bogotá, Chía, Tocancipa, Cajicá, Sopo y La Calera, sobre esta unidad se han establecido los cascos urbanos de los municipios de Bogotá, Chía, Cajicá y Sopo. Litológicamente esta planicie está constituida por los depósitos de la Formación Sabana (Q1sa), compuesta por arcillas y arcillas arenosas, turba y ocasionalmente gravas.

Esta geoforma corresponde con una superficie extensa de aspecto aterrazado, morfología ondulada a suavemente inclinada (<5), que se encuentra limitada hacia los cauces por escarpes de varios

metros de altura. Su génesis está relacionado con el desplazamiento lateral del cauce de un río dentro de la llanura aluvial (Figura 8-4).

Figura 8-4 Planicie y delta lacustrino (Fpla), en el municipio de Sopó, en la vereda Pueblo Viejo



Plano o llanura de inundación (Fpi):

Esta unidad se localiza bordeando la mayoría de los cauces del área de estudio, entre ellos los ríos Bogotá, Teusacá, Siecha, Aves, Pan de Azúcar, Chorreras, Sueva, Salinero y algunas de las quebradas afluentes a dichos ríos. Geológicamente está constituida por depósitos aluviales recientes y fragmentos de las rocas circundantes que han sido erosionados y depositados en el sector.

Figura 8-5 Plano o llanura de inundación (Fpi), sobre el río Teusacá, municipio de Chía



La geoforma se define como una planicie aledaña a cauces aluviales como ríos, quebradas y arroyos, estos planos tienen un índice de contraste del relieve muy bajo, de morfología plana, donde se han depositado sedimentos aluviales transportados por los propios cauces al momento de desbordarse. Estas unidades por lo general están limitadas por escarpes de terraza, generados por los cauces en su recorrido. Incluye planos fluviales menores en forma de "V" que se pueden evidenciar en la parte montañosa y de piedemonte al sureste de la zona de estudio, donde se presenta como una superficie estrecha y alargada.

8.11 ASPECTOS SISMICOS

De acuerdo con la zonificación sísmica de la NSR-10, los siguientes son los coeficientes que se utilizarán para el análisis estructural. En la se presentan los datos sísmicos de diseño.

Figura 8-6 Mapa de microzonificación geotécnica para respuesta sísmica

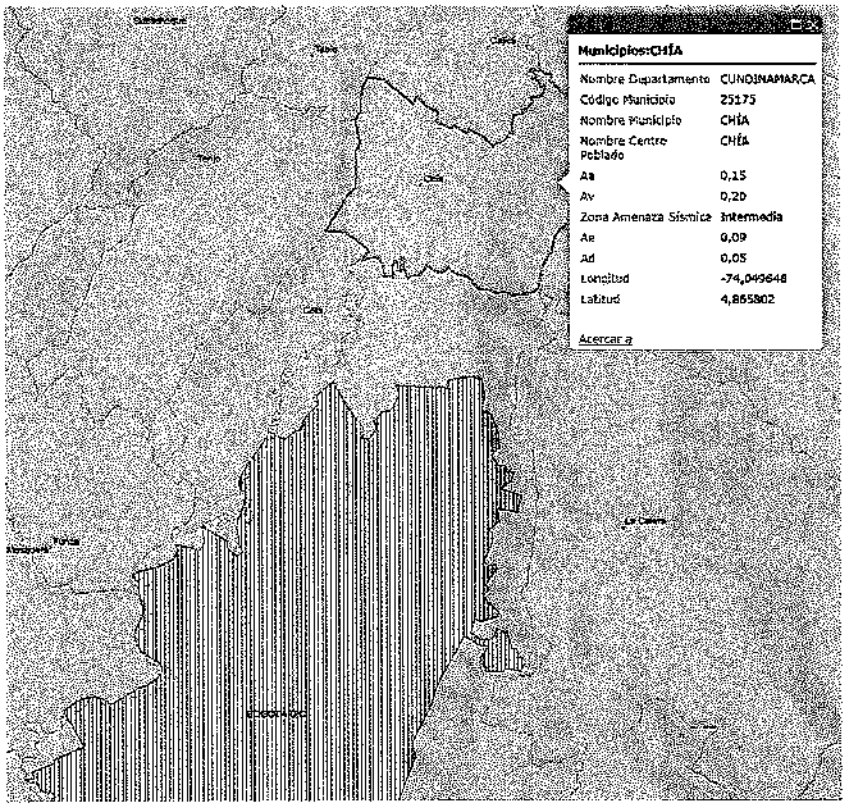


Tabla 8-3. Características sísmicas del perfil de suelo

Parámetro NSR-10	Nomenclatura	Valor
Zona Amenaza Sísmica	Intermedia	
Perfil de suelo	E	

Aceleración horizontal pico efectiva	Aa	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva	Av	0.20
Aceleración horizontal pico efectiva	Ao	0.15
Coeficiente de amplificación periodos cortos	Fa	2.1
Factor de amplificación de periodos intermedios	Fv	3.2
Grupo de Uso	Grupo IV	1.50

8.12 PERFILES ESTRATIGRAFICOS DE LOS SONDEOS

A continuación, se presenta el perfil estratigráfico representativo para cada punto de investigación in situ:

Tabla 8-4. Perfil estratigráfico sondeo 1

Tabla 8-5. Perfil estratigráfico sondeo 1

PERFIL ESTRATIGRAFICO S1	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.00 a 0.90 m	Material de relleno
0.90 a 2.10 m	Arcilla color gris con vetas cafés y de oxidación de alta plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia dura.
2.10 a 3.00 m	Arcilla color gris con vetas cafés y de oxidación de alta plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia dura.

Tabla 8-6. Perfil estratigráfico sondeo 2

PERFIL ESTRATIGRAFICO S2	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.00 a 0.80 m	Material de relleno

PERFIL ESTRATIGRAFICO S2	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.80 a 2.00 m	Limo color café de baja plasticidad, con presencia de raíces finas, condición de humedad, húmeda y consistencia blanda.
2.00 a 3.00 m	Limo color café con vetas de oxidación de baja plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia firme.

Tabla 8-7. Perfil estratigráfico sondeo 3

PERFIL ESTRATIGRAFICO S3	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.00 a 0.80 m	Material orgánico
0.80 a 2.00 m	Limo color café de baja plasticidad, con presencia de raíces finas, condición de humedad, húmeda y consistencia blanda.
2.00 a 3.00 m	Arcilla color gris con vetas cafés y de oxidación de alta plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia firme.
3.00 a 6.00 m	Arcilla no consolidada y densa.

Tabla 8-8. Perfil estratigráfico sondeo 4

PERFIL ESTRATIGRAFICO S4	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.00 a 0.90 m	Material de relleno
0.90 a 1.80 m	Arcilla arenosa de grano fino con gravas color café de baja plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia firme.
1.80 a 2.60 m	Gravas pobremente gradada con limos color café sin plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia dura.
2.60 a 3.00 m	Grava con limos no consolidado y denso.

Tabla 8-9. Perfil estratigráfico sondeo 5

PERFIL ESTRATIGRÁFICO S3	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 a 0.90 m	Material de relleno
0.90 a 2.10 m	Arena limosa de grano fino color café con vetas de oxidación sin plasticidad, condición de humedad, húmeda y cementación débil.
2.10 a 3.00 m	Arena limosa no consolidada y densa.

Tabla 8-10. Perfil estratigráfico sondeo 6

PERFIL ESTRATIGRÁFICO S4	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 a 0.50 m	Material orgánico
0.50 a 1.80 m	Limo color café de alta plasticidad, con presencia de raíces finas, condición de humedad, húmeda y consistencia blanda.
1.80 a 3.00 m	Limo color café de baja plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia dura.

Tabla 8-11. Perfil estratigráfico sondeo 7

PERFIL ESTRATIGRÁFICO S5	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 a 0.60 m	Material orgánico
0.60 a 1.50 m	Grava arcillosa con arena color gris con vetas cafés y de oxidación de baja plasticidad. Condición de humedad, húmeda y consistencia blanda.
1.50 a 3.00 m	Arcilla con arena y gravas color café de baja plasticidad. Condición de humedad, húmeda y consistencia firme.

Tabla 8-12. Perfil estratigráfico sondeo 8

PERFIL ESTRATIGRAFICO SM-8	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.00 a 0.60 m	Material orgánico
0.60 a 2.00 m	Arcilla con arena color café de baja plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia firme.
2.00 a 3.00 m	Arcilla color gris con vetas cafés y de oxidación de alta plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia dura.

Tabla 8-13. Perfil estratigráfico sondeo 9

PERFIL ESTRATIGRAFICO SM-9	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.00 a 0.80 m	Material orgánico
0.80 a 2.00 m	Limo color gris de alta plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia firme
2.00 a 3.00 m	Arcilla color gris con vetas de oxidación de alta plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia blanda.

Tabla 8-14. Perfil estratigráfico sondeo 10

PERFIL ESTRATIGRAFICO SM-10	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
0.00 a 0.80 m	Material orgánico
0.80 a 1.80 m	Limo color café de baja plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia firme.
1.80 a 3.00 m	Limo color café de baja plasticidad, condición de humedad, húmeda y consistencia firme.

8.13 NIVEL FREATICO

Terminadas las perforaciones se realizó la medición del nivel freático, dando como resultado que en el sitio de estudio no se identificó nivel de aguas a ninguna profundidad con respecto al nivel actual del terreno. En caso se presentarse nivel freático comunicarse inmediatamente con el Ingeniero Geotecnista. Se recomienda manejar las aguas de escorrentia que se puedan presentar en épocas invernales para no generar inestabilidad en las paredes de las excavaciones.

8.14 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Según la campaña de exploración geotécnica, el perfil estratigráfico promedio está compuesto por un material orgánico desde la cota de inicio de la exploración hasta 0.8m, subyace a este un estrato de limo color café de baja plasticidad de consistencia firme. También se evidencia la presencia de arcillas de alta plasticidad en algunos sectores.

El siguiente análisis se basa en la clasificación y parámetros del suelo encontrado en campo a partir de los sondeos realizados.

Para el material limo arcilloso hasta los 3.0m de profundidad se opta por realizar la caracterización siguiendo la metodología de Álvaro González usando los resultados obtenidos del ensayo de SPT.

8.14.1 RESULTADO DE SPT

Material: Limo de baja plasticidad

A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos en ensayos de penetración estándar SPT, se muestra el número de golpes necesarios para hincar la cuchara los primeros 15 cm (N0-15), el número de golpes requerido para la hinca en cada intervalo de 15 centímetros de penetración (N15-30 y N30-45). El resultado del ensayo es el golpeo SPT o resistencia a la penetración estándar: NSPT= N15-30 y N30-45.

Tabla 8-15. Resultados de SPT

Sondeo	Información de la muestra			Ensayo de penetración estándar (SPT)				USC
	Muestra No.	Profundidad inicial [m]	Profundidad final [m]	6"	6"	6"	N. Campo	
1	1	0.9	2.1	1	1	1	2	CH
1	2	2.1	3.0	1	1	1	2	CH

Sondeo	Información de la muestra			Ensayo de penetración estándar (SPT)				USC
	Muestra No.	Profundidad inicial [m]	Profundidad final [m]	6"	6"	6"	N. Campo	
2	1	0.8	2.0	2	2	2	4	ML
2	2	2.0	3.0	2	2	2	4	ML
3	1	0.8	2.0	2	2	2	4	ML
3	2	2.0	3.0	1	1	1	2	CH
6	1	0.5	1.8	2	2	2	4	MH
6	2	1.8	3.0	2	2	2	4	ML
8	1	0.6	2.0	2	2	2	4	CL
8	2	2.0	3.0	2	2	2	4	CH
9	1	0.8	2.0	2	2	2	4	MH
9	2	2.0	3.0	2	2	2	4	CH
10	1	0.8	1.8	2	2	2	4	ML
10	2	1.8	3.0	2	2	2	4	ML

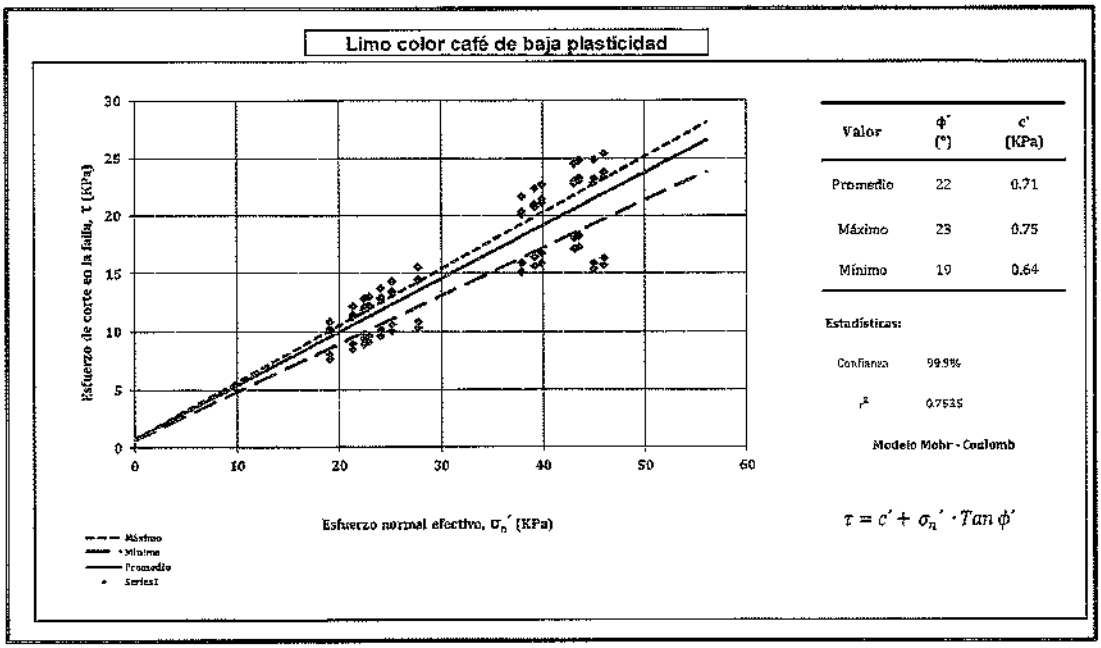
8.15 CORRELACION DE SPT

De los resultados del ensayo SPT en la siguiente tabla se presentan los resultados de los valores normalizados al 60%, Modulo de Elasticidad y Resistencia al corte a través de correlaciones propias del ensayo.

A	Prof. Prom. (m)	N	Peso unitario Kn/ m³	Esfuerzo total	Nivel freático	Presión de poros	Esfuerzo efectivo	C_N	h_1	h_2	N70	ANGULO DE FRICCION EFECTIVO (GRADOS)						N60	Cu (kPa)	Es (kPa)
												Peck	Peck-TF	Meyerhof	DNS	DNS-TF	JDS			
2.1	1.50	4	18.48	27.72	100.00	0.00	27.72	1.90	0.64	0.75	1.83	29.28	27.53	28.90	27.60	20.48	15.54	14.45	10.82	14.49	10.35	2	9	5387
3	2.55	2	18.07	46.08	100.00	0.00	46.08	1.47	0.64	0.75	1.42	28.89	28.90	29.67	27.30	18.87	25.43	23.38	16.29	23.78	15.75	1	5	5093
2	1.40	4	17.20	24.08	101.00	0.00	24.08	2.00	0.64	0.75	3.86	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	13.72	12.89	10.10	12.75	9.59	3	14	5680
3	2.50	4	17.21	43.03	102.00	0.00	43.03	1.52	0.64	0.75	2.94	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	24.51	23.02	18.04	22.78	17.13	3	14	5680
2	1.40	4	18.00	25.20	103.00	0.00	25.20	1.99	0.64	0.75	3.84	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	14.35	13.49	10.57	13.34	10.03	3	14	5680
3	2.50	4	18.01	45.03	104.00	0.00	45.03	1.49	0.64	0.75	1.44	28.89	26.90	19.47	27.30	18.97	24.84	22.84	15.92	23.24	15.39	1	5	5093
1.8	1.15	4	16.60	19.09	105.00	0.00	19.09	2.00	0.64	0.75	3.86	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	10.87	10.22	8.00	10.11	7.60	3	14	5680
3	2.40	4	16.62	39.89	106.00	0.00	39.89	1.58	0.64	0.75	3.05	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	22.72	21.35	16.72	21.12	15.86	3	14	5680
2	1.30	4	17.29	22.48	107.00	0.00	22.48	2.00	0.64	0.75	3.86	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	12.80	12.03	9.42	11.90	8.95	3	14	5680
3	2.50	4	17.41	43.53	108.00	0.00	43.53	1.52	0.64	0.75	2.92	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	24.79	23.29	18.25	23.05	17.33	3	14	5680
2	1.40	4	16.35	22.89	109.00	0.00	22.89	2.00	0.64	0.75	3.86	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	13.04	12.25	9.60	12.12	9.11	3	14	5680
3	2.50	4	15.17	37.93	110.00	0.00	37.93	1.62	0.64	0.75	3.13	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	21.60	20.30	15.90	20.08	15.10	3	14	5680
1.8	1.30	4	16.40	21.32	111.00	0.00	21.32	2.00	0.64	0.75	3.86	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	12.14	11.41	8.94	11.29	8.49	3	14	5680
3	2.40	4	16.34	39.22	112.00	0.00	39.22	1.60	0.64	0.75	3.08	29.67	28.15	22.75	27.90	21.71	22.34	20.99	16.44	20.76	15.61	3	14	5680

Página 91 de 102

	N60	Cu (kPa)	Es (kPa)
Min	1	5	5093
Max	3	14	5680
Prom	2.6	12	5575



8.16 PARÁMETROS DE DISEÑO

Con los resultados de los ensayos de campo se estimaron los parámetros geotécnicos necesarios para el cálculo de capacidad portante y asentamientos. En las siguientes tablas se muestra las características geotécnicas del suelo obtenidas de los ensayos de SPT.

Material	Profundidad		Parametro	Magnitud
	De (m)	A (m)		
	0	0.8	γ(ton /m3)	1.7

Material orgánico			c' (ton/m2)	0.1
			ϕ' (°)	21
			Es (ton/m2)	550
			v	0.4
Limo arcilloso color café de baja plasticidad	0.8	3.0	γ'(ton /m3)	1.71
			c' (ton/m2)	0.1
			ϕ' (°)	23
			Es (ton/m2)	558
			v	0.4

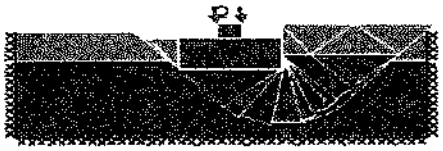
8.17 FACTORES DE SEGURIDAD

Factor de Seguridad FS se define como la relación entre fuerzas resistentes FR y actuantes FA y también pueden usarse esfuerzos y se usa para evaluar el Estado Límite de Falla:

Factor de seguridad Directo

El viene definido como la relación entre esfuerzo cortante último resistente o esfuerzo cortante a la falla y el esfuerzo cortante actuante. Adicionalmente, el esfuerzo cortante a la falla se expresa usualmente con el criterio del Mohr – Coulomb, en términos de esfuerzo efectivo

Figura 8-7 Falla de cortante



Además, que en cualquier caso los Factores de seguridad Básicos aplicados al material terreo (suelo, roca o material indeterminado) no deben ser inferiores a los Factores de seguridad Básico Mínimos o factores de Seguridad Básicos.

Tabla 16. Factores de seguridad directos mínimos

Condición	FSE-1		FS-2	
	Diseño	Construcción y Operación	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.5	1.25	1.8	1.4
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.1	1.4	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seuso estático	1.1	1.00(*)	No se permite	No se permite
Taludes - Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.5	1.25	1.8	1.4
Taludes - Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísimico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

- FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS

Para poder determinar el factor de seguridad indirecto se aconseja optar por los siguientes valores que se presentan en la siguiente tabla

Tabla 17. Factores de seguridad indirectos mínimos

Condición	Excavación
	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.5

8.18 ANALISIS GEOTECNICO REDES DE ALCANTARILLADO

8.18.1 MARCO TEORICO

Capacidad portante

Para el cálculo de capacidad portante y dada la naturaleza de los materiales según la campaña exploratoria realizada que según descripción de campo y ensayos de laboratorio se usará la ecuación descrita en el libro "Principio de Ingeniería de Cimentaciones" de Braja Das correspondiente a la ecuación de Meyerhof (1963) para diferentes configuraciones variando B y L:

$$Q_{ult} = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

c = Cohesión.

q = Esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.

γ = Peso unitario.

B = Base de la cimentación.

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = Factores de forma.

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = Factores de profundidad.

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = Factores por inclinación de carga.

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga.

Asentamientos inmediatos

Para el cálculo de asentamientos se utiliza la siguiente metodología ya que es necesario estimarlos con precisión porque la mayoría de las estructuras son más sensibles a los asentamientos rápidos de distorsión que a los lentos. La ecuación utilizada para el cálculo de asentamientos inmediatos es la siguiente:

$$\delta_i = \frac{H_i}{E_i} * \sigma_{nc*}\left(I_{zz} - \nu_i(I_{xx} + I_{yy})\right)$$

Donde:

δ_i: es el asentamiento de la capa i.

H_i: es el espesor de la capa i.

E_i: es el módulo de elasticidad de la capa i.

σ_{nc}: es el esfuerzo neto de cimentación.

ν_i es la relación de Poisson de la capa i.

I_{zz}, I_{xx}, I_{yy}: son los factores de influencia asociados a las direcciones z, x y y.

Para el cálculo de los factores de influencia, se emplea las ecuaciones de Holl (1940), que definen dichos factores para un área uniformemente cargada, como se presenta en la siguiente figura.

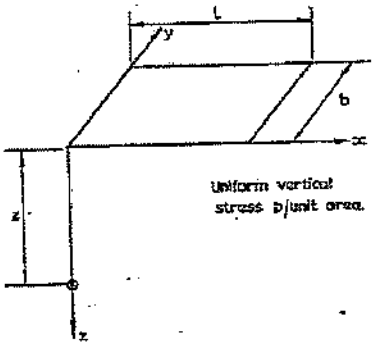


Figura 8. Cálculo del incremento de esfuerzo dentro del área rectangular cargada uniformemente.

Fuente: (Poulos y Davis, 1974)

$$I_{zz} = \frac{1}{2\pi}\left(tan^{-1}\left(\frac{l*b}{z*R_3}\right) + \frac{l*b*z}{R_3}*\left(\frac{1}{R_1^2}+\frac{1}{R_2^2}\right)\right)$$

$$I_{xx} = \frac{1}{2\pi}\left(tan^{-1}\left(\frac{l*b}{z*R_3}\right) - \frac{l*b*z}{R_1^2*R_3}\right)$$

$$I_{yy} = \frac{1}{2\pi}\left(tan^{-1}\left(\frac{l*b}{z*R_3}\right) - \frac{l*b*z}{R_2^2*R_3}\right)$$

$$R_1 = (l^2 + z'^2)^{1/2}$$

$$R_2 = (b^2 + z'^2)^{1/2}$$

$$R_3 = (l^2 + b^2 + z'^2)^{1/2}$$

Adicionalmente, se debe tener en cuenta la superposición de áreas rectangulares ya que en las ecuaciones anteriores se pretende calcular los incrementos de esfuerzo en la esquina del área rectangular, por lo que al calcular dichos factores de influencia se debe emplear la siguiente ecuación.

$$I = \sum_{i=1}^{p} signo(n_i * m_i) * I(|n_i| * |m_i|)$$

Asentamientos por consolidación

Para los asentamientos por consolidación los cuales ocurren cuando se ha disipado la presión de poros en un periodo de tiempo, se pueden calcular de la siguiente forma:

$S_e = \frac{CcH_0}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0+\Delta\sigma_{prom}}{\sigma_0}\right), para\ arcillas\ normalmente\ consolidadas.$

$S_e = \frac{CrH_0}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0+\Delta\sigma_{prom}}{\sigma_0}\right), para\ arcillas\ sobreconsolidadas.\ \sigma_0 + \Delta\sigma_{prom} < \sigma'_p$

$S_e = \frac{CrH_0}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma_0}\right) + \frac{CcH_0}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0+\Delta\sigma_{prom}}{\sigma_0}\right), para\ arcillas\ sobreconsolidadas.\sigma_0 + \Delta\sigma_{prom} > \sigma'_p$

Módulos de reacción

Se realiza el cálculo mediante el método propuesto por Aleksandar Vesic en el artículo publicado en la ASCE en 1963 "Beams on Elastic Subgrade and the winkler´s Hypothesis", en el cual desarrollo un trabajo complementario para la determinación del módulo de reacción mediante montajes experimentales y desarrollo teóricos fundamentados en la mecánica del medio continuo, bajo un comportamiento elástico de los materiales, para lo cual propone la siguiente ecuación:

$$k = \left(\frac{0.65}{d}\right)\sqrt[12]{\frac{E_S d^4}{E_P I}}\left(\frac{E_S}{1-v_S^2}\right)$$

Donde;

k: $modulo\ de\ reacción\ vertical\ del\ suelo$

d: $dimensión\ caracteristica\ del\ elemento$

E_S: $Modulo\ de\ elasticidad\ del\ suelo$

E_P: $Modulo\ de\ elasticidad\ del\ elemento\ (concreto)$

I: $Momento\ de\ inercia\ del\ elemento$

vs: $relación\ de\ poisson\ del\ estrato\ de\ apoyo$

Presión lateral de tierras

Para la determinación de las presiones empuje del suelo, se realiza el cálculo de empuje de tierras en condición activo y pasivo, teniendo en cuenta las características del material presente:

Empuje activo

$$K_a = tan^2\left(45 - \frac{\emptyset}{2}\right)$$

$$\sigma_a = \sigma'_z * K_a - 2c'\sqrt{K_a}$$

$$E_a = \int_{z_0}^{z}\left(\gamma' z * K_a - 2c'\sqrt{K_a}\right)dz$$

Empuje pasivo

$$K_p = tan^2(45 + \frac{\emptyset}{2})$$

$$\sigma_p = \sigma'_z * K_p + 2c'\sqrt{K_p}$$

$$E_p = \int_{z_0}^{z} (\gamma' z * K_p + 2c'\sqrt{K_p})dz$$

8.18.2 PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

Se propone una profundidad de desplante entre 1.5 a 2.0 metros máximo según diseños hidráulicos, se debe asegurar que la zona de emplazamiento esté libre de materiales heterogéneos, orgánicos y cualquier tipo de contaminación de origen antrópico.

8.18.3 CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE

Tabla 18. Capacidad portante, Df = 1.5m

Prof m	B m	γ' kN/m3	Fcs	Fcd	Fci	Fcg	Fqs	Fqd	Fqi	Fqg	Fγs	Fγd	Fγi	Fγg	qu ton/m2	qadm ton/m2	Qadm ton
1.50	1.00	17.10	1.23	1.45	1.00	1.00	1.11	1.23	1.00	1.00	1.11	1.23	1.00	1.00	12.08	4.03	8.05

Tabla 19. Capacidad portante, Df = 2.0m

Prof m	B m	γ' kN/m3	Fcs	Fcd	Fci	Fcg	Fqs	Fqd	Fqi	Fqg	Fγs	Fγd	Fγi	Fγg	qu ton/m2	qadm ton/m2	Qadm ton
2.00	1.00	17.10	1.23	1.60	1.00	1.00	1.11	1.30	1.00	1.00	1.11	1.30	1.00	1.00	13.10	4.37	8.73

8.18.4 ASENTAMIENTOS

Tabla 20. Asentamientos, Df = 1.5m

Carga admisible	70	kN							
Ancho B (m)	1								
Largo L (m)	2								
Esfuerzo admisible	35.000	kPa							
Profundidad sobrecarga (m)	1.5								
Esfuerzo neto de cimentació	35.000	kPa							
capa	Espesor	spesor por divisio	Prof. media	Es	v	Izz	Ixx	Iyy	δi
	m	m	m	kPa					cm
1	0.8	0.2	0.1	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.2	0.3	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.2	0.5	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.2	0.7	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
2	2.2	0.55	1.075	5557	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.55	1.625	5557	0.400	0.993	0.791	0.692	0.139
		0.55	2.175	5557	0.400	0.675	0.215	0.095	0.191
		0.55	2.725	5557	0.400	0.382	0.060	0.019	0.121
						Asentamiento total (cm)			0.45

Tabla 21. Asentamientos, Df = 2.0m

Carga admisible	70	kN							
Ancho B (m)	1								
Largo L (m)	2								
Esfuerzo admisible	35.000	kPa							
Profundidad sobrecarga (m)	2								
Esfuerzo neto de cimentació	35.000	kPa							
capa	Espesor	spesor por divisio	Prof. media	Es	v	Izz	Ixx	Iyy	δi
	m	m	m	kPa					cm
1	0.8	0.2	0.1	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.2	0.3	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.2	0.5	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.2	0.7	5500	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
2	2.2	0.55	1.075	5557	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.55	1.625	5557	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.55	2.175	5557	0.400	0.983	0.712	0.585	0.161
		0.55	2.725	5557	0.400	0.641	0.191	0.081	0.184
						Asentamiento total (cm)			0.35

8.18.5 EMPUJES

Tabla 22. Calculo de empujes

Capa	Espesor	Prof. (m)	σa (kPa)	σo (kPa)	σp (kPa)	u (kPa)	E'a (kN/m)	E'o (kN/m)	E'p (kN/m)	Eu (kN/m)	Ea (kN/m)	Eo (kN/m)	Ep (kN/m)
1	0.8	0.00	0.0	0.0	2.9	0.000	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00
		0.20	0.2	2.2	10.1	0.000	0.02	0.22	1.30	0.00	0.02	0.22	1.30
		0.40	1.8	4.4	17.3	0.000	0.23	0.87	4.04	0.00	0.23	0.87	4.04
		0.60	3.4	6.5	24.5	0.000	0.76	1.96	8.22	0.00	0.76	1.96	8.22
		0.80	5.0	8.7	31.7	0.000	1.61	3.49	13.85	0.00	1.61	3.49	13.85
		0.8	5.0	8.7	31.7	0.000	1.61	3.49	13.84	0.00	1.61	3.49	13.84
2	2.2	0.8	3.3	8.3	37.3	0.000	1.61	3.49	13.84	0.00	1.61	3.49	13.84
		1.35	7.5	14.1	58.7	0.000	4.58	9.65	40.25	0.00	4.58	9.65	40.25
		1.90	11.6	19.8	80.2	0.000	9.82	18.96	78.46	0.00	9.82	18.96	78.46
		2.45	15.7	25.5	101.7	0.000	17.33	31.43	128.47	0.00	17.33	31.43	128.47
		3.00	19.8	31.3	123.1	0.000	27.10	47.04	190.30	0.00	27.10	47.04	190.30
		3.0	19.8	31.3	123.1	0.000	27.10	47.04	190.30	0.00	27.10	47.04	190.30

8.18.6 TIPO DE CIMENTACIÓN

Se genera una alternativa de cimentación, para lo cual se recomienda apoyar la cimentación de la red sobre un mejoramiento en material triturado 3" de mínimo 15 cm compactado con equipo mecánico tipo apisonador, además se recomienda el recubrimiento de este material, mediante un geotextil NT 1600 o similares. El mejoramiento permite desarrollar una homogenización de la subrasante y una capa resistente para las cargas propias de la estructura.

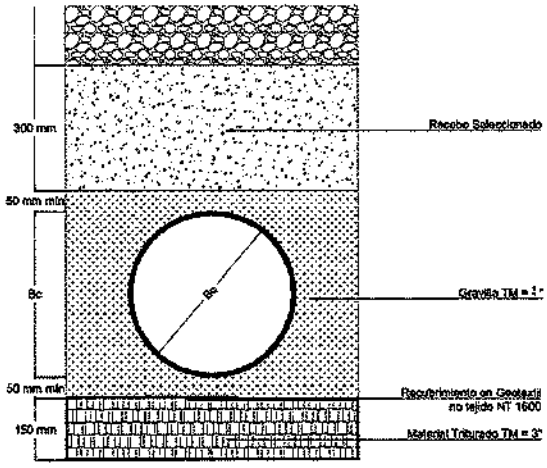


Figura 9. Modelo de cimentación Tipo, en zanja para tuberías flexibles en calzada

Es de aclarar que el espesor superficial del material para tubería flexible en calzada, corresponde a la estructura del pavimento diseñada a partir de las solicitudes de diseño de la vía y este puede variar en espesor si así el diseño del pavimento lo requiera. Para el caso general, el diámetro Bc es de 24".

8.18.7 RELLENOS

Se recomienda emplear para los rellenos de las paredes material tipo recebo que cumpla con las siguientes características mínimas:

Recebo seleccionado

Debe encontrarse homogéneo, sin presencia de ningún tipo de residuo antrópico

Contenido de materia orgánica menor al 1%

Tamaño máximo del material debe ser el menor entre 3" y el 67% del espesor de la capa compactada

Porcentaje que pasa el tamiz 200 máximo 25%

Limite liquido menor al 45%

Índice de plasticidad debe ser menor al 12%

Porcentaje que pasa el tamiz 200 máximo 20%

La distribución granulométrica debe encontrarse dentro del siguiente uso:

Tabla - Porcentaje de tamiz

Tamiz	Porcentaje que pasa
3"	100%
1"	70% - 100%
No. 4	30% - 75%
No. 40	10% - 40%
No. 200	5% - 25%

La instalación se debe realizar en capas de 15 cm de espesor mediante apisonado con pisones apropiados o planchas vibratorias y se debe realizar el control de calidad del material mediante la

verificación de los requisitos propuestos anteriormente, el porcentaje mínimo de compactación de la capa instalada deberá ser mínimo el 95% del peso unitario seco máximo de laboratorio y la capacidad de soporte de la capa evaluado bajo ese nivel de compactación deberá ser de mínimo el 10%.

8.19 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizados los análisis de estado límite de falla (capacidad portante) y estado límite de servicio, se concluye que las cargas de servicio de las estructuras proyectadas son admisibles para la capacidad de carga del suelo de fundación de cada una de estas. Por otra parte, los asentamientos calculados son tolerables y no presentaran riesgo para la integridad de las estructuras.

Se solicita que los trabajos de excavación se realicen en temporada seca, de lo contrario se solicita al contratista contar con motobombas con la potencia necesaria de mantener secas las excavaciones en caso de empozamientos.

Las capacidades portantes y asentamientos fueron evaluados a partir de la información suministrada de los diseños hidráulicos. Todas las dimensiones, niveles, cargas y demás fueron obtenidos de los diseños del proyecto.

Se solicita que el contratista encargado, cuente con equipos de bombeo en caso de requerirlos por empozamientos de las excavaciones.

Se recomienda que las excavaciones duren el menor tiempo posible expuestas evitando o minimizando posibles erosiones por agentes externos.

Los análisis y cálculos plasmados en este informe fueron realizados a partir de la información obtenida en campo, laboratorio, visitas por parte del especialista en geotecnia y criterio profesional de este. En caso de encontrar variaciones durante los procesos constructivos, la interventoría deberá alertar y verificar que las condiciones de la zona sean óptimas para el desarrollo del proyecto.

La interventoría supervisará y verificará que los análisis aquí plasmados, niveles, cortes, desplantes y demás se cumplan a cabalidad.

ALCALDÍA MUNICIPAL
DE CHÍA

CONSORCIO CANALES CHÍA
CHÍA
2021

CONTRATO No 724 DE 2021

CONSULTORÍA PARA FORMULAR EL PLAN MAESTRO DE VALLADOS EN LOS SECTORES PRIORIZADOS DEL MUNICIPIO DE CHÍA

BOGOTÁ D.C., ABRIL DE 2022

ALCALDÍA MUNICIPAL
DE CHÍA

CONSORCIO CANALES CHÍA
CHÍA
2021

CONTRATO No 724 DE 2021

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL ADECUADO MANEJO DE LOS VALLADOS PRIORIZADOS

BOGOTÁ D.C., ABRIL DE 2022

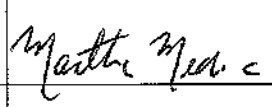
LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Las copias de este documento han sido entregadas a las siguientes dependencias:

DEPENDENCIA	COPIAS
Ingeniera Martha Medina Nieto **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Ingeniero Renny Balanta Murcia **Balanta y Medina Ingenieros**	1
Gustavo Sierra **Supervisor**	1

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas y entregadas a **RENNY BALANTA MURCIA**, para proceder a realizar las modificaciones.

TRAZABILIDAD DEL DOCUMENTO

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
		
Renny Balanta Murcia	**Martha Medina Nieto**	**Gustavo Sierra**
Director Consultoría	Representante Legal CONSORCIO CANALES CHÍA Chía 2021	Supervisor

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

2 ALCANCE 3

2.1 ÁREA DE ESTUDIO 4

3 JUSTIFICACIÓN 7

4 MARCO NORMATIVO Y POLÍTICA SECTORIAL 8

4.1 MARCO NORMATIVO SECTORIAL 8
4.2 POLÍTICA SECTORIAL NACIONAL 8

5 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 11

6 PLANTEAMIENTO DE TRES ALTERNATIVAS DE MANEJO HIDRÁULICO DE VALLADOS 13

6.1 LÍNEAS GENERALES DEL PLAN DE MANEJO E INTERVENCIÓN 13
6.1.1 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN 13
6.1.2 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA 14
6.1.3 ALTERNATIVAS DE RECUPERACIÓN 14
6.2 ALTERNATIVA I 14
6.2.1 PREDISEÑO DE LA ALTERNATIVA I 14
6.3 ALTERNATIVA II 17
6.3.1 PREDISEÑO DE LA ALTERNATIVA II 17
6.4 ALTERNATIVA III 20

7 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA 21

7.1 CRITERIO TÉCNICO BASADO EN EL ACCESO POR MANTENIMIENTO 21
7.2 CRITERIO AMBIENTAL BASADO EN LA POSIBILIDAD DE INTERVENCIÓN EN EL MEDIANO PLAZO DESPUÉS DE CONSTRUIDA LA OBRA 22
7.3 CRITERIO ECONÓMICO BASADO EN LOS COSTOS DE CADA ALTERNATIVA 22
7.4 CRITERIO SOCIAL, BASADO EN LA AFECTACIÓN PREDIALES 22
7.5 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA 23
7.6 GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 25
7.6.1 CLASES DE MANTENIMIENTO 28
7.6.2 PLAN DE MANTENIMIENTO 29
7.6.3 ACTIVIDADES GENERALES 29
7.6.4 ACTIVIDADES DE RETIRO DE RESIDUOS 29
7.6.5 ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS 30
7.6.6 MANEJO DE ECOSISTEMAS A INTERVENIR 30
7.6.7 MANEJO DE RESIDUOS 30

8 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS 31

9 BIBLIOGRAFIA 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio 5

Figura 2. Actividades de limpieza de vallados del municipio 25

Figura 3. Gestión integral de residuos no aprovechables 26

Figura 4. Procesos de participación ciudadana y talleres pedagógicos 27

Figura 5. Seguridad y Salud en el Trabajo para actividades de operación y mantenimiento 27

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Sectores a analizar en la presente consultoría 6

Tabla 4-1 Marco Normativo Sectorial 8

Tabla 4-2 Marco política nacional sectorial 10

Tabla 5-1 Criterios para evaluación de alternativas 12

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Modelos hidráulicos

I INTRODUCCIÓN

En el marco del Contrato 724 de 2021, que tiene por objeto "La consultoría para formular el plan maestro de vallados en los sectores priorizados del municipio de Chía", este documento se constituye como el Producto 2, denominado Evaluación de alternativas para el adecuado manejo de los vallados priorizados. De acuerdo con los alcances, este producto incluirá las propuestas de manejo de los vallados. Contendrá como mínimo tres propuestas, las cuales serán analizadas y evaluadas en sus componentes técnico, económico y ambiental. De la evaluación anterior será escogida una propuesta para el manejo de cada uno de los vallados.

Según lo establece el Contrato 724 de 2021 y en especial las Especificaciones Técnicas, el objetivo principal y los alcances específicos del proyecto, se enmarcan en los productos detallados a continuación:

Producto	Actividad
1	Diagnóstico
2	**Planteamiento de las Alternativas**
3	Diseños a nivel de prefactibilidad
4	Plan de acción e inversiones

Por su parte el CONSORCIO CANALES CHÍA 2021 en el desarrollo de sus actividades, estructura el presente informe denominado PRODUCTO 2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS; El presente documento contiene los siguientes capítulos:

a. Introducción

b. Justificación

c. Alcance

d. Metodología

e. Marco legal

f. Presentación de las tres alternativas de manejo hidráulico de los vallados a nivel de pre factibilidad teniendo en cuenta aspectos técnicos, ambientales y económicos.

g. Evaluación de las tres alternativas y selección de la alternativa: Se empleará una matriz de valoración por criterios y parámetros que permiten asignar a las alternativas un puntaje objetivo y así determinar cuál es la mejor alternativa. sobre la conveniencia de una

alternativa. Los criterios a tener en cuenta serán los técnicos (hidráulicos), ambientales y económicos.

h. Conclusiones del análisis de alternativas.

2 ALCANCE

El Acuerdo 017 de 2000, por el cual se adopta el POT -Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Chía (Cundinamarca), como parte del Capítulo 3, Asignación de Usos y Tratamientos en el suelo Rural, como parte de las características ambientales, sanitarias y paisajísticas de la Zona Agropecuaria (ZAP), define que los vallados son parte constitutiva del drenaje natural, razón por la cual se deberán mantener en buen estado, y no podrán taponarse ni rellenarse. El municipio le da gran importancia a aquellos ubicados en las vías rurales, dejando claro que sobre los mismos no se podrá establecer ninguna infraestructura tipo edificación, ni postes de energía; además, los pasos sobre ellos (puentes) deberán garantizar el libre tránsito de las aguas.

Así mismo, para la Zona rural de Granja (ZRG), se establece que cada propietario deberá preservar y mantener los vallados existentes o restituirlo en caso que hayan sido rellenados, como lo indica el Decreto Municipal 104 de 2004 "*Por medio del cual se ordena la limpieza y recuperación de los Vallados*", así mismo el municipio deberá restituir aquellos vallados que el haya rellenado. Este POT para la ZRG establece como parte del espacio público los vallados paralelos a las vías por tanto sobre los mismos no se podrá instalar cerca o postes y define que para el acceso a los predios se podrán instalar puentes que garantice que discurra libremente el caudal que transita por el vallado.

Los vallados además de cumplir su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial del municipio, son parte del sistema de protección hídrico, y cumplen una función como elemento conector entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, la de conducir los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región.

Actualmente el área rural del Municipio de Chía cuenta con una serie de canales o vallados que recogen las aguas lluvias y las conduce hacia sistemas de canales. Sin embargo, en algunas oportunidades debido a las lluvias, las condiciones de depositación de material sólido y de transporte de estos, condiciones de mantenimiento, entre otras, se presentan desbordamientos que generan inundaciones localizadas en los sectores aledaños.

Esta situación se presenta debido a las condiciones actuales del canal no revestido en las que se evidencia sedimentación, proliferación de especies vegetales acuáticas, generados por falta de mantenimiento, lo cual reduce considerablemente la capacidad hidráulica del canal y aumenta el riesgo de desbordamiento al no poder evacuar rápidamente los caudales en precipitaciones fuertes.

Adicionalmente, el estado de los vallados en el municipio no es el adecuado, dado que se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos.

Por tal motivo, se hace necesario diagnosticar el sistema de recolección de aguas lluvias para aquellas zonas donde los canales son parte integral del sistema de drenaje, para que,

en una etapa posterior, proponer alternativas a implementar. Esta consultoría tiene por alcance definir las condiciones particulares de operación cada uno de los vallados analizados, por medio de un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados, y las posibles alternativas para correcta gestión.

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Chía en el departamento de Cundinamarca. De acuerdo con los términos de referencia, el estudio abarca un total de 12 sectores que se presentan en la **Figura 1** que son nombrados a continuación.

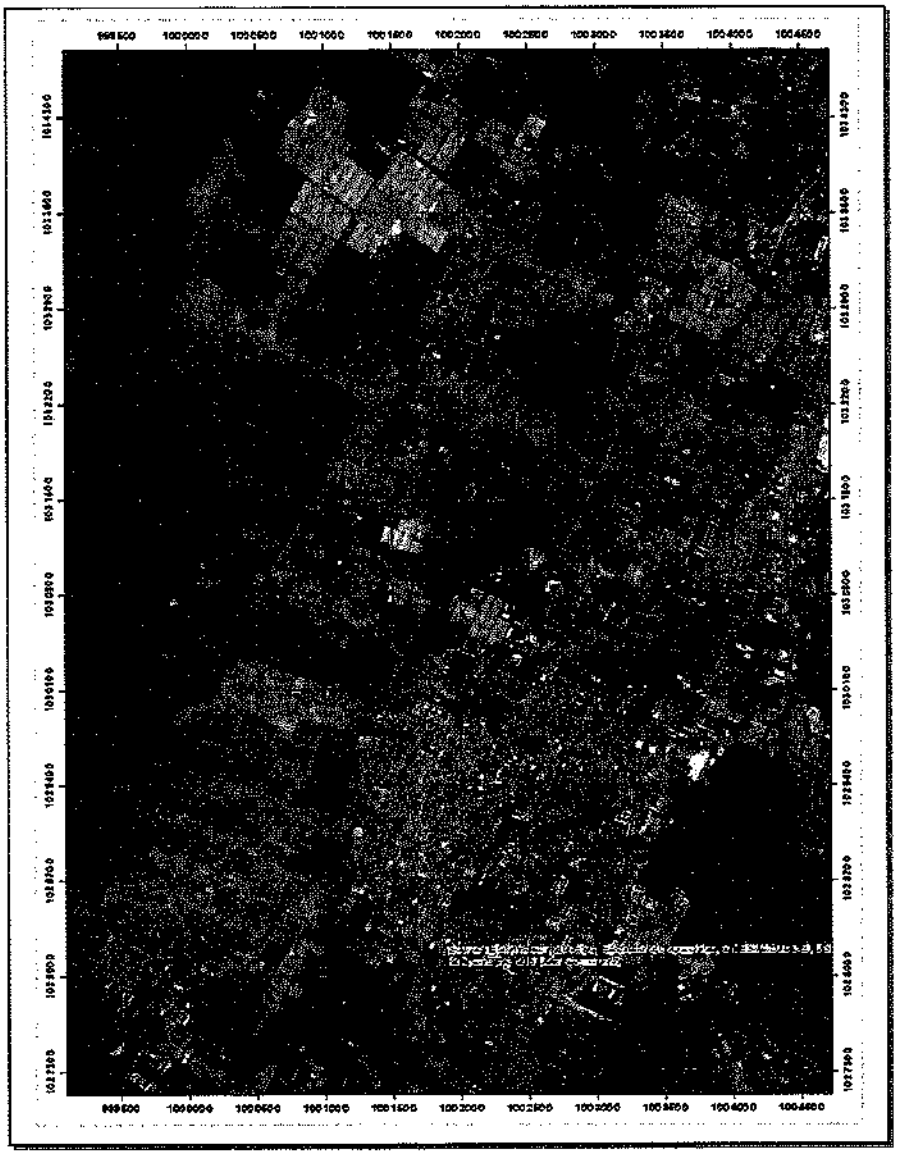


Figura 1. Zona de estudio

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

A continuación, se presentan los sectores priorizados para los cuales se tienen los siguientes vallados levantados con sus respectivas longitudes:

ID. sector	Sector	Vereda	Longitud de vallados analizados (Km)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	2.90
2	La Carolina	Fonquetá	2.31
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	2.18
4	Camino La Carlina	Fonquetá	1.15
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	3.99
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	2.65
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	8.60
8	Guanatá	Fagua	2.24
9	Chamizo - Tambo	Fagua	2.00
10	Carrera 11 costa Rica	Bojacá	1.33
11	Camino Ical	Bojacá	0.86
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	2.93
Total			**33.14**

Tabla 2-1 Sectores a analizar en la presente consultoría

Fuente: Balanta y Medina Ingenieros S.A.S., 2021

3 JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista hidráulico, en la zona rural del municipio, al no tener un sistema de drenaje de aguas lluvias o sistema de alcantarillado pluvial, los vallados cumplen su función como parte de la infraestructura asociada al drenaje pluvial en estas áreas, además de ser parte del sistema de protección hídrico, y son elementos conectores entre los diversos sistemas ecológicos presentes, en particular, conducen los excedentes de aguas lluvias a los cuerpos de agua naturales (chucuas, quebradas, humedales, ríos, drenajes) más cercanos, garantizando la conservación y biodiversidad de los servicios ambientales que estas áreas le prestan al municipio y a la región. Por definición, los vallados son canales artificiales que generalmente se encuentran paralelos a las vías y hacen parte del Sistema Hídrico del Municipio.

De acuerdo con las condiciones evidenciadas en campo, el estado de los vallados en el municipio no es el adecuado, se han convertido en basureros, algunos han sido rellenados y otros canalizados, sin que exista un plan de manejo ambiental para los mismos. Por tanto, identifica como una necesidad para su adecuada gestión el adelantar un diagnóstico cuantitativo y cualitativo detallado con el propósito de establecer con mayor precisión el estado actual de la red principal de vallados.

4 MARCO NORMATIVO Y POLÍTICA SECTORIAL

Para la formulación del presente plan, se adelantó una revisión sistemática de los diferentes instrumentos de planeación, ejecución, control y evaluación a nivel nacional, regional y local.

4.1 MARCO NORMATIVO SECTORIAL

Instrumento	Descripción
Constitución política de Colombia 1991	Consagra los derechos colectivos y del ambiente, determina las bases para la prestación de servicios públicos domiciliarios, así como también establece ámbitos de control y regulación.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, distribución de gas combustible, entre otros.
Ley 388 de 1997	Establece el ordenamiento territorial como un instrumento que permite gestionar los riesgos naturales como lo son inundaciones o deslizamientos generados por un inadecuado manejo de las aguas lluvias.
Decreto 302 de 2000	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
Resolución CRA 152 de 2002	Determina la regulación integral del sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución CRA 287 de 2004	Establece la metodología para el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.
Resolución 330 de 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y derogan las resoluciones 1096 de 2000, 024 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005, y 2320 de 2009
Resolución CRA 688 de 2017	Establece metodología tarifaria para los prestadores de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en área urbana.

Tabla 4-1 Marco Normativo Sectorial

Fuente: Elaboración propia

4.2 POLÍTICA SECTORIAL NACIONAL

Instrumento	Descripción
Decreto 1449 de 1977	Presenta disposiciones para la protección de cuerpos de agua naturales o artificiales que existan en predios de privados.
Decreto 302 de 2000	Reglamenta las relaciones adquiridas entre los prestadores de servicios públicos domiciliarios y sus usuarios, en el marco de la Ley 142 de 1994.
Acuerdo 017 de 2000	Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Chía (Cundinamarca), Capitulo 3, Asignación de Usos y Tratamientos en el suelo Rural.
Ley 715 de 2001	Determina los recursos a destinar para el sector de acueducto y alcantarillado frente a los recursos que recibe un municipio por medio de las Participantes Generales de la Nación. Constituyendo así parte del financiamiento municipal para la prestación de estos servicios públicos.
Decreto 958 de 2001	Origina la Comisión Intersectorial de Servicios Públicos Domiciliarios como un ente orientador y coordinador a nivel nacional.
Ley 732 de 2002	Fomenta la urgencia de desarrollar la estratificación socioeconómica para definir tarifas de servicios públicos domiciliarios y régimen de subsidios.
Decreto 421 de 2002	Establece la posibilidad de que las comunidades constituidas como personas jurídicas sin ánimo de lucro prestar servicios en municipios menores (categoría 5ª y 6ª), zonas rurales, y zonas urbanas en específico.
Decreto 398 de 2002	Define las condiciones para que un municipio preste los servicios de acueducto y alcantarillado. De igual forma, establece el procedimiento para realizar la evaluación y adjudicación a empresas prestadoras de servicios públicos.
CONPES 3246 de 2003	Lineamientos de la política para el Sector de Acueducto y Alcantarillado.
CONPES 3320 de 2004	Establece la estrategia para el manejo ambiental e integral del Río Bogotá, con participación de la ciudad de Bogotá y los municipios de la región.
Decreto Municipal 104 de 2004	*"Por medio del cual se ordena la limpieza y recuperación de los Vallados"*

Instrumento	Descripción
Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022	Estrategia nacional de restauración de ecosistemas que incluya el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación. Estudios de amenazas ante fenómenos naturales para el ordenamiento territorial municipal desde las entidades técnico-científicas del país. Iniciativas de adaptación al cambio climático que reduzcan los efectos de las sequías y las inundaciones en los sectores y los territorios.

Tabla 4-2 Marco política nacional sectorial

Fuente: Elaboración propia

5 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación, se presentan los criterios de selección empleados para poder evaluar cada una de las alternativas propuestas.

Criterio Técnico (hidráulico y constructivo)

Técnicamente el planteamiento de cada alternativa logra reducir las condiciones que ocasionan los problemas de encharcamiento en el sector. No obstante, desde el punto de vista técnico, este criterio se basa en la reducción de los problemas en el sistema, los cuales se asocian a la obstrucción del sistema por elementos que puedan ser transportados por el flujo cuantificable en la facilidad en el acceso para las labores de mantenimiento.

Criterio Ambiental

Este se basa en la posibilidad de intervención en el mediano plazo después de construida la obra, asociado con la vida útil, dado que en una alternativa se mantiene una infraestructura que lleva funcionando cerca de 40 años.

Criterios Económicos

A continuación, se presentan los criterios asociados a las condiciones económicas, los cuales se evalúan de acuerdo con dos criterios:

- Evaluación de costos
- Posibilidad de pago por parte de la entidad del estado

El primer criterio tiene en cuenta los costos de cada una de las alternativas, y se fundamenta en la evaluación preliminar de costos que se realiza para cada una de las alternativas.

En el caso del segundo criterio, este tiene en cuenta la capacidad que tiene la entidad, para poder financiar o pagar el proyecto.

Criterio Social

Criterio basado en las afectaciones que se tengan que realizar para poder liberar las áreas de los predios cuyos asentamientos han intervenido y en algunos casos han modificado y eliminado el trazado de los vallados.

En la siguiente tabla se presentan las características y posteriormente se describen en detalle cada uno de los indicadores. Vale la pena resaltar que para cada uno de los indicadores se obtiene una calificación para cada alternativa, siendo entonces la evaluación de la alternativa, la sumatoria de las calificaciones parciales.

Criterio Técnico (hidráulico y constructivo)		
Facilidad en el mantenimiento del sistema	iHD1 = 0. No es fácil el mantenimiento iHD1 > 0 >= 1. Condición parcial, iHD1 = 1. Si es fácil el mantenimiento	0 a 1
Criterio ambiental		
Posibilidad de intervención en el mediano plazo después de construida la obra	iAmb1 =0 No se puede intervenir en el mediano plazo iAmb1 =0 Si se puede intervenir en el mediano plazo	0 y 1
Criterios económicos		
Evaluación de costos	iEco1 = 1 - (Costo min de las alternativas / Costo de la alternativa)	0 a 1
Criterio social		
Afectación predial	iSoc1 = 0 si tiene afectación predial iSoc1 = 1 No tiene afectación predial	0 y 1

Tabla 5-1 Criterios para evaluación de alternativas

Fuente: Elaboración propia

6 PLANTEAMIENTO DE TRES ALTERNATIVAS DE MANEJO HIDRÁULICO DE VALLADOS

6.1 LÍNEAS GENERALES DEL PLAN DE MANEJO E INTERVENCIÓN

Tras valorar las conclusiones del diagnóstico del estado actual del servicio, así como las alternativas de mejoramiento que se proponen para cada canal, se establecen las siguientes líneas generales para el Plan de Manejo e Intervención:

6.1.1 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN

El aumento y aceleración de la escorrentía durante un evento de lluvia intenso y generalizado sobre áreas con alta impermeabilidad, asociadas a proceso de urbanización favorece la ocurrencia de inundaciones lentas o encharcamiento sobre sitios vulnerables, esto se debe principalmente a dos causas, la primera hace referencia a que los conductos de descarga presentan insuficiencia hidráulica, y la segunda a que las cotas de batea son superadas por los niveles de la lámina de agua o crecientes de las corrientes.

Así mismo, para el manejo de aguas lluvias se debe tomar en cuenta factores hidrológicos del área a intervenir, tipología del suelo y el porcentaje de cobertura vegetal, por lo que en el servicio es prestado implícitamente por varias instituciones (Alcaldía de Medellín & EPM, 2013).

Del mismo modo este Plan de Manejo e intervención buscará articular la gestión interinstitucional de cada uno de los componentes que interacciona en el manejo de las aguas lluvias.

Este planteamiento tiene que ver con el mejoramiento de las condiciones hidráulicas de cada uno de los canales, para lo cual se realiza un modelamiento hidráulico y se obtiene una sección transversal óptima para dicho canal a partir también del ajuste de la pendiente longitudinal en caso de requerirse, o el planteamiento de sistemas de drenaje convencional como alcantarillados pluviales, en los casos que se presenten desbordes de agua o condiciones de encharcamiento o inundación.

La Resolución 03330 de 2017, indica que los sistemas pluviales deben ser analizados para condiciones asociadas a un periodo de retorno de 50 años; en la presente consultoría los análisis de los canales se realizan para este periodo de retorno en los casos en los que no se cuente con un sistema de alcantarillado pluvial. Lo anterior dado que en caso de existir alcantarillado pluvial el canal será analizado para un periodo de retorno de 5 años qué es la capacidad máxima de diseño plantea también para sistemas de drenaje pluvial o alcantarillados en zonas urbanas de acuerdo con la resolución mencionada.

6.1.2 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

Este planteamiento se deriva de los análisis de optimización hidráulica expuestos en el numeral anterior. de aquí se obtienen las condiciones geométricas óptimas para el funcionamiento de este.

6.1.3 ALTERNATIVAS DE RECUPERACIÓN

Estas alternativas serán planteadas en los casos en los que se presenten condiciones de intervención por viviendas y otro tipo de construcciones que disminuyen las características del canal u obstruyan el flujo continuo a través de este.

El objetivo principal es potencializar el valor urbanístico y paisajístico de los sitios objeto de intervención, por medio de una nueva distribución espacial, que propenda por la recuperación del espacio público, un aumento en el porcentaje de cobertura vegetal y la afinidad con el uso del suelo, incorporando los aspectos hidráulicos enfocados a la prevención, mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y fenómenos naturales.

6.2 ALTERNATIVA I

Esta alternativa consiste en que, en algunos tramos el sistema de vallados ha sido altamente intervenido, de forma que no queda en cada calle, espacio para poder reestablecer la función hidráulica del canal. Para este caso, se complementa el drenaje con una tubería paralela al trazado de la vía, actuando como un sistema de alcantarillado pluvial, el cual tendría la capacidad de transportar el caudal que se genera en las áreas aledañas a la vía, para un periodo de retorno de 3 a 5 años, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 0330 de 2017 para sistemas de alcantarillado pluvial.

En esta alternativa la tubería será la que llevará las aguas provenientes de la cuenca o área aferente, como un colector que cuenta con pozos de alcantarillado, sumideros y demás elementos que permitan el buen funcionamiento del sistema.

Esta alternativa es entonces, la proyección de tramos de tuberías con diámetros que van de 24" a 1.20 m de diámetro según sea el caso, en trazos rectos en sentido de la vía, centrados en la calzada. Para la misma, se realizó un pre-dimensionamiento de la tubería, obteniendo como resultado los diámetros mencionados.

6.2.1 PREDISEÑO DE LA ALTERNATIVA I

Para el caso de condiciones óptimas para un funcionamiento de esta alternativa, se toman los siguientes lineamientos generales de diseño, los cuales para su evaluación serán tenidos en cuenta para un tramo unitario de 100 m:

Los sistemas de alcantarillado se diseñaron empleando la suposición de flujo uniforme y la metodología aceptada por la Resolución 0330 de 2017, a partir de la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R_h^{2/3} * S_0^{1/2}$$

Donde,

Q= Caudal de diseño (m3/s).

Rh= Radio Hidráulico (m).

A= Área de la sección mojada (m2).

S= Pendiente de la tubería (m/m).

n= Coeficiente de rugosidad de Manning.

Los datos de referencia para el diseño son:

Caudal mínimo (l/s)	40
Caudal de diseño (l/s)	500
Caudal máximo (l/s)	650
Pendiente (%)	1.0
Material de la tubería	PVC
Longitud (m)	100
Coeficiente de Rugosidad	0.012

De acuerdo con estos datos, la sección transversal requerida para un conducto cerrado, tomando una relación de Profundidad del flujo / Diámetro, no superior a 0.90, es de 24", para un caudal de 650 l/s.

Prof. del flujo (m)	Caudal (l/s)	Diam. (pulg)	Área (m2)	Radio Hidráulico (m)	Ancho superior (m)	Prof. Hidráulica (m)	AR ^(2/3)	y/D	Velocidad (m/s)
0.23	200	24	0.10	0.12	0.58	0.17	0.024	0.38	2.06
0.39	500	24	0.19	0.17	0.57	0.34	0.060	0.65	2.59
0.48	650	24	0.24	0.18	0.48	0.50	0.078	0.80	2.68

Para el tramo de 100 m, el presupuesto aproximado de esta alternativa sería el que a continuación se presenta:

CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	**PRELIMINARES**				
1.10	Campamento	Un	1.00	$ 2,269,337	$ 2,269,337
	Replanteo, control y medición de la obra	m2	3984.00	$ 1,354	$ 5,394,336
1.30	Descapote	m2	3984.00	$ 1,697	$ 6,760,848
				SUBTOTAL	**$ 14,424,521**
2	**MOVIMIENTOS DE TIERRA**				
2.90	Excavaciones varias sin clasificar (incluye retiro de sobrantes a una distancia de 15 km)	m3	228.00	$ 69,837	$ 15,922,836
	Relleno Tipo 2	m3	120.00	$ 80,774	$ 9,692,880
				SUBTOTAL	**$ 25,615,716**
5	**SUMINISTRO E INSTALACIÓN**				
3.30	Tubería de 24" PVC REFORZADA	m	100.00	$ 401,045	$ 40,104,500
3.31	Tubería de 27" PVC REFORZADA	m	0.00	$ 507,237	$ 0
3.32	Tubería de 33" PVC REFORZADA	m		$ 666,887	$ 0
4.1, 4.2, 4.3	Pozos hp<=2.00 m	Un	2.00	$ 3,312,462	$ 6,624,924
4.1, 4.2, 4.3	Pozos hp=2.01 a 4.00 m	Un		$ 4,764,074	$ 0
4.90	Sumidero SL-100 fundido in situ	Un	4.00	$ 2,495,453	$ 9,981,812
				SUBTOTAL	**$ 56,711,236**
5	**OTROS**				
3.11	MEZCLA DENSA EN CALIENTE PARA BACHEO (INCLUYE CEMENTO ASFÁLTICO)	m2	120.00	$ 818,134	$ 98,176,080
				SUBTOTAL	**$ 98,176,080**
				TOTAL COSTO DIRECTO	**$ 194,927,553**
				ADMINISTRACION 10%	$ 19,492,755
				IMPREVISTOS 10%	$ 19,492,755
				UTILIDAD 5%	$ 9,746,378
				IVA 19%	$ 1,851,812
				TOTAL COSTO OBRA CIVIL	**$ 245,511,253**

6.3 ALTERNATIVA II

Esta alternativa considera pertinente por razones de tipo técnico, económico, operativo, social y ambiental, el mantener y dar funcionalidad a los vallados existentes en cada tramo, planteando un canal que sea capaz de transportar los volúmenes de agua procedentes de las áreas de drenaje o cuencas. Bajo esta condición, la alternativa propone que la infraestructura existente de cada vallado se emplee para el transporte de los caudales de aguas lluvias, o simplemente que la misma sea rehabilitada.

Esto indica que, se trazaría un canal bajo ciertas características, que logra transportar el caudal total del flujo proveniente de cada área de drenaje.

6.3.1 PREDISEÑO DE LA ALTERNATIVA II

Para estimar la profundidad normal del flujo en los vallados (profundidad de flujo uniforme), se emplea la ecuación de Manning:

AR 2/3 = Q n / So 1/2

Donde:

Q Caudal en (m3/s)

A Área mojada en (m2)

R Radio hidráulico en (m), que corresponde a la relación entre el área y el perímetro mojado (R = A/P)

n Coeficiente de rugosidad de Manning de 0.040 para canales en tierra

So Pendiente del fondo de la alcantarilla (m/m)

La pendiente del fondo del canal (So), se supuso igual a 2.0% (0.020 m/m) que es el valor mínimo aceptado por el INVIAS.

Para un vallado de sección trapezoidal, de ancho de la base B, talud lateral z (1V: z H) y altura H, el área de la sección transversal del flujo es:

A = B y + z y ^2

Siendo y la profundidad del flujo para condiciones de flujo permanente uniforme; para dicha sección, el perímetro mojado de la sección es:

$P = B + 2 z y$

Se calcula también para cada tramo por continuidad del flujo, la velocidad promedio del flujo, y el número de Froude, siendo la velocidad igual a:

$V = Q / A$

Y el número de Froude, igual a:

$F = V / (g D) 0.5$

Donde V es la velocidad del flujo (m/s), F el número de Froude (adimensional), g la aceleración de la gravedad (9.81 m/s2), D la profundidad hidráulica en metros, que para un canal rectangular corresponde a la profundidad del flujo.

Los datos de referencia para el diseño son:

Caudal mínimo (l/s)	40
Caudal de diseño (l/s)	500
Caudal máximo (l/s)	650
Pendiente (%)	1.0
Material del canal	Canal en tierra
Longitud (m)	100
Coeficiente de Rugosidad	0.040
Ancho de la base (m)	0.60

De acuerdo con estos datos, la sección transversal requerida para un canal abierto, para un caudal de 650 l/s es:

Prof. del flujo (m)	Caudal (l/s)	Altura del canal	Área (m2)	Radio Hidráulico (m)	Ancho superior (m)	Prof. Hidráulica (m)	AR ^(2/3)	Número de Froude	Velocidad (m/s)
0.37	200	0.28	0.25	0.18	1.17	0.22	0.080	0.55	0.80
0.57	500	0.46	0.49	0.26	1.53	0.32	0.200	0.57	1.01
0.66	650	0.55	0.63	0.29	1.70	0.37	0.280	0.58	1.10

Caudal máximo (l/s)	650
Ancho de la base (m)	0.60
Borde libre (m)	0.20
Altura del canal (m)	0.85
Talud lateral (1V – z H)	1.0
Pendiente (%)	1.0
Material del canal	Canal en tierra

Para el tramo de 100 m, el presupuesto aproximado de esta alternativa sería el que a continuación se presenta:

CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	PRELIMINARES				
1.10	Campamento	Un	1.00	$ 2,269,337	$ 2,269,337
	Replanteo, control y medición de la obra	m2	276.00	$ 1,354	$ 373,704
1.30	Descapote	m2	276.00	$ 1,697	$ 468,372
				SUBTOTAL	$ 3,111,413
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
2.90	Excavaciones varias sin clasificar (incluye retiro de sobrantes a una distancia de 15 km)	m3	1215.00	$ 69,837	$ 84,851,955
				SUBTOTAL	$ 84,851,955
3	ESTRUCTURAS PASOS VIALES Y ACCESOS				
4.50	Suministro y colocación de concreto de 3500 psi	m3	24.72	$ 738,450	$ 18,254,484
3.30	Tubería de 24" PVC Reforzada	m	18.00	$ 401,045	$ 7,218,810
4.24	Suministro y colocación de concreto pobre para solados	m3	1.96	$ 398,171	$ 781,212
4.11	Suministro y colocación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm2	Kg	593.28	$ 16,880	$ 10,014,566
				SUBTOTAL	$ 36,269,072
				TOTAL COSTO DIRECTO	$ 124,232,440
				ADMINISTRACION 10%	$ 12,423,244
				IMPREVISTOS 10%	$ 12,423,244
				UTILIDAD 5%	$ 6,211,622
				IVA 19%	$ 1,180,208
				TOTAL COSTO OBRA CIVIL	$ 156,470,758

Página 1

6.4 ALTERNATIVA III

Esta alternativa 3 se plantea como un híbrido entre las dos alternativas anteriores, dado que considera mantener los vallados en los tramos donde se puede restablecer sus funciones hidráulicas y en los cuales se cuente con el espacio para tal fin, complementado con un sistema de alcantarillado, en aquellos tramos que resulte imposible por condiciones de espacio, reconformar el vallado, o que el espacio de la vía sea tal que, no se logre plantear el paso del canal.

Esta alternativa, dependerá de las condiciones propias de cada vallado, por lo que será necesario evaluar primero la pertinencia de cada una de las dos alternativas inicialmente propuestas. Así mismo, esta alternativa no puede ser evaluada en el análisis posterior, dado que la misma dependerá de aquellos casos en las cuales se requiere implementar tanto el sistema de alcantarillado pluvial, combinado con el sistema de tuberías.

7 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

7.1 CRITERIO TÉCNICO BASADO EN EL ACCESO POR MANTENIMIENTO

Las alternativas planteadas para el sistema de drenaje pluvial se evaluaron bajo este criterio, teniendo en cuenta que cada una de ellas se ajustará dentro de lo posible, a las reducciones de obstrucciones generadas por altas cargas de basuras arrojadas al mismo, lo cual también se relaciona directamente con la facilidad al acceso para poder realizar las labores de mantenimiento del sistema.

Este criterio es importante, dado que, demarca para cada alternativa un peso de acuerdo con las reducciones de obstrucciones. Es claro que, para cada alternativa, las características propias por su sección transversal permiten o no el paso sin problemas de materiales como la basura acumulada, así mismo, facilitan las labores de mantenimiento. De acuerdo con esto, se establece la siguiente ponderación de acuerdo con la reducción de obstrucciones.

iHD1 = 0. No es fácil el mantenimiento

iHD1 > 0 >= 1. Condición parcial,

iHD1 = 1. Si es fácil el mantenimiento

Donde iHD1 es el indicador relacionado con el criterio de reducción de obstrucciones,

Criterio de reducción de obstrucciones	Puntuación
No es fácil el mantenimiento	No = 0
Parcialmente	PARCIAL = 0.5
Si es fácil el mantenimiento	SI = 1

La alternativa 1, dado que es un sistema de s tuberías, de acuerdo con las condiciones sociales en las cuales las poblaciones generalmente arrojan basuras al sistema, presentaría una condición menos favorable en relación a la alternativa 2, al ser vistos en términos del tamaño de la sección transversal. En este caso, para la alternativa 1 se le da una puntuación

de 0.5, contrario a la alternativa 2 en la que es más fácil el mantenimiento, a lo cual se le da una puntuación de 1.0.

7.2 CRITERIO AMBIENTAL BASADO EN LA POSIBILIDAD DE INTERVENCIÓN EN EL MEDIANO PLAZO DESPUÉS DE CONSTRUIDA LA OBRA

Este criterio se basa en la posibilidad que, en un mediano plazo, se tenga que realizar nuevamente una obra para reparar el sistema propuesto o modificarlo. Para la alternativa 1 es posible que no se requiera intervenir dichos elementos existentes para cambiar o reparar los mismos. Para la alternativa 2 en el mediano plazo, es posible se tenga que realizar nuevamente obras o reconformación, al ser un sistema abierto con canales en tierra. En este caso se le da una puntuación de 1.0 a la alternativa 1 y de 0.0 a la alternativa 2.

7.3 CRITERIO ECONÓMICO BASADO EN LOS COSTOS DE CADA ALTERNATIVA

Para cada una de las alternativas se realizó una valoración económica teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el prediseño de las mismas.

De acuerdo con los resultados presentados, la alternativa que presenta los mayores costos corresponde a la alternativa 1 (245 Millones). Sin embargo, la alternativa 2 difiere en costos por una diferencia amplia, de cerca del 50% con respecto a la anterior (156 Millones).

7.4 CRITERIO SOCIAL, BASADO EN LA AFECTACIÓN PREDIALES

Se analiza cada una de las alternativas teniendo en cuenta la afectación que cada una pueda presentar con respecto a las vías principales de los asentamientos e incluso en las viviendas. Para este caso, la condición más favorable es cuando no se presentan afectaciones significativas a los asentamientos (puntuación igual a 1), y las menos favorable es cuando se presentan muchas afectaciones tanto a vías como a viviendas (puntuación igual a 0).

Criterio basado en la afectación a los asentamientos	Puntuación
Si tiene afectación predial	0 (Desfavorable)
No tiene afectación predial	1 (Favorable)

De acuerdo con los criterios de selección mencionados anteriormente, se estableció cuál de las alternativas es la más favorable sumando las calificaciones de cada alternativa de acuerdo al criterio propuesto. El resultado de la evaluación de cada alternativa, corresponde a la suma de cada una de las variables, suponiendo en peso, todas las variables o criterios tienen la misma importancia. A continuación, se presenta la calificación para cada alternativa.

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Técnico	0.0	1.0
Ambiental	1.0	0.0
Económico 1	0.63	1.0
Social	1.0	1.0
Total	**2.63**	**3.**

7.5 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

De acuerdo con los resultados presentados, la alternativa seleccionada por esta consultoría para el drenaje pluvial deberá ser aquella que, al ser evaluada de acuerdo con los criterios propuestos en los numerales anteriores, presente la mejor calificación.

Es por eso, que se sugiere tener en cuenta la alternativa 2 que fue aquella que presento la mejor calificación. No obstante, se resalta que esta selección de la alternativa es la que

mejor se acomoda a las condiciones dado que da un buen funcionamiento hidráulico, y permite tener un horizonte a largo plazo para intervenciones en el sector. No obstante, debe tenerse en cuenta que en aquellos casos donde no sea posible implementar los vallados será necesario construir un sistema de tuberías.

A CONTINUACIÓN, para cada auno de los sectores analizados, se presentan los tramos que se van a diseñar a nivel de prefactibilidad, de acuerdo con cada alternativa propuesta, y de acuerdo con las condiciones encontradas en el diagnóstico de cada uno de los sectores.

ID. sector	Sector	Vereda	Alternativa 1 Sistema de tuberías (m)	Alternativa 2 reconformación del vallado (m)
1	Camino de Santa Bárbara	Cerca de Piedra	1198.00	656.00
2	La Carolina	Fonquetá	0.00	1148.00
3	Camino El Rodadero	Fonquetá	0.00	1512.00
4	Camino La Carlina	Fonquetá	898.00	0.00
5	Camino Alejandría Volador	Fonquetá	0.00	3287.00
6	Potrerito y 6 Eses	Fonquetá	0.00	2377.00
7	El Retiro - La Leonor	Fagua	0.00	2010.00
9	Chamizo - Tambo	Fagua	0.00	2000.00
8	Guanatá	Fagua	342.00	520.00
10	Carrera 11 Costa Rica	Bojacá	0.00	999.00
11	Camino Ical	Bojacá	0.00	1437.00
12	Carrera 11 con Camino a Guanatá	Bojacá	0.00	1913.00
Total			**2438.00**	**17859.00**

7.6 GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de las alternativas de mejoramiento, recuperación y optimización del sistema, se debe garantizar la capacidad técnica y administrativa para la operación de la infraestructura, así como la consecución de recursos financieros y organizacionales que permitan adelantar las actividades de mantenimiento a mediano y largo plazo, de tal forma que se pueda asegurar el funcionamiento del sistema de drenaje, extensión de la vida útil y una eficiencia aceptable (Universidad de los Andes, 2017).

Las actividades de mantenimiento no solo contemplan el servicio integral de limpieza en cuerpos de agua, manejo de estos residuos (separación y disposición en sitios autorizados), por el contrario, se engloban en cuatro grandes componentes: i) operativo; ii) ambiental, iii) social y iv) seguridad y salud en el trabajo (Aguas de Bogotá, 2015).

Por lo que se refiere al componente operativo, abraca el retiro de material no aprovechable, material de arrastre, sedimentos, lodos o escombros, así como residuos voluminosos que se encuentre sobre el área de influencia directa del canal.



Figura 2. Actividades de limpieza de vallados del municipio

Fuente: https://www.chia-cundinamarca.gov.co (7 de julio de 2022)

Con relación al componente ambiental, adelanta el seguimiento de las dinámicas ecosistémicas, factores bióticos y abióticos identificados en el sistema hídrica. Por otra parte, busca garantizar una adecuada gestión de los residuos no aprovechable resultantes de las actividades enmarcadas en el componente operativo.

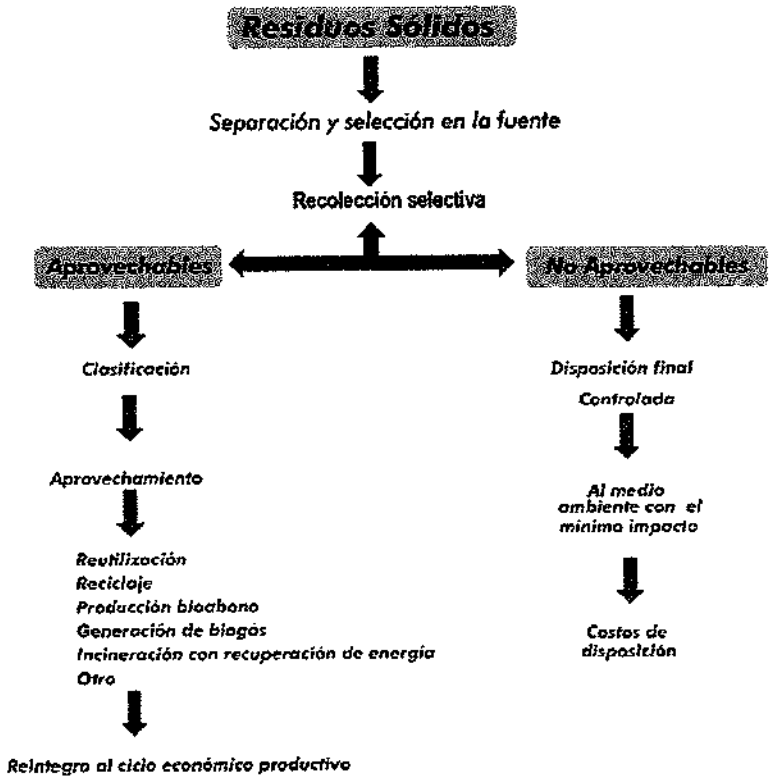


Figura 3. Gestión integral de residuos no aprovechables

Fuente: https://emserchia.gov.co/wordem/?s=Residuos+Solidos

Frente al componente social, este se fundamenta en la comprensión diferencial de los territorios y comunidades ubicadas en las áreas de influencia directa de los cuerpos de agua. Emplea procesos pedagógicos y canales de participación ciudadana dirigidos a generar impacto en los hábitos de disposición de residuo sólidos, mitigación y adaptación del cambio climático, empoderamiento y gobernabilidad del agua por medio de taller pedagógicos y de concientización sobre el papel que desempeñan los canales de agua lluvia en la gestión integral del recurso hídrico.



Figura 4. Procesos de participación ciudadana y talleres pedagógicos

Fuente: https://www.chia-cundinamarca.gov.co (7 de julio de 2022)

Por último, pero no menos importante, el componente de Seguridad y Salud en el trabajo es objeto de análisis desde el proceso de diseño de las alternativas, puesto que toma en cuenta quien, y como se desarrollarán las actividades de mantenimiento, condiciones de acceso a la zona de intervención, seguridad física y minimización de riesgos para el personal operativo y terceros (Universidad de los Andes, 2017).

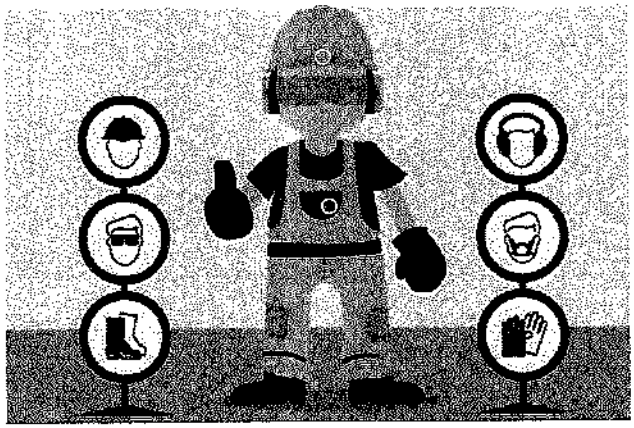


Figura 5. Seguridad y Salud en el Trabajo para actividades de operación y mantenimiento

Fuente: https://quimiweb.com/app/news/posts/13474

Por todo lo anterior, este capítulo se busca formular actividades de mantenimiento genéricas, recomendaciones específicas y establecer periodicidades de seguimiento,

teniendo en cuenta que cada una de las alternativas planteadas responde a necesidades y condiciones específicas del área a intervenir.

7.6.1 CLASES DE MANTENIMIENTO

Las actividades de mantenimiento se pueden clasificar en dos grandes grupos, el primero hacer referencia al mantenimiento preventivo, mientras que el segundo a las medidas de correctivas o remediación (Universidad de los Andes, 2017).

Como se ha mencionado con anterioridad cada una de las tipologías a implementar presenta necesidades diferenciadas, en término de personal, frecuencia y recursos. No obstante, desde una mirada generalizada, el mantenimiento preventivo consta de actividades de limpieza de sedimentos, basura y vegetación muerta, rehabilitación parcial de las estructuras y sus componentes o la reparación (Universidad de los Andes, 2017). A su vez, estas medidas van acompañadas de inspecciones visuales, gestión de la cobertura del suelo y remoción de sólidos de gran volumen (Aguas de Bogotá, 2015), que permiten englobar las actividades en mantenimiento de tipo Regular y Ocasional.

Ahora bien, las medidas correctivas contemplan principalmente acciones concretas para la reparación y rehabilitación de estructuras, equipos, zonas de acceso, accesorios, etc.

7.6.1.1 MANTENIMIENTO REGULAR

Sus principales características se engloban en actividades que requieren bajo presupuesto y se adelantan con una frecuencia alta (menores a un mes). Las actividades más recurrentes son: conservación de especies vegetales, inspecciones regulares y remoción de materia orgánica y residuos sólidos (Universidad de los Andes, 2017).

7.6.1.2 MANTENIMIENTO OCASIONAL

Pese a que el desarrollo de estas actividades es periódico, su frecuencia es menor con respecto al mantenimiento regular. Por otra parte, corresponde a requerimientos que realizan la infraestructura una vez han completado un año de funcionamiento y está directamente relacionado con los hallazgos de las inspecciones. Por lo tanto, contempla actividades de escarificación de suelo, remoción de sedimentos y reemplazo de capas.

7.6.1.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Su principal objetivo es rehabilitar la infraestructura, cuando esta ha sufrido daños accidentales, exceso de la capacidad del sistema, eventos extremos y eventos de vandalismo, los mantenimientos regular y ocasional en conjunto, pretender minimizar la frecuenta de actividades de reparación ya que con este se pretender mantener la estructura en buen estado.

Se destacan algunas actividades como reparación estructuras de control de erosión y rehabilitación después de un evento de contaminación.

7.6.2 PLAN DE MANTENIMIENTO

Para mantener un funcionamiento adecuado de la infraestructura y cada uno de los componentes del sistema, se debe planificar, describir y elaborar las actividades de inspección, monitoreo y mantenimiento.

Como primera medida, se debe desarrollar una descripción detallada del sistema, presentar un esquema del sitio, apoyado en caracterización de componentes, materiales y estructuras conexas, así como de la periodicidad ideal para llevar a cabo inspecciones de acuerdo a las características de las alternativas de mejoramiento (Universidad de los Andes, 2017).

Como segunda medida, la descripción de las actividades de mantenimiento, inspección y monitoreo por tipología (Universidad de los Andes, 2017), acompañado de la elaboración de formatos de inspección en campo, presentación de hallazgos e informe de situación actual.

Y por último, un plan de trabajo que establezca tiempos de trabajo, equipos y herramientas de trabajo, al igual que periodicidad de las actividades predispuestas.

7.6.3 ACTIVIDADES GENERALES

Los lineamientos para el mantenimiento de canales de drenaje de aguas lluvias a nivel nacional, permite agrupar y describir algunas de las actividades adelantadas por diferentes prestadores del servicio. Se tomará como referencia las prácticas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

7.6.4 ACTIVIDADES DE RETIRO DE RESIDUOS

Su alcance se define sobre los cuerpos de agua y tramos de estos, y su objetivo principal es garantizar la circulación de agua sin obstrucciones, evitando así eventos de inundación. Mientras que los recursos en términos de equipos y personal obedecen a las necesidades partículas del área a intervenir.

En términos generales, se realiza la extracción, acopio y secado de residuos sólidos suspendidos o sedimentado, ya sean depositados por particulares, transportados durante eventos de crecientes súbitas o por el proceso de escorrentía superficial. Su extracción se realiza de forma manual o mecánica, para este último se implementan cargadores, minicargadores, paladraga, plumas, anfibia, retroexcavadoras de llantas, oruga, o volquetas livianas (Alcaldía de Bogotá, 2007).

Como medida de manejo de residuos, las zonas de maniobra de maquinarias y disposición temporal de estos residuos, sufre transformaciones con el fin de evitar procesos de contaminación, por lo que se realiza una adaptación que posteriormente permita la reutilización del material recolectado y la rehabilitación del sitio.

Esta actividad comprende actividades conexas como el despaste de losas y taludes, y el deshierbe de bermas, losas y taludes.

La primera actividad consiste en la remoción de pasto desde la raíz sobre estructuras hidráulicas como lloraderos, cabezales, puentes, al igual que taludes y juntas de dilatación longitudinales y transversales.

Mientras que el deshierbe, se enmarca en la remoción de material vegetal sobrante por medio de azadones o picas.

7.6.5 ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Su área de acción comprende los canales y una zona buffer de aproximadamente 1,5 metros. Sus dos principales componentes son el corte de césped, seguido por el plateo y repique de árboles.

Frente al corte de césped, se recomienda que el rango de altura varíe entre los 3 y 10 centímetros, y el acopio de este no puede superar las 24 horas (Alcaldía de Bogotá, 2007).

Con relación al plateo, su propósito es retirar y/o remover plantas invasoras y elementos extraños en un diámetro de 1 metro a partir del tronco.

7.6.6 MANEJO DE ECOSISTEMAS A INTERVENIR

El posicionamiento de estructuras hidráulicas sobre la estructura ecológica de la zona urbana, el prestador del servicio debe incentivar la recuperación del ciclo hidrológico, ampliar la permeabilidad del territorio y la armonización de los espacios.

De manera que la intervención sobre el territorio debe traer a colación aspectos y manejo de flora caracterizada en sitio, con especial énfasis en especies amenazas o en riesgo de caída. Así como también el manejo de retamos o plantas invasoras (Alcaldía de Bogotá, 2007).

7.6.7 MANEJO DE RESIDUOS

El manejo de residuos parte de la tipología de este. De modo que se tienen: Residuos de construcción y demolición (RCD); Sedimentos y material de arrastre; Residuos vegetales; Residuos especiales.

Con respecto a los RCD, las etapas de cargue, transporte, aprovechamiento y/o disposición final se deben realizar bajo el marco de la Resolución 541 de 1994, Resolución 01115 de 2012 y la Resolución 932 de 2015, donde se disponen las obligaciones de los poseedores.

En relación con los sedimentos y material de arrastre, su manejo se conforma de tres etapas: retiro, acopio y secado. Durante el retiro se deben tener en cuenta la normatividad relacionada emisiones por motores empleados, derrames, y posibles eventos de contaminación (Alcaldía de Bogotá, 2007).

Sobre el acopio, se utiliza la técnica de drenado del agua superficial, aplicación de Cal al 2,5% para reducir potencial contaminante y estabilización biológica del residuo.

8 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Con base en el diagnóstico y comportamiento de los vallados, especialmente en los problemas de capacidad hidráulica que se tienen para eventos de periodo de retorno de 25 años, se planteó un análisis de alternativas acorde a la resolución 330 de 2017, aplicando los criterios de tipo técnico, ambiental, económico y social, tomando como referencia tres (3) alternativas de evaluación.

A continuación, se presenta el cuadro comparativo de cada alternativa:

	Alternativa 1	**Alternativa 2**
Descripción general	implementar un sistema de alcantarillado pluvial,	mantener y dar funcionalidad a los vallados existentes en cada tramo
Criterio basado en el mantenimiento y limpieza	de acuerdo con las condiciones sociales en las cuales las poblaciones generalmente arrojan basuras al sistema, presentaría una condición menos favorable en relación con su mantenimiento	La alternativa 2, al ser vistos en términos del tamaño de la sección transversal, es mas sencillo su mantenimiento y limpieza
Criterio ambiental basada en la intervención en el corto plazo	En esta alternativa es posible que no se requiera intervenir dichos elementos existentes para cambiar o reparar los mismos.	Para la alternativa 2 en el mediano plazo, es posible se tenga que realizar nuevamente obras o reconformación.
Costos	Resulta más costosa en comparación con la alternativa 2	Alternativa con un valor favorablemente mas bajo.

La Alternativa 1 busca en algunos tramos del sistema de vallados implementar un sistema de alcantarillado pluvial, especialmente en aquellos tramos que han sido altamente intervenidos, de forma que no queda en cada vía espacio para poder reestablecer la función hidráulica del canal. Para este caso, se complementa el drenaje con una tubería paralela al trazado de la vía, actuando como un sistema de alcantarillado pluvial, el cual tendría la

capacidad de transportar el caudal que se genera en las áreas aledañas a la vía, para un periodo de retorno de 3 a 5 años. De esta forma se busca mantener y dar continuidad a los vallados.

La Alternativa 2 considera pertinente por razones de tipo técnico, económico, operativo, social y ambiental, el mantener y dar funcionalidad a los vallados existentes en cada tramo, planteando un canal que sea capaz de transportar los volúmenes de agua procedentes de las áreas de drenaje o cuencas. Bajo esta condición, la alternativa propone que la infraestructura existente de cada vallado se emplee para el transporte de los caudales de aguas lluvias, o simplemente que la misma sea rehabilitada.

Como resultado, los costos de inversión inicial serían mayores en la Alternativa 1 respecto a la alternativa 2, por lo cual se plantea también una alternativa 3 que considera mantener los vallados en los tramos donde se puede restablecer sus funciones hidráulicas, complementado con un sistema de alcantarillado, en aquellos tramos que resulte imposible por condiciones de espacio, reconformar el vallado.

En el proceso de selección de alternativas, la calificación arrojó como ganadora por poca diferencia a la Alternativa 2, pero se tiene cierta cercanía en los puntajes con la Alternativa 3, la cual es la más acertada, en aquellos casos donde no se cuente con espacio para reconformar el vallado.

De lo anterior, la alternativa más viable desde el punto de vista técnico y económico para dar solución a las necesidades planteadas en los sectores, corresponderá a la reconformación del vallado, planteada en la alternativa 2. Sin embargo, dadas algunas condiciones particulares, se deberá plantear el sistema propuesto en la alternativa 3, que corresponde a un sistema híbrido entre vallado y alcantarillado pluvial.

9 BIBLIOGRAFIA

Basto Salazar, C., I., (1983). "Estudio Analítico del Potencial Erosivo de la Lluvia", Facultad de Ingeniería, Universidad Santo Tomás, Bogotá.

Chow, V., T., Mays, L., W., Maidment, D., R., (1994). "Hidrología Aplicada", McGraw-Hill, Santafé de Bogotá.

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

U. S. Army Corps Engineers, (2000). "Hydrologic Modeling System HEC-HMS" Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Massachuusetts.

Vargas, R., M. Díaz-Granados, (1998). "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia," XIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Cali.

Correa, L. C., (1997). "Convalidación del método para obtener curvas Intensidad – Duración – Frecuencia a partir de las lluvias máximas en 24 horas para la zona norte de Colombia", Tesis de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.