ANEXO 3: ESTUDIO HIDROLOGICO

CONTRATO PS-GCT.2.7.25-1371: "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION Y ADECUACION DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO"

CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 2025
CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ÁREA DEL MANEJO ESPECIAL LA MACARENA (CORMACARENA)

COORPORACION AMBIENTAL CORMACARENA

CONSULTORÍA PARA "ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO"

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. PS-GCT 2.725-1371

CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 2025
NIT. 901.940.414-0

FASE I

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS

"ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO"

DEPARTAMENTO DEL META
MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO
OCTUBRE DE 2025

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JULIAN ANDRES DIAZ AGUIRRE** identificado con cédula de ciudadanía **No.1.014.275.386**, en mi calidad de **INGENIERO CIVIL** con matrícula profesional **No 25202- 402061 CND**, CERTIFICO, en calidad de **ESPECIALISTA HIDRÁULICO** de **CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 2025** el producto: DIAGNOSTICO ÁNALISIS DE INFORMACIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS "ESTUDO HIDROLÓGICO"., de conformidad con lo establecido en el contrato PS-GCT 2.725-1371.

Declaro que el producto **ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO**, se elaboró de acuerdo con las normas colombianas vigentes.

Atentamente,

Julián Andrés Diaz Aguirre
Ing. Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería
Esp. Ingeniería hidráulica y ambiental. U Nacional
Msc. Ingeniería civil con énfasis en recursos hidráulicos. U nacional.
M.P. 25202-402061CND.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

REPÚBLICA DE COLOMBIA

COPNIA

Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Matrícula Profesional No.

25202-402061 CND

Fecha de Expedición: **04/10/2018**

Nombre:
JULIAN ANDRES
DIAZ AGUIRRE

Identificación:
C.C. 1014275386

Profesión:
INGENIERO CIVIL

Institución:
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO



Este es un documento público expedido en virtud de la Ley 842 de 2003, que autoriza al titular a ejercer como Ingeniero en el Territorio Nacional.

DIRECTOR GENERAL

En caso de extravío debe ser remitida al COPNIA. Calle 78 No. 9-57 primer piso
Línea Nacional: 01 8000 116590

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2025-4161815

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que JULIAN ANDRES DIAZ AGUIRRE, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1014275386, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 25202-402061 desde el 04 de Octubre de 2018, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1407.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintinueve (29) días del mes de Diciembre del año dos mil veinticinco (2025).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.

Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

CUADRO DE RESPONSABILIDADES

OBJETO CONTRACTUAL:	**ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO**	
CONTRATANTE	CORPORACIÓN AMBIENTAL CORMACARENA	
CONTRATO:	CONTRATO DE CONSULTORÍA No. PS-GCT 2.725-1371	
TITULO DE DOCUMENTO	ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO	
NÚMERO DE REVISIÓN	0	
Elaboración	Nombre	Ing. JULIAN ANDRES DIAZ AGUIRRE
	Matricula Profesional	25202-402061 CND
	Cargo	ESPECIALISTA HIDRÁULICO CONSULTORÍA
	Firma	
Vo.Bo. Consultoría	Nombre	Ing. JORGE ADELMO DIAZ SARMIENTO
	Matricula Profesional	25202-68120 CND
	Cargo	DIRECTOR DE CONSULTORÍA
	Firma	
Vo.Bo. Consultoría	Nombre	Ing. GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO
	Matricula Profesional	25202-198662 CND
	Cargo	REPRESENTANTE LEGAL DEL CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA SUR 2025
	Firma	

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 7
2. OBJETIVOS 9
2.1. OBJETIVO GENERAL 9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9
3. ALCANCE Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA 10
4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 11
5. CARACTERIZACIÓN 13
5.1. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA 13
5.1.1. Delimitación Cuenca Hidrográfica 13
5.1.2. Área de la Cuenca 15
5.1.3. Perímetro de la Cuenca 15
5.1.4. Centroide de la Cuenca 15
5.1.5. Forma de la Cuenca 15
5.2. PARÁMETROS RELIEVE 18
5.2.1. Pendiente de la Cuenca 18
5.2.2. Curva Hipsométrica 20
5.2.3. Tiempo de Concentración 21
5.2.4. Tipos de Suelo 21
5.3. RESUMEN 22
6. ANÁLISIS HIDROLÓGICO 23
6.1. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA 23
6.1.1. Precipitación Media Total Mensual a Nivel Multianual 24
6.1.2. Precipitación Media Máxima en 24 H a Nivel Mensual Multianual 25
6.1.3. Precipitación Histórica Anual 26
7. CAUDALES DE DISEÑO 31
7.1. AJUSTES FUNCIÓN DE PROBABILIDAD 31
7.2. CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA 32
7.3. CAUDALES 33
8. CONCLUSIONES 35
9. BIBLIOGRAFÍA 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1. Centroide cuenca. 15
Tabla 5-2. Clasificación de cuencas de acuerdo a su Kc. 16
Tabla 5-3. Clasificación de cuencas de acuerdo a su Kf. 16
Tabla 5-4. Clasificación de cuencas de acuerdo a su Ia. 17
Tabla 5-5. Clasificación de cuencas de acuerdo a su pendiente media. 19
Tabla 5-6. Curva hipsométrica. 20
Tabla 5-7. Tiempo de concentración. 21
Tabla 5-8. Tipos de suelo cuenca. 22
Tabla 5-9. Cuadro resumen. 22
Tabla 6-1. Características estación pluviométrica. 24
Tabla 6-2. Precipitación media total mensual a nivel multianual. 24
Tabla 6-3. Precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual. 25
Tabla 6-4. Precipitaciones históricas. 26
Tabla 7-1. Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas. 32
Tabla 7-2. Caudales de creciente. 34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. Localización general. 11
Figura 4-2. Localización coordenadas de estudio. 11
Figura 4-3. Topología según levantamiento topográfico. 12
Figura 5-1. Visualización cuenca hidrográfica. 14
Figura 5-2. Cuenca hidrográfica 3D. 14
Figura 5-3. Longitud axial y centroide. 17
Figura 5-4. Modelo digital de elevación. 18
Figura 5-5. Mapa de pendientes. 19
Figura 5-6. Mapa de suelos. 21
Figura 6-1. Localización estación pluviométrica. 23
Figura 7-1. Ajuste precipitaciones máximas. 31

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 5-1 Curva hipsométrica. 20
Gráfica 6-1 Histograma de precipitación media mensual a nivel mensual multianual. 25
Gráfica 6-2 Histograma de precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual. 26
Gráfica 6-3 Histograma de precipitación histórica anual. 28
Gráfica 6-4 Histograma de precipitación histórica máxima en 24 horas anual. 29
Gráfica 6-5 Histograma de precipitación histórica total mensual. 30
Gráfica 7-1 Ajuste precipitaciones máximas. 32
Gráfica 7-2 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia. 33

1.INTRODUCCIÓN

La corporación ambiental para el desarrollo sostenible del área especial la macarena CORMACARENA, en desarrollo de sus funciones como máxima autoridad ambiental del departamento de meta, propende gestionar, proteger los recursos naturales renovables dentro del concepto de desarrollo sostenible. En ese sentido, la corporación ambiental cormacarena, dentro de un diagnóstico a la problemática de contaminación y baja disponibilidad del recurso hídrico, ha determinado que una de las dinámicas negativas que afectan es la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales de origen domestico sin tratamiento previo. Así las cosas, cormacarena en búsqueda de atender la problemática de contaminación del interceptor Ocoa sur tramo 1, decide invertir recursos en los proyectos de descontaminación de fuentes hídricas, específicamente lo que concierne a objeto del presente contrato.

Teniendo en cuenta lo anterior, consciente de las necesidades insatisfechas en las comunidades aferentes a su competencia y en su esfuerzo por implementar y ofrecer condiciones aptas de agua potable y saneamiento básico ambiental a las comunidades, La corporación ambiental "Cormacarena" ha optado por celebrar el CONTRATO DE CONSULTORÍA No. **PS-GCT 2.725-1371**, cuyo objeto es "**ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO** ", el cual fue adjudicado por medio de concurso de méritos No CMA-010-2025; al **CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA SUR 2025** con NIT 901.990.414-0, representada legalmente por **GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO**, identificado con cedula de ciudadanía No 1.121.837552 expedida en Villavicencio. esta decisión estuvo soportada en las condiciones técnico económicas presentadas, cuyos lineamientos fueron los idóneamente solicitadas por el ente encargado para encomendar tales fines. A continuación, se enumeran las actividades para cumplir el alcance técnico específicamente para la "**ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO**"; así:

FASE I: DIAGNOSTICO, ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS RECOLECCION Y ANALISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE.

1. Recolección y análisis de la información existente.
2. Diagnostico infraestructura existente.
3. Estudios topográficos.
4. Estudios geológico y geotécnico.

5. Estudios hidráulico e hidrológico.
6. Análisis predial.
7. Análisis de amenazas vulnerabilidad y riesgos.
8. Criterios de diseños, análisis y selección de alternativas.

FASE II: INGENIERÍA DE DETALLE

9. Informe de puntos críticos.
10. Diseño hidráulico.
11. Diseño estructural.
12. Otros aspectos de ingeniería – obras complementarias.
13. Plan de manejo ambiental.
14. Formulación de documentos técnicos finales.
    a. Presupuesto.
    b. APU.
    c. Memorias de cálculo.
    d. Planos de localización de detalle y constructivos.
    e. Especificaciones técnicas.
    f. Programación.
    g. Diagrama de flujo.

El siguiente documento presenta el ítem. 5. Estudios hidráulico e hidrológico.

2.OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

→ Realizar estudio hidrológico e hidráulico en la zona del interceptor Ocoa Sur tramo 1 municipio de Villavicencio departamento del meta.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

→ Efectuar la caracterización geomorfológica de la zona de estudio.
→ Evaluar los diferentes factores pluviométricos que influyen en la zona de estudio, con base en los registros históricos plasmados en la información proporcionada por el Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
→ Efectuar el cálculo de los caudales que se puedan presentar sobre la zona de estudio, haciendo uso de modelo lluvia – escorrentía.

3.ALCANCE Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA

El documento se encuentra compuesto por los siguientes apartados principales, en los que se realizan los análisis correspondientes para dar con el objetivo final del estudio.

- → Localización de la zona de estudio.
- → Caracterización geomorfológica de la zona de estudio.
- → Análisis estadístico de los diferentes factores hidrológicos que influyen en la zona de estudio, con base en los registros históricos del IDEAM.
- → Cálculo de los caudales de creciente haciendo uso del método racional.

Para realizar el presente estudio, la información fue recopilada por medio de las entidades encargadas de administrar la documentación; como lo son el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de los cuales se obtuvo toda la información cartográfica y climatológica asociada a la zona del proyecto. Se descargó información satelital correspondiente al modelo digital de elevación (DEM) de la zona de estudio y de sus alrededores para poder realizar el respectivo análisis morfométrico en el software ArcGIS. Con fines comparativos se emplearon con éxito las herramientas de Google Earth, para así poder obtener una identificación más precisa de la cuenca hidrográfica en el punto de estudio. Adicional a esto, se hizo uso del Manual de Drenaje Para Carreteras a cargo del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para poder obtener parámetros de diseño y servir como guía en los análisis realizados.

4.LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra localizado en capital del departamento del Meta, en la zona sur del municipio de Villavicencio. De acuerdo con los estudios previos referentes del contrato en desarrollo, la ubicación del tramo de evaluación se localiza entre los siguientes puntos:

→ 73°39'30.11" O – 4°5'37.20" N.
→ 73°39'26.81" O – 4°5'41.48" N.

Figura 4-1. Localización general.



Fuente: Elaboración Propia – Tomado de Google Earth Pro.

Figura 4-2. Localización coordenadas de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta las coordenadas de localización de los puntos "Inicio" y "Final" expuestos en los estudios previos, se desarrolló el levantamiento topográfico en la zona de estudio y se realizó una implantación entre las coordenadas teóricas y las obtenidas en campo.

Figura 4-3. Topología según levantamiento topográfico.



Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la información recolectada se desarrolló el diagnostico de los componentes del sistema en la zona de evaluación

5.CARACTERIZACIÓN

Se puede definir una cuenca hidrográfica, como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente se descarga a través de una salida simple. En este capítulo se presentan los aspectos básicos que deben abordarse cuando se realiza la caracterización de una cuenca hidrográfica o de un área específica dentro de una cuenca. Una correcta descripción de una cuenca hidrográfica debe incluir, al menos, datos relativos a la clasificación de los cursos del agua, el área de la cuenca junto con su perímetro, la forma de esta misma, el índice de Gravelius, el factor de forma, y si el proyecto lo considera necesario la pendiente de la hoya, la elevación media de esta misma y su curva hipsométrica. La morfología de una cuenca será definida por grupos de parámetros, que sirven como referencia para la clasificación de la misma, en este caso serán tenidos en cuenta los siguientes:

→ Parámetros de forma.
→ Parámetros de relieve.

Estos parámetros son utilizados para identificar características de la cuenca y relacionarlas con otras cuencas que presentan valores parecidos, de manera que se pueda realizar una clasificación morfo métrica que agrupe varias cuencas con características similares. Para lo anterior lo primero que se debe definir es la divisoria de aguas. Entiéndase divisoria de agua como una línea imaginaria que separa las precipitaciones que caen en cuencas inmediatamente vecinas, estas se encargan de unir los puntos de máxima cota entre hoyas. Se presenta a continuación la descripción y el procedimiento para el cálculo de cada uno de los parámetros agrupados de acuerdo a lo anterior.

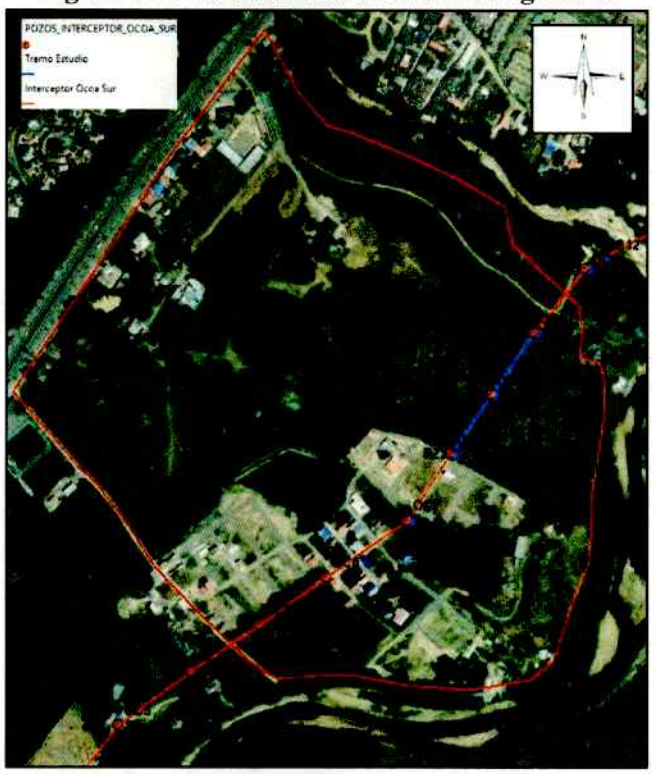
5.1. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA

5.1.1. Delimitación Cuenca Hidrográfica

Se procedió a identificar la red de drenaje afluente al punto de estudio; La línea divisoria de la cuenca fue trazada con base en los puntos altos definidos de la zona y en las corrientes superficiales adyacentes delimitando el espacio ocupado por estas mismas en la zona de estudio. Para realizar esta delimitación se hizo uso de la información cartográfica abierta al público por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en conjunto con la información satelital del modelo digital de elevaciones del satélite LAND VIEWER con resoluciones de 4.77x4.77 y la visualización grafica de las herramientas de Google Earth Pro.

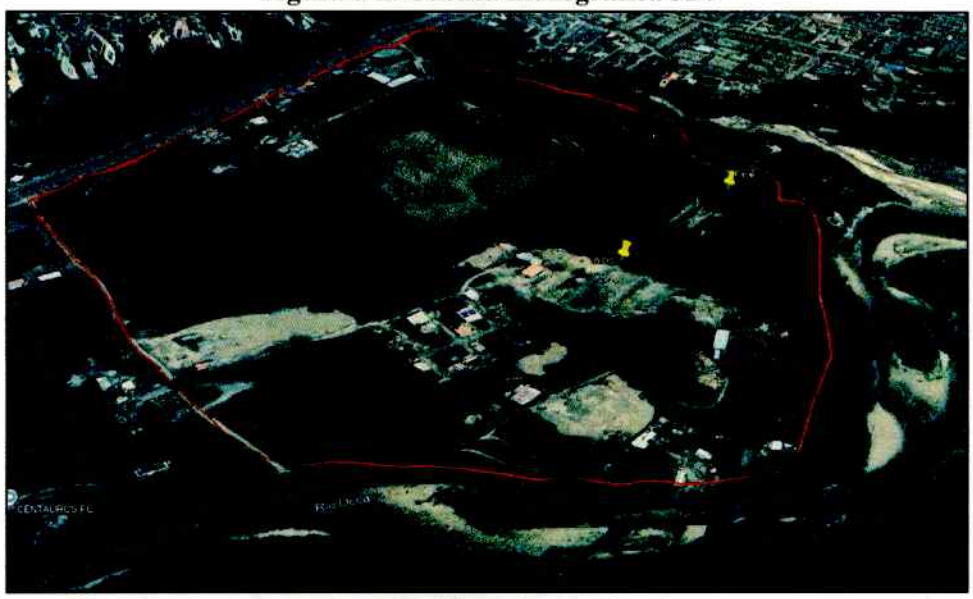
CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Figura 5-1. Visualización cuenca hidrográfica.



Fuente: Elaboración Propia, EAAV.

Figura 5-2. Cuenca hidrográfica 3D.



Fuente: Elaboración Propia.

5.1.2. Área de la Cuenca

Es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. De acuerdo con la delimitación mostrada, se obtuvo un área de:

→ **A –** 0.36 km^2 (Microcuenca).

5.1.3. Perímetro de la Cuenca

Se puede definir como la medida sobre un plano horizontal de la divisoria de aguas de la cuenca, es decir, la medición de la línea envolvente de cada una de las áreas de drenaje dentro de la cuenca. Informa sucintamente sobre su forma; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas:

→ **P –** 2.34 km.

5.1.4. Centroide de la Cuenca

Tabla 5-1. Centroide cuenca.

X	Y
1046392.41834	944498.35444

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.5. Forma de la Cuenca

La forma de la hoya, relaciona y caracteriza el tiempo de concentración, entendiendo tiempo de concentración, como el tiempo necesario para que una gota recorra desde el extremo más alejado de la cuenca hasta el punto de control evaluado. La forma difícilmente se puede expresar por medio de un índice numérico, sin embargo, se han propuesto varios coeficientes que indican la organización del drenaje dentro de la cuenca y otros factores que afectan la hidrología de la corriente, por lo tanto, se procedió a encontrar dos de los coeficientes más usados comúnmente: El índice de Gravelius o coeficiente de compacidad y el factor de forma, así:

5.1.5.1. Índice de Gravelius

Es la relación existente entre el perímetro de la hoya hidrográfica y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la hoya.

→ **Kc** – 1.10.

Este coeficiente está relacionado con el tiempo de concentración, a medida que el coeficiente tiende a 1.0, es decir, cuando la cuenca tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad de la cuenca a las crecidas, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presentan diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, aumenta la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas. De acuerdo con los coeficientes encontrados se puede clasificar la forma de la cuenca así:

Tabla 5-2. Clasificación de cuencas de acuerdo a su Kc.

Valores de Kc	Forma
1-1.25	Redonda a oval redonda
1.25-1.5	De oval redonda a oval oblonga
>1.5	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración Propia.

Con el coeficiente obtenido de **1.10** se puede clasificar la cuenca como Redonda – Oval Redonda; Este tipo de cuencas tienen un grado alto de susceptibilidad a la torrencialidad y es probable que generen crecientes instantáneas, debido a los fenómenos de la precipitación continua.

5.1.5.2. Factor de Forma

Es la relación existente entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca hidrográfica; Intenta medir que tan alargada puede ser una cuenca, si es menor a la unidad, tendrá más baja susceptibilidad a generar avenidas en comparación a si es mayor, si se entra a comparar dos cuencas con igual área, la que tenga factor de forma más bajo, se encontrara menos propensa a crecientes.

→ **Ancho medio** – 0.42 km.
→ **Laxial** – 0.85 km.
→ **Kf** – 0.49.

Tabla 5-3. Clasificación de cuencas de acuerdo a su Kf.

Valores de Kf	Característica
<1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
>1	Tiende a ser achatada, tendencia a la ocurrencia de avenidas

Fuente: Elaboración Propia.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

El factor obtenido indica que la cuenca es poco propensa a presentar crecidas instantáneas cuando se presenten eventos de fuertes precipitaciones a menos de que sean de manera continua.

5.1.5.3. Índice de Alargamiento

El índice de alargamiento es la relación entre la longitud axial de la cuenca y el ancho máximo de esta misma. Con él se puede definir si la cuenca estudiada es alargada o achatada de la siguiente manera:

→ **Laxial** – 0.85 km.
→ **Amax** – 0.62 km.
→ **Ia** – 1.39.

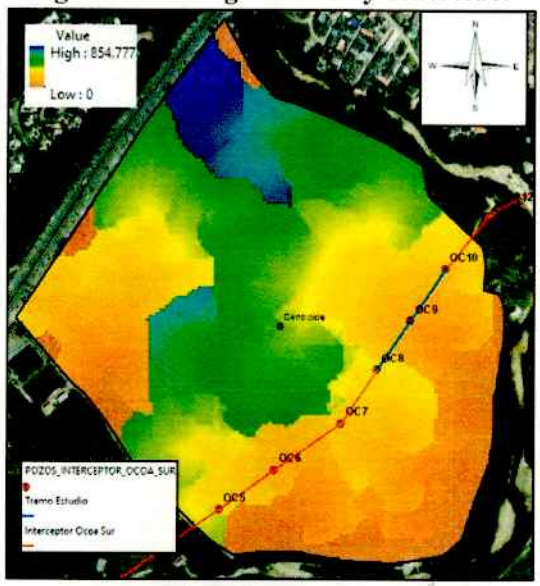
Tabla 5-4. Clasificación de cuencas de acuerdo a su Ia.

Valores de Ia	Característica
<1	Cuenca achatada
>1	Cuenca alargada

Fuente: Elaboración Propia.

El índice obtenido hace alusión a una cuenca alargada, con un sistema de drenaje con capacidad baja de absorber las precipitaciones que se produzcan en la zona con el fin de evitar así la generación de crecientes súbitas.

Figura 5-3. Longitud axial y centroide.

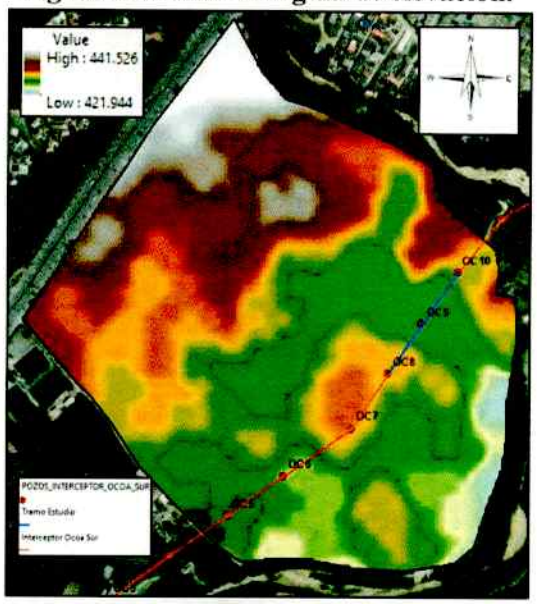


Fuente: Elaboración Propia – ArcGIS.

5.2. PARÁMETROS RELIEVE

Son tal vez los parámetros de mayor importancia para la caracterización, dado que el relieve de una cuenca influye en mayor medida en la respuesta hidrológica con respecto a la forma de esta misma; De manera general se puede afirmar que a mayor relieve la producción de escorrentía superficial se lleva a cabo en menores duraciones de tiempo. Los parámetros fueron obtenidos a partir del modelo digital de elevación obtenido de la zona.

Figura 5-4. Modelo digital de elevación.



Fuente: Elaboración Propia – ArcGIS.

5.2.1. Pendiente de la Cuenca

La pendiente de la cuenca se puede definir como la variación de la inclinación de está; Controla en buena parte la velocidad de la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales. Su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o socavación), ya que, en zonas con altas pendientes, son más frecuentes los problemas de erosión, por el contrario, en regiones planas los problemas son principalmente relacionados al drenaje y la sedimentación. De acuerdo con el valor de su pendiente las cuencas se pueden clasificar de la siguiente manera:

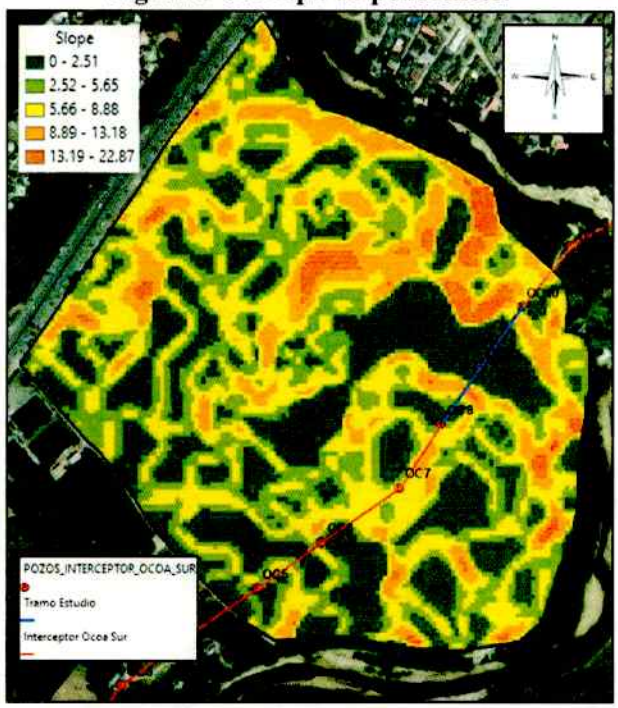
Tabla 5-5. Clasificación de cuencas de acuerdo a su pendiente media.

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-2	Plano
2-5	Suave
5-10	Medianamente accidentado
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo el siguiente mapa de pendientes para la cuenca:

Figura 5-5. Mapa de pendientes.



Fuente: Elaboración Propia – ArcGIS.

→ **Smedia –** 5.1 %.

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que el terreno de la cuenca se asemeja a una inclinación Suave, lo que da indicios de que las velocidades en la zona pueden llegar a ser bajas y que la cuenca cuenta con un grado bajo de respuesta a las precipitaciones; Se evidencia que las altas pendientes se presentan dos zonas de la cuenca, donde existe un cambio "brusco" en la inclinación del terreno, asemejándose más a un terreno típico montañoso. Este resultado fue tenido en cuenta a la hora de analizar las condiciones hidrológicas de la zona.

5.2.2. Curva Hipsométrica

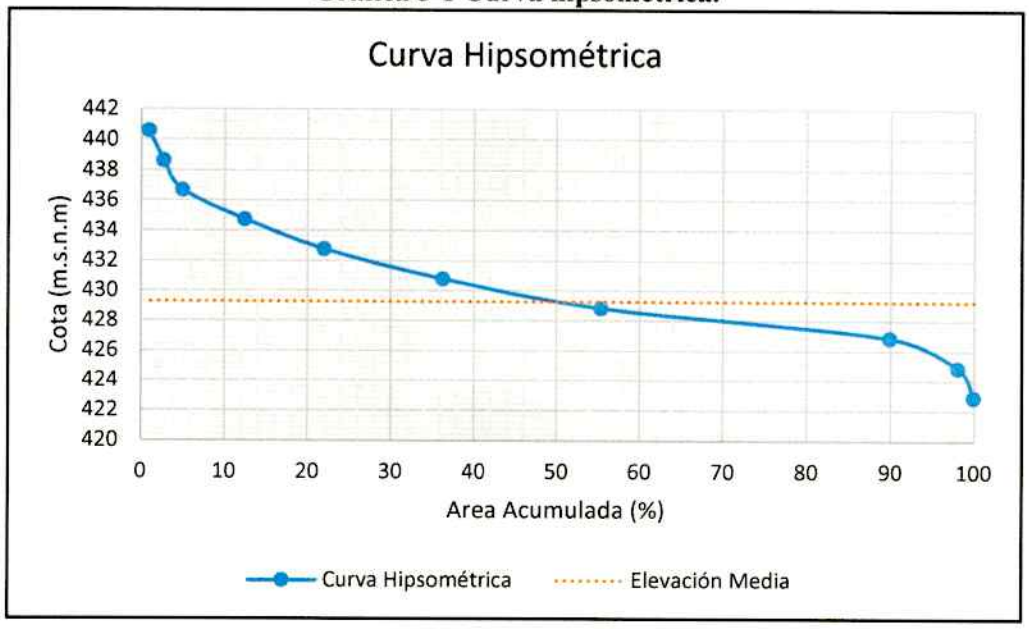
Se puede definir como la representación gráfica del relieve de la cuenca. Representa el estudio de la variación de los varios terrenos de la hoya con respecto al nivel medio del nivel del mar. Los resultados indican que se trata de una cuenca conformada con una elevación media de **429.24 msnm**.

Tabla 5-6. Curva hipsométrica.

N	Cota (msnm)			Área (km²)		Porcentajes (%)		
	Min	Max	Promedio	Área	Acumulada	%	%Acumulado	Cota*Área
1	421.94	423.90	422.92	0.007	0.36	1.93	100.00	2.98
2	423.90	425.86	424.88	0.030	0.36	8.15	98.07	12.64
3	425.86	427.82	426.84	0.126	0.33	34.58	89.92	53.84
4	427.82	429.78	428.80	0.070	0.20	19.08	55.34	29.85
5	429.78	431.74	430.76	0.052	0.13	14.31	36.26	22.48
6	431.74	433.69	432.71	0.035	0.08	9.53	21.95	15.05
7	433.69	435.65	434.67	0.027	0.05	7.46	12.42	11.84
8	435.65	437.61	436.63	0.008	0.02	2.27	4.95	3.62
9	437.61	439.57	438.59	0.006	0.01	1.76	2.68	2.82
10	439.57	441.53	440.55	0.003	0.00	0.92	0.92	1.48
TOTAL				0.36				156.60

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica 5-1 Curva hipsométrica.



Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3. Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración de una cuenca puede ser definido como el tiempo que se necesita para que la escorrentía superficial llegue al punto bajo consideración desde la parte más apartada del área de drenaje. Aunque actualmente existe una cantidad bastante alta de fórmulas y ecuaciones usadas para hallar el tiempo de concentración, se calculó el promedio entre las que se consideran las más adecuadas para el tamaño de esta cuenca, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5-7. Tiempo de concentración.

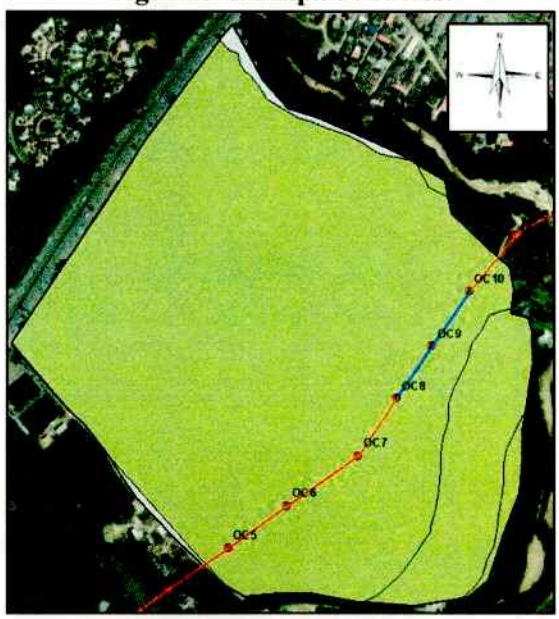
Tiempos de Concentración	Magnitud (min)	Tiempos de Concentración	Magnitud (min)
Kirpich	11.85	Williams	23.08
Temez	27.16	Ranser	12.27
Glandiotti	56.26	Ventura – HERAS	11.39
Ven Te Chow	40.59	California	11.27
Cuerpo de Ingenieros	25.35	Passini	23.81
Promedio Total		27.22	
Promedio Seleccionadas		18.27	

Fuente: Elaboración Propia.

→ Tc – 18 minutos.

5.2.4. Tipos de Suelo

Figura 5-6. Mapa de suelos.



Fuente: Elaboración Propia – ArcGIS.

Tabla 5-8. Tipos de suelo cuenca.

Tipo de Suelo	%
Pastos	100
Total	100

Fuente: Elaboración Propia.

5.3. RESUMEN

Tabla 5-9. Cuadro resumen.

Parámetro	Medida
Área (km^2)	0.36
Perímetro (km)	2.34
Coeficiente de Compacidad	1.1
Longitud Axial de la cuenca (km)	854.77
Factor de Forma	0.49
Índice de Alargamiento	1.39
Longitud del Cauce Principal (km)	715
Cota Max (m.s.n.m)	441.5
Cota Min (m.s.n.m)	421.9
Pendiente media de la cuenca (%)	5.1
Pendiente Cauce Principal (%)	3
Tiempo de concentración (min)	18

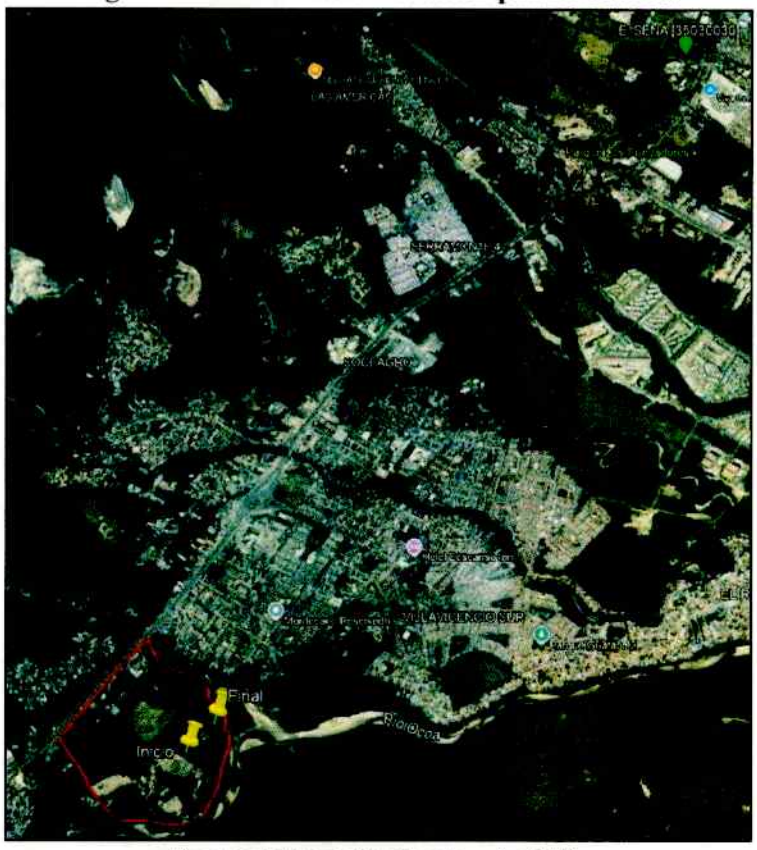
Fuente: Elaboración Propia.

6.ANÁLISIS HIDROLÓGICO

6.1. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Para realizar un estudio hidrológico, es necesaria la obtención de los registros históricos de precipitaciones anuales y precipitaciones máximas con el paso de los años en la zona de estudio, haciendo uso de los datos que se encuentran registrados en las estaciones pluviométricas a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Para obtener los caudales de crecientes de diseño, primeramente, se ubicaron las estaciones pluviométricas de la zona que bordea el proyecto y posteriormente se realizó el análisis con las que tienen influencia dentro de la cuenca de estudio y con base en el porcentaje de influencia se obtuvieron las precipitaciones de diseño.

Figura 6-1. Localización estación pluviométrica.



Fuente: Elaboración Propia – ArcGIS.

Se observa en la figura previa que las precipitaciones en el área de drenaje se ven influenciadas por la estación pluviométrica **SENA [35030030].**

Tabla 6-1. Características estación pluviométrica.

Características Estación	
Código Estación	35030030
Nombre	SENA
Tipo	Convencional
Categoría	Pluviométrica
Estado	Activa
Departamento	Meta
Municipio	Villavicencio
Latitud	4.127
Longitud	-73.64
Altitud	425
Fecha Instalación	15/01/1985
Fecha Suspensión	-

Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

Es importante conocer gráficamente el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio a través de los años; la mejor herramienta para representar dicho comportamiento es haciendo uso de histogramas, donde se relacionen las variables producidas históricamente junto con los años y los meses, para así entender la distribución que podría llegar a seguir en esta zona. Dicho esto, a continuación, se muestran los histogramas que se han creado haciendo uso de la información recolectada por medio del IDEAM.

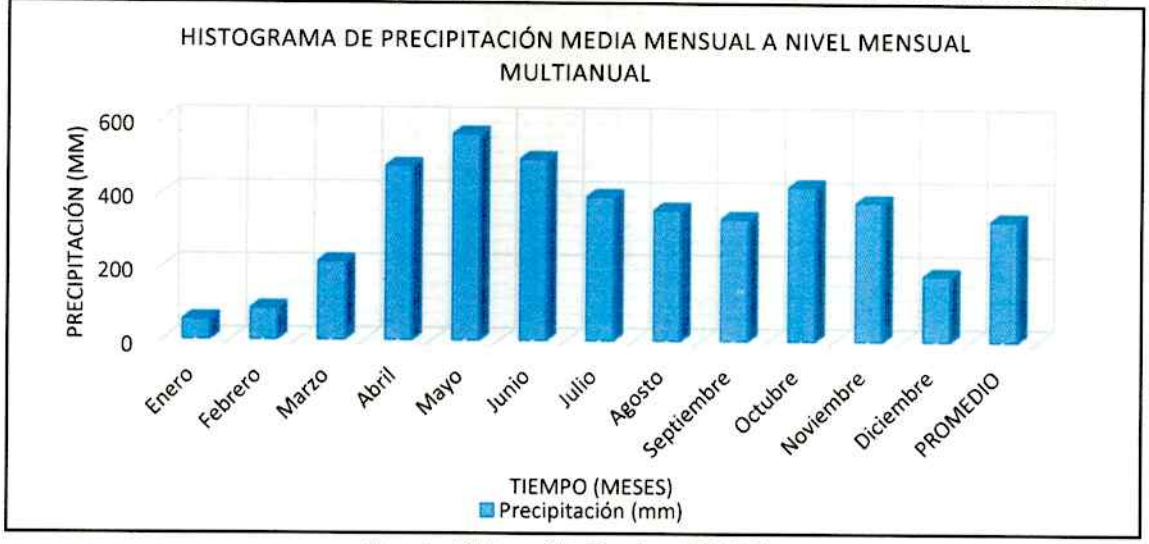
6.1.1. Precipitación Media Total Mensual a Nivel Multianual

Tabla 6-2. Precipitación media total mensual a nivel multianual.

ESTACION SENA (1985-2022)		
MES	Pmedia (mm)	Pmax (mm)
Enero	55.49	158.1 (2015)
Febrero	86.07	346.2 (2004)
Marzo	213.65	652.7 (2012)
Abril	475.35	754.6 (2016)
Mayo	562.27	893.9 (2013)
Junio	494.38	695.6 (2014)
Julio	392.47	575 (1993)
Agosto	356.66	661.9 (2016)
Septiembre	332.72	608.1 (1997)
Octubre	420.75	615.8 (1999)
Noviembre	378.46	611.1 (2016)
Diciembre	179.29	438.6 (2016)
PROMEDIO	328.96	584.3
ANUAL	3947.57	7011.6

Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

Gráfica 6-1 Histograma de precipitación media mensual a nivel mensual multianual.



Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

La gráfica anterior muestra los valores promedios de las precipitaciones totales mensuales medidas a lo largo de la historia en la Estación SENA, se puede observar entonces que en promedio el periodo en el que se presentan mayores lluvias corresponde a **abril – junio**, alcanzando un máximo de **562.27 mm** para el mes de **mayo** y el periodo con menos lluvias corresponde a **diciembre – febrero**, siendo enero el más seco con un valor de **55.49 mm**; Los registros muestran un valor máximo de **893.90 mm** medidos en el mes de **mayo** del año **2013** y en cuanto a las precipitaciones mínimas, se han registrado valores de cero lluvia para el mes de **enero** y de valores muy cercanos a cero para los meses de **febrero y diciembre**.

6.1.2. Precipitación Media Máxima en 24 H a Nivel Mensual Multianual

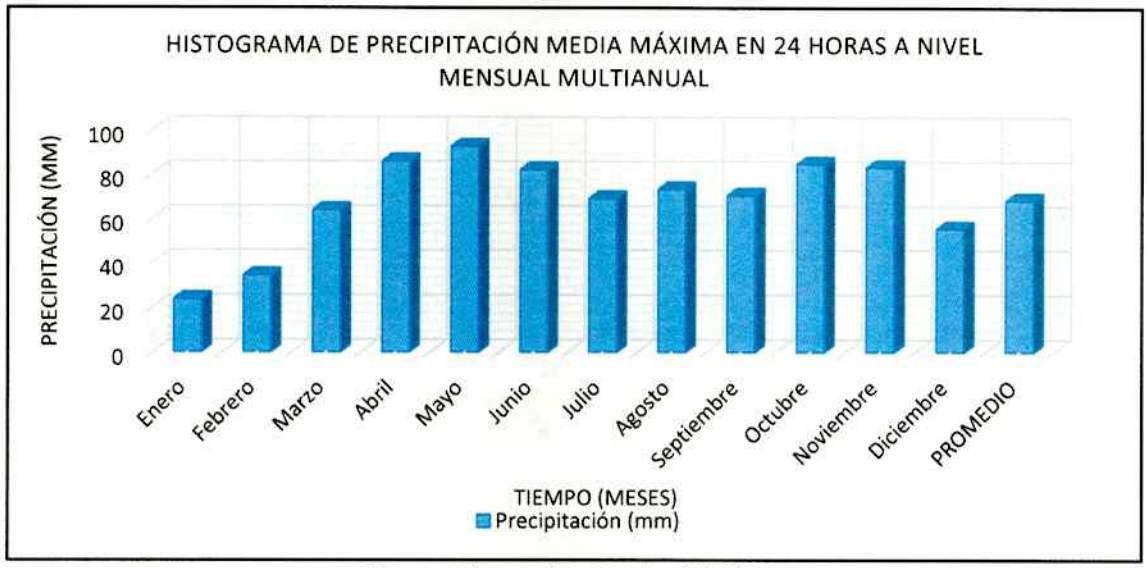
Tabla 6-3. Precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual.

PRECIPITACIÓN MEDIA MÁXIMA EN 24 H MENSUAL A NIVEL MULTIANUAL (mm)	
MES	ESTACIÓN SENA (1985-2022)
Enero	23.82
Febrero	34.46
Marzo	63.91
Abril	85.81
Mayo	92.51
Junio	82.05
Julio	69.13
Agosto	73.27
Septiembre	70.52
Octubre	84.53
Noviembre	83.05

Diciembre	55.44
PROMEDIO	68.21
MAX	92.51

Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

Gráfica 6-2 Histograma de precipitación media máxima en 24 horas a nivel mensual multianual.



Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

La gráfica anterior muestra los valores promedios de las precipitaciones máximas producidas en 24 horas medidas a lo largo de la historia, se observa que en promedio el periodo en el que se presentan las lluvias con mayor intensidad corresponde nuevamente a **abril – junio**, alcanzando un máximo de **92.51 mm** para el mes de **mayo**; Adicional a lo anterior los registros muestran un valor máximo de **219.40 mm** medidos en el mes de febrero del año **1997**. Estos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de obtener los caudales máximos que puedan llegar a afectar la estabilidad de las obras proyectadas.

6.1.3. Precipitación Histórica Anual

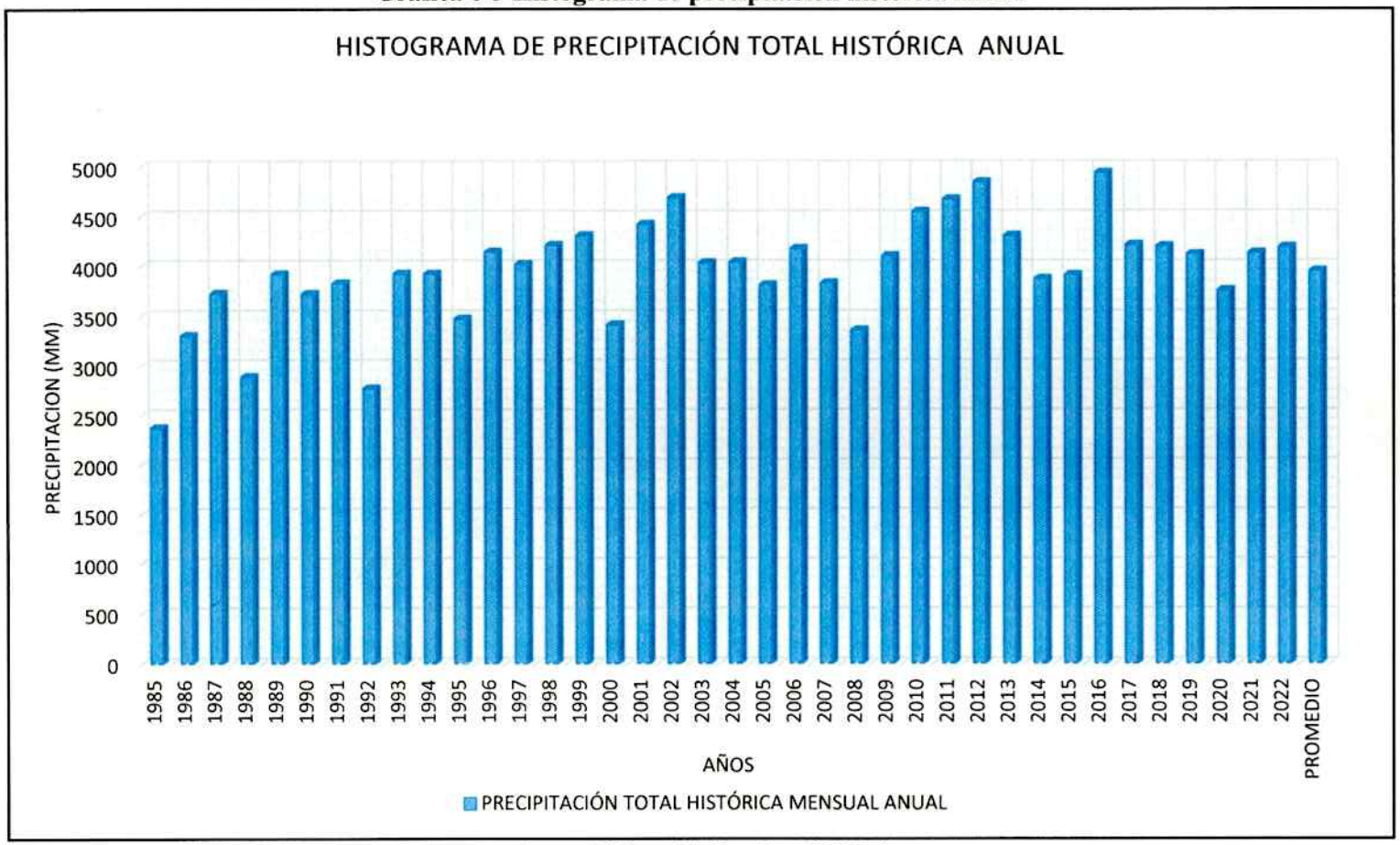
Tabla 6-4. Precipitaciones históricas.

PRECIPITACIONES TOTALES Y MÁXIMAS ANUALES		
AÑO	PTOTAL HISTORICA ANUAL	PMAX HISTORICA ANUAL
1985	2371.30	84.20
1986	3295.80	156.00
1987	3720.87	124.00
1988	2882.85	92.00
1989	3915.75	207.70

1990	3717.85	113.60
1991	3822.98	141.50
1992	2764.84	85.81
1993	3920.50	115.80
1994	3918.80	109.10
1995	3467.28	104.10
1996	4141.37	131.60
1997	4016.00	219.40
1998	4209.00	129.70
1999	4306.50	130.00
2000	3406.20	99.60
2001	4417.90	162.70
2002	4686.00	173.30
2003	4030.50	100.70
2004	4039.10	137.00
2005	3808.20	154.80
2006	4177.20	150.00
2007	3828.88	94.50
2008	3351.30	146.90
2009	4100.90	110.50
2010	4545.40	133.80
2011	4670.40	137.70
2012	4843.80	122.50
2013	4304.80	131.50
2014	3869.60	130.00
2015	3909.00	86.00
2016	4939.00	158.90
2017	4214.10	146.30
2018	4198.70	126.50
2019	4118.90	132.30
2020	3753.36	92.51
2021	4131.96	129.80
2022	4190.65	83.80
PROMEDIO	3947.57	128.58

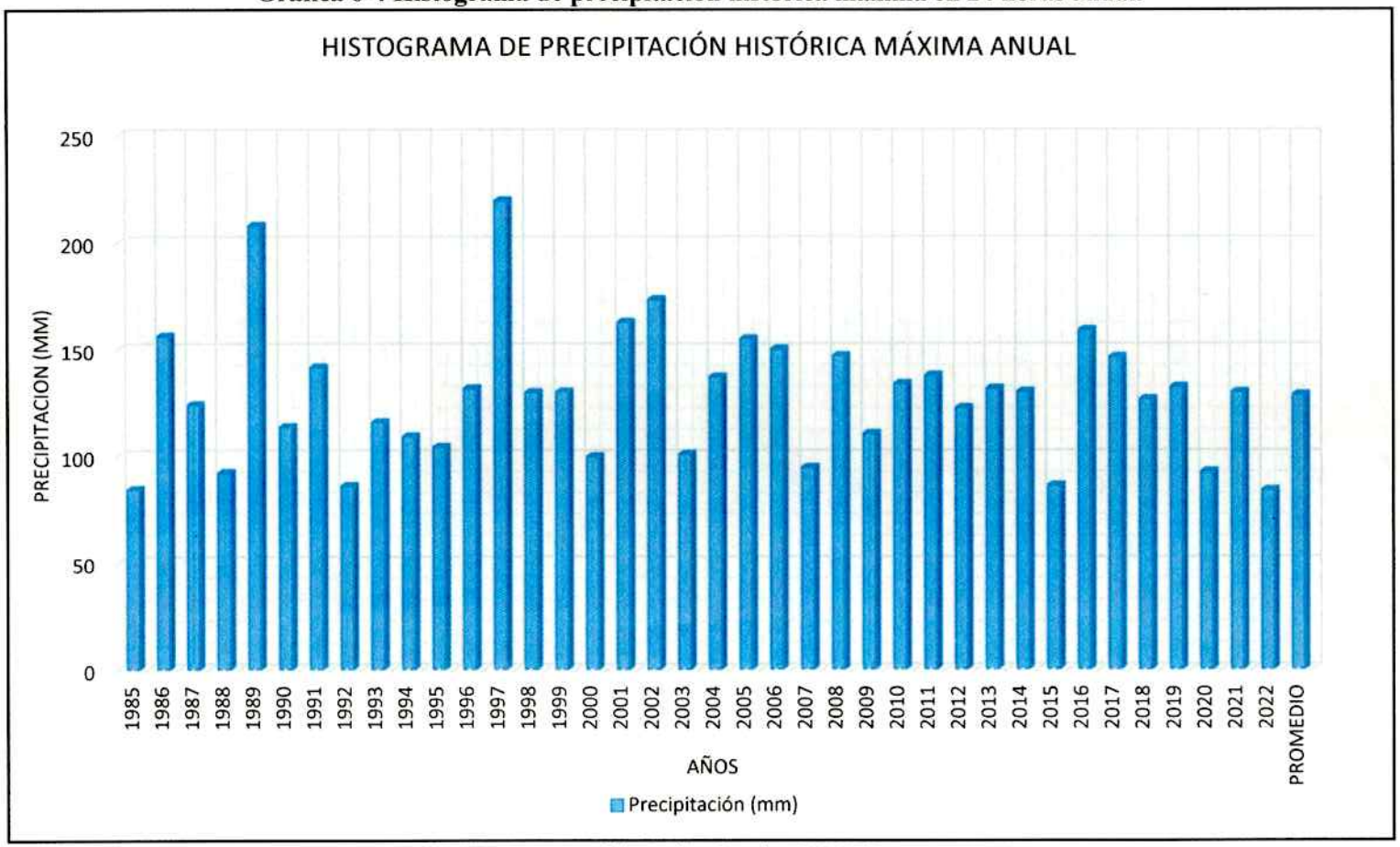
Frente a las tres gráficas siguientes se pueden hacer los siguientes comentarios al respecto: El valor promedio de la precipitación total anual generada a lo largo del rango evaluado es de **3947.57 mm** con un máximo de **4939 mm** producidos en el año **2016** y un valor mínimo de **2371.3 mm** medidos en el año **1985**, se observa un comportamiento bimodal con tendencia actual a un incremento en las lluvias; Por otro lado, el valor promedio de las precipitaciones máximas anuales en el rango evaluado ha sido de **128.58 mm** y el evento de precipitación máxima registrada en toda la historia en esta estación es de **219.40 mm** con fecha del año **1997**, dichos valores serán tenidos en cuenta para el cálculo de los caudales máximos producidos en cada zona-

Gráfica 6-3 Histograma de precipitación histórica anual.



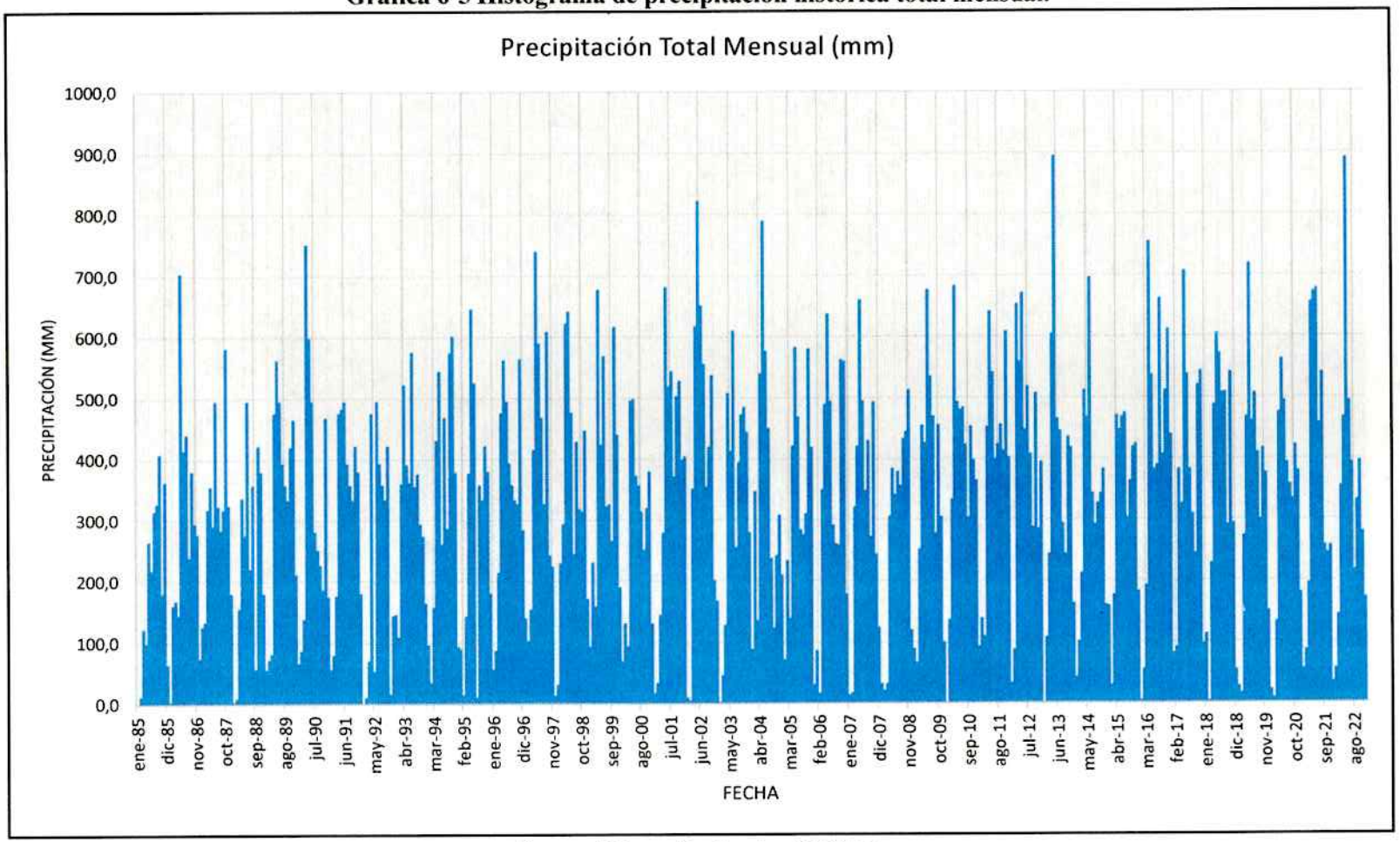
Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

Gráfica 6-4 Histograma de precipitación histórica máxima en 24 horas anual.



Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

Gráfica 6-5 Histograma de precipitación histórica total mensual.



Fuente: Elaboración Propia – IDEAM.

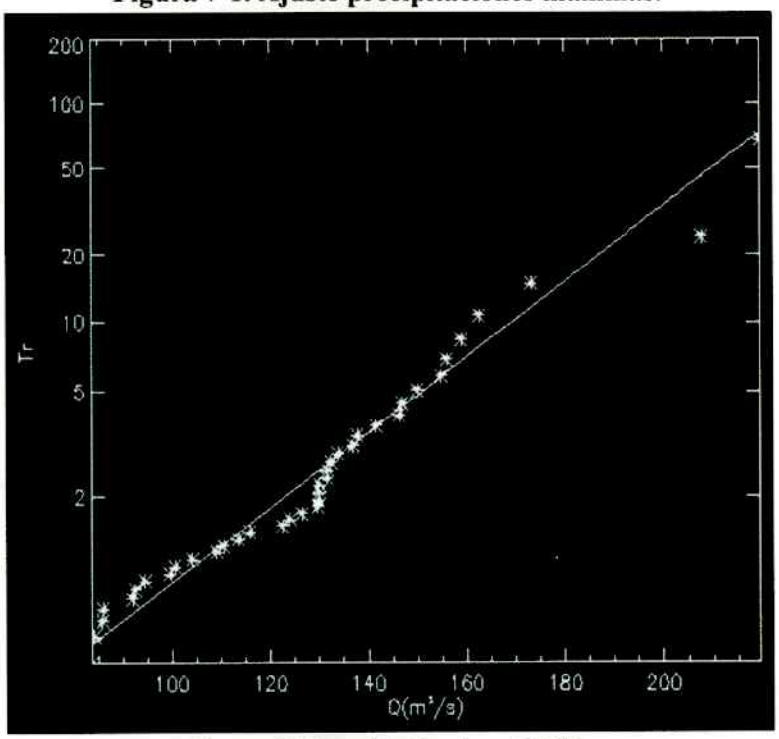
7.CAUDALES DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la magnitud del área de la cuenca, para el cálculo de los caudales máximos de crecientes de diseño, se hizo uso del modelo lluvia escorrentía asociado al método racional, siendo así, se procedió con el ajuste de funciones de probabilidad de las precipitaciones máximas presentadas previamente para las series de datos históricas, luego haciendo uso de las curvas de intensidad – duración – frecuencia se encontraron los caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno para la corriente.

7.1. AJUSTES FUNCIÓN DE PROBABILIDAD

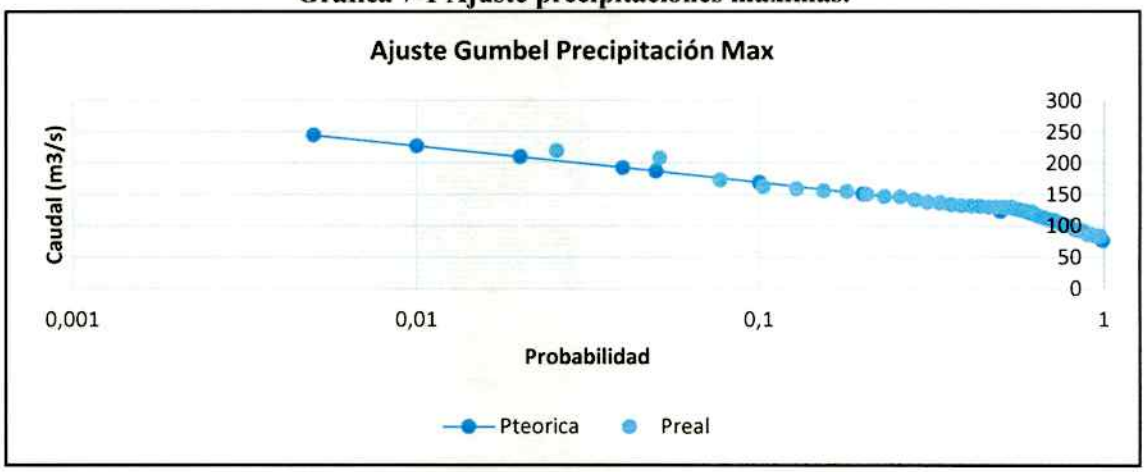
Con ayuda del software AFINS se realizó el análisis de la serie de datos de precipitaciones para diferentes funciones probabilísticas y diferentes períodos de retorno de la estación pluviométrica seleccionada. Para el análisis de las precipitaciones máximas recopilaron los valores registrados previamente y se ajustaron los datos a la función estadística más adecuada de acuerdo con la proyección de la serie de datos. Con la información ajustada se procedió a graficar las probabilidades con los datos obtenidos para verificar su ajuste. **Ver Anexos**.

Figura 7-1. Ajuste precipitaciones máximas.



Fuente: Elaboración Propia – AFINS.

Gráfica 7-1 Ajuste precipitaciones máximas.



Fuente: Elaboración Propia – AFINS.

Una vez realizado el ajuste para cada serie de datos y aplicando las ecuaciones de funciones de probabilidad asociadas a cada serie, se procedió con la obtención de los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

Tabla 7-1. Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas.

TR(años)	Pmax (mm)
1.01	76.80
2	123.18
3	136.32
5	150.95
10	169.33
20	186.96
25	192.55
50	209.78
100	226.88
200	243.92

Fuente: Elaboración Propia – AFINS.

7.2. CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

Para el cálculo de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia, se hizo uso de la siguiente ecuación para encontrar la intensidad asociada a una determinada duración y un determinado periodo de retorno. Dicha ecuación fue obtenida siguiendo el método de los coeficientes para una duración de 24 horas de lluvia propuesto por D.F. Campos. **Ver Anexos**.

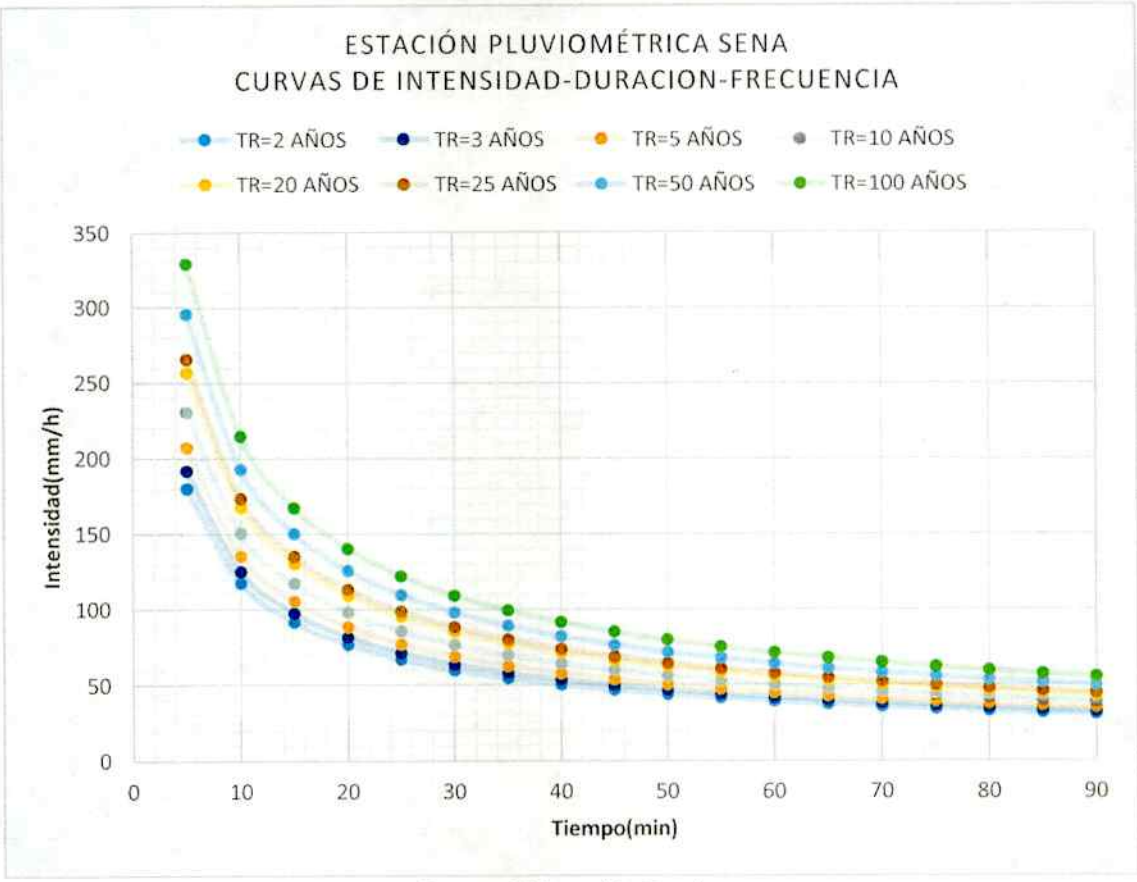
$$I_{SENA} = \frac{436.55TR^{0.154}}{t^{0.616}}$$

Donde:

→ TR = Periodo de retorno (años).

→ t = Duración (min).

Gráfica 7-2 Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia.



Fuente: Elaboración Propia.

7.3. CAUDALES

Como el área de estudio no es de un tamaño considerable, el método racional pudo ser aplicado en este caso para la obtención de los caudales de creciente máxima de diseño.

$$Q = C * I * A$$

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Página 33 | 36

→ Q = Caudal superficial (m^3/s).
→ C = Coeficiente de escorrentía (estimado con base en el tipo de suelo) – 0.2.
→ I = Intensidad promedio de la lluvia (mm/h).
→ A = Área de drenaje (Km^2).

Tabla 7-2. Caudales de creciente.

TR (Años)	I (mm/h)	Q(m3/s)
2	81.78	1.64
3	87.05	1.74
5	94.17	1.89
10	104.78	2.10
20	116.59	2.34
25	120.66	2.42
50	134.25	2.69
100	149.38	2.99

Fuente: Elaboración Propia.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

8.CONCLUSIONES

Mediante el presente documento fue posible realizar el estudio hidrológico e hidráulico para el tramo de estudio asociado al proyecto con objeto "**ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO**". Se presentan a continuación las conclusiones generales para los componentes proyectados, partiendo de la justificación presentada al inicio del documento y de los lineamientos presentados en cada uno de los capítulos expuestos a lo largo del documento.

- → Se realizó la caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica de la zona de estudio haciendo uso de la información base del satélite LAND VIEWER (4.77X4.77) y de la información cartográfica dispuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) con ayuda de las herramientas de software GIS y CAD.
- → Se realizó el análisis hidrológico de la zona, con los datos obtenidos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) provenientes de las estaciones pluviométricas que bordean el proyecto, específicamente de la Estación SENA, la cual registra mediciones de lluvia cercanas a la localización del estudio.
- → Para el cálculo de los caudales de creciente se hizo uso del método racional. Así, se obtuvieron caudales de 2.69 m^3/s (TR=50 Años) y 2.99 m^3/s (TR=100 Años) para el área de estudio.

Atentamente

Responsable	Profesional	Firma
Realizado por:	Ing. Julian Andres Diaz Aguirre Esp. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Msc. Ingeniería – Recursos Hidráulicos.	

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

9.BIBLIOGRAFÍA

→ Braja M. Das, (2012). Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones. Cengage
→ Buitrago Buitrago Catherine, Ocho Parra Diana marcela recomendaciones para la implementación de obras de protección y control de cauces. Bogotá 2013.
→ Gerardo Fracassi. Defensas ribereñas con gaviones y geo sintéticos. 2019
→ Gian Franco Morassutti f. Diseño de estructuras de corrección de torrentes y retención de sedimentos. 2020.
→ Ministerio de transporte, instituto nacional de vías, (2009). Manual de Drenaje para Carreteras.
→ Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, (2017). resolución número 0330 de 2017.
→ Rodríguez Diaz Héctor Alfonso. Hidráulica fluvial fundamentos y aplicaciones socavación. 2013.
→ Suarez Diaz Jaime. Control de erosión en zonas tropicales.2001.
→ Ven Te Chow, (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill interamericana, s.a. Santafé de Bogotá, Colombia.
→ Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays, (1994). Hidrología Aplicada. McGraw-Hill interamericana, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11
Página 36 | 36

ANEXOS
ESTUDIO
HIDROLÓGICO

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11



ESTACIÓN SENA

RESUMEN PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)													
										ESTACION :	35030030 SENA		
LATITUD	4.1274	N		TIPO EST	PLUVI		DEPTO	META		FECHA-INSTALACION			1984-AGO
LONGITUD	-73.64	W		ENTIDAD	IDEAM		MUNICIPIO	FUENTE DE ORO		FECHA-SUSPENSION			
ELEVACION	425	m.s.n.m		REGIONAL			CORRIENTE	-					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
1985	0.0	12.2	121.9	99.4	264.7	217.9	314.7	326.8	407.6	179.9	362.1	64.1	2371.30
1986	3.8	160.0	167.8	144.5	703.4	414.1	439.5	238.4	379.7	293.8	276.9	73.9	3295.80
1987	125.4	133.3	317.2	354.7	290.2	494.4	322.3	282.5	316.8	581.1	323.7	179.3	3720.87
1988	3.3	8.4	154.9	336.0	275.0	494.4	219.9	356.7	55.80	420.8	378.5	179.3	2882.85
1989	55.5	71.3	80.8	475.3	562.3	494.4	392.5	356.7	332.7	419.1	464.7	210.5	3915.75
1990	66.5	86.1	137.7	751.1	598.2	494.4	280.6	250.6	225.7	185.9	467.2	173.9	3717.85
1991	55.5	79.1	175.8	475.3	482.5	494.4	392.47	356.7	332.7	420.8	378.5	179.3	3822.98
1992	0.5	10.0	70.0	475.3	53.0	494.4	392.47	356.7	332.7	420.8	15.7	143.3	2764.84
1993	145.1	108.5	358.9	522.2	390.4	360.7	575.0	354.1	375.4	293.0	273.6	163.60	3920.50
1994	95.4	34.0	156.5	430.0	543.2	260.5	468.3	285.8	573.4	600.9	377.9	92.9	3918.80
1995	88.9	13.9	141.8	375.7	644.8	524.3	10.0	356.7	332.7	420.8	378.5	179.3	3467.28
1996	55.5	86.1	213.6	475.3	562.3	494.4	392.5	356.7	332.7	325.8	563.3	283.2	4141.37
1997	138.6	101.9	153.0	414.8	739.4	589.2	467.7	326.0	608.1	241.3	223.2	12.8	4016.00
1998	30.7	228.4	293.0	621.8	641.0	475.8	243.6	427.8	317.8	313.0	445.9	170.2	4209.00
1999	92.2	229.9	157.8	677.2	423.9	568.6	321.6	325.0	266.0	615.8	439.3	189.20	4306.50
2000	68.3	130.4	93.20	495.50	497.8	372.3	356.10	313.3	250.9	319.1	379.3	130.00	3406.20
2001	16.4	33.3	144.1	278.7	681.3	518.0	543.4	370.9	502.9	527.40	398.3	403.2	4417.90
2002	9.2	4.7	350.3	616.80	821.6	651.2	555.40	353.80	419.3	536.4	200.7	166.6	4686.00
2003	1.3	45.5	127.70	506.90	412.40	609.60	255.00	394.30	472.4	484.20	442.8	278.4	4030.50
2004	88.0	346.2	135.4	539.2	788.8	575.7	449.6	236.4	123.1	240.9	307.1	208.7	4039.10
2005	71.1	232.7	138.1	420.30	582.0	468.2	283.2	275.0	309.7	580.0	418.4	29.5	3808.20
2006	85.5	15.4	348.4	489.3	636.8	494.4	290.7	259.8	257.9	562.1	559.2	177.7	4177.20
2007	12.8	16.2	320.6	419.7	660.0	494.4	347.2	428.8	271.6	492.2	242.6	122.8	3828.88
2008	30.8	20.4	31.6	304.7	383.3	340.6	378.4	355.2	432.1	443.2	512.2	118.8	3351.30
2009	88.4	66.5	251.3	454.3	425.2	676.5	534.5	469.2	277.1	455.1	304.1	98.7	4100.90
2010	0.6	135.3	332.4	682.8	492.5	480.0	483.7	422.4	302.5	452.8	396.9	363.5	4545.40
2011	92.3	137.9	109.0	451.8	640.5	540.7	398.6	422.9	455.4	412.5	607.6	401.2	4670.40
2012	32.3	87.0	652.7	557.8	670.8	447.5	517.4	406.9	286.6	506.6	284.4	393.8	4843.80
2013	0.2	106.6	242.5	602.9	893.9	464.8	444.8	292.8	242.8	434.5	417.1	161.9	4304.80
2014	40.8	99.7	211.1	510.9	467.8	695.6	342.6	291.2	326.5	341.9	381.7	159.8	3869.60
2015	158.1	28.5	175.6	470.1	447.0	467.9	474.1	302.0	362.1	418.4	423.7	181.5	3909.00
2016	3.6	55.2	191.1	754.6	536.0	381.4	388.6	661.9	406.0	510.9	611.1	438.6	4939.00
2017	80.9	90.4	381.4	324.8	706.4	537.5	381.5	308.6	243.7	520.4	542.7	95.8	4214.10
2018	112.1	2.9	227.7	487.2	604.0	571.1	507.0	508.2	290.5	540.9	293.1	54.00	4198.70
2019	26.6	15.9	272.8	467.9	718.1	461.2	506.6	409.3	299.5	415.9	375.5	149.60	4118.90
2020	21.0	7.8	132.2	475.3	562.3	494.4	392.5	356.7	332.7	420.8	378.5	179.3	3753.36
2021	55.5	86.1	195.2	655.9	672.8	677.4	457.5	540.3	256.7	244.5	256.4	33.7	4131.96
2022	56.0	143.0	353.5	467.0	890.8	494.4	392.5	216.4	331.4	395.3	279.2	171.2	4190.65
PROMEDIOS	55.49	86.07	213.65	475.35	562.27	494.38	392.47	356.66	332.72	420.75	378.46	179.29	328.96
MAXIMOS	158.10	346.20	652.70	754.60	893.90	695.60	575.00	661.90	608.10	615.80	611.10	438.60	893.90
MINIMOS	0.00	2.90	31.60	99.40	53.00	217.90	10.00	216.40	55.80	179.90	15.70	12.80	0



RESUMEN PRECIPITACION MAXIMA EN 24 H (mm)													
										ESTACION :	35030030 SENA		
LATITUD	4.1274	N		TIPO EST	PLUVI		DEPTO	META		FECHA-INSTALACION			1984-AGO
LONGITUD	-73.64	W		ENTIDAD	IDEAM		MUNICIPIO	FUENTE DE ORO		FECHA-SUSPENSION			
ELEVACION	425	m.s.n.m		REGIONAL			CORRIENTE	-					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR MAX
1985	0.00	6.80	46.20	41.80	84.20	34.60	40.60	44.60	82.80	63.90	56.30	36.70	84.20
1986	2.30	75.40	52.80	35.80	156.00	36.80	91.30	36.40	62.70	71.50	96.00	32.10	156.00
1987	81.20	32.90	71.90	65.20	45.20	82.05	48.20	38.00	48.80	124.00	75.80	55.44	124.00
1988	3.30	3.80	92.00	60.80	50.00	82.05	53.70	73.27	24.00	84.53	83.05	55.44	92.00
1989	23.82	30.00	18.20	85.81	92.51	82.05	69.13	73.27	70.52	207.70	128.80	83.00	207.70
1990	28.30	34.46	23.30	113.60	86.40	82.05	36.80	48.50	56.90	31.20	86.40	48.40	113.60
1991	23.82	49.80	141.50	85.81	129.40	82.05	69.13	73.27	70.52	84.53	83.05	55.44	141.50
1992	0.50	8.60	55.80	85.81	28.00	82.05	69.13	73.27	70.52	84.53	11.30	38.00	85.81
1993	30.50	30.00	74.50	66.40	59.00	45.70	101.00	115.80	96.50	56.00	54.20	80.50	115.80
1994	58.00	13.90	50.40	103.60	90.00	42.50	92.30	44.60	109.10	90.00	61.20	26.10	109.10
1995	35.60	9.30	31.00	104.10	93.40	73.70	6.00	73.27	70.52	84.53	83.05	55.44	104.10
1996	23.82	34.46	63.91	85.81	92.51	82.05	69.13	73.27	70.52	42.40	131.60	114.70	131.60
1997	71.40	35.00	83.50	67.20	219.40	129.90	104.00	57.10	91.80	34.80	34.40	9.00	219.40
1998	18.00	96.40	129.00	101.70	111.10	105.70	45.50	75.80	56.50	40.80	129.70	21.70	129.70
1999	19.20	66.00	70.10	87.20	60.40	130.00	93.10	58.60	83.70	93.40	100.30	34.20	130.00
2000	25.50	29.00	38.30	73.10	96.20	50.10	42.50	99.60	48.00	99.60	98.40	37.90	99.60
2001	10.00	19.60	42.60	73.30	82.70	61.20	121.60	64.90	64.90	162.70	77.20	48.40	162.70
2002	3.70	3.60	75.00	74.90	89.10	173.30	150.20	59.40	116.70	132.90	58.70	103.80	173.30
2003	1.00	21.50	29.10	75.40	50.20	92.60	47.50	63.10	88.00	100.70	73.20	78.30	100.70
2004	65.50	137.00	23.10	100.00	114.10	89.00	61.90	46.70	55.70	53.40	53.10	51.20	137.00
2005	39.20	123.20	26.70	135.00	102.50	47.00	64.40	56.90	60.00	130.00	154.80	15.00	154.80
2006	33.90	7.00	150.00	109.40	61.70	111.20	36.30	61.30	55.20	142.20	148.00	83.60	150.00
2007	5.00	9.80	71.80	52.00	89.30	82.05	66.60	94.50	50.80	71.40	60.50	36.40	94.50
2008	29.80	5.40	13.70	146.90	138.00	47.40	97.00	83.50	77.00	63.00	55.60	61.70	146.90
2009	31.00	25.90	87.90	110.50	57.50	77.60	62.10	104.10	47.50	88.30	75.80	29.10	110.50
2010	0.30	32.60	93.00	101.80	104.40	128.80	84.90	133.80	76.30	49.00	66.80	61.60	133.80
2011	29.80	62.10	17.70	77.60	69.50	108.00	81.30	123.40	80.80	97.20	137.70	119.00	137.70
2012	10.40	35.70	90.80	61.00	120.20	65.90	65.00	85.80	116.80	62.10	69.00	122.50	122.50
2013	0.10	30.00	43.10	131.50	102.70	69.10	75.80	32.20	39.90	53.50	77.70	54.00	131.50
2014	19.10	74.00	62.40	60.30	80.40	130.00	55.20	45.90	52.40	45.10	85.30	68.10	130.00
2015	56.50	19.40	86.00	69.70	72.90	83.20	43.40	66.60	53.20	81.50	62.40	42.70	86.00
2016	3.60	18.00	60.30	99.60	78.60	50.70	82.50	137.80	139.30	71.60	100.30	158.90	158.90
2017	14.00	23.00	99.40	83.50	146.30	76.20	50.90	48.70	59.00	75.40	130.70	22.50	146.30
2018	23.00	1.20	63.90	58.20	75.20	82.00	85.00	126.50	50.30	121.80	51.10	16.10	126.50
2019	11.80	9.10	79.50	98.50	132.30	74.40	63.90	98.00	94.20	111.10	90.20	35.70	132.30
2020	13.00	3.30	71.70	85.81	92.51	82.05	69.13	73.27	70.52	84.53	83.05	55.44	92.51
2021	23.82	34.46	45.60	129.80	77.80	80.80	61.80	75.50	64.00	43.80	70.20	8.70	129.80
2022	35.50	57.70	52.90	62.40	83.80	82.05	69.13	43.90	53.90	77.50	61.10	50.00	83.80
PROMEDIOS	23.82	34.46	63.91	85.81	92.51	82.05	69.13	73.27	70.52	84.53	83.05	55.44	68.21
MAXIMOS	81.20	137.00	150.00	146.90	219.40	173.30	150.20	137.80	139.30	207.70	154.80	158.90	219.40
MINIMOS	0.00	1.20	13.70	35.80	28.00	34.60	6.00	32.20	24.00	31.20	11.30	8.70	0

ANALISIS DE LLUVIAS

		38		
1	84.20	1985	219.40	0.03
2	156.00	1986	207.70	0.05
3	124.00	1987	173.30	0.08
4	92.00	1988	162.70	0.10
5	207.70	1989	158.90	0.13
6	113.60	1990	156.00	0.15
7	141.50	1991	154.80	0.18
8	85.81	1992	150.00	0.21
9	115.80	1993	146.90	0.23
10	109.10	1994	146.30	0.26
11	104.10	1995	141.50	0.28
12	131.60	1996	137.70	0.31
13	219.40	1997	137.00	0.33
14	129.70	1998	133.80	0.36
15	130.00	1999	132.30	0.38
16	99.60	2000	131.60	0.41
17	162.70	2001	131.50	0.44
18	173.30	2002	130.00	0.46
19	100.70	2003	130.00	0.49
20	137.00	2004	129.80	0.51
21	154.80	2005	129.70	0.54
22	150.00	2006	126.50	0.56
23	94.50	2007	124.00	0.59
24	146.90	2008	122.50	0.62
25	110.50	2009	115.80	0.64
26	133.80	2010	113.60	0.67
27	137.70	2011	110.50	0.69
28	122.50	2012	109.10	0.72
29	131.50	2013	104.10	0.74
30	130.00	2014	100.70	0.77
31	86.00	2015	99.60	0.79
32	158.90	2016	94.50	0.82
33	146.30	2017	92.51	0.85
34	126.50	2018	92.00	0.87
35	132.30	2019	86.00	0.90
36	92.51	2020	85.81	0.92
37	129.80	2021	84.20	0.95
38	83.80	2022	83.80	0.97

Pprom(mm)	128.582
Varianza	981.524
S (mm)	31.3293
Coef. Asimetria	0.851004
Coef. Varianza	0.243652
Cursotis	3.72255
Función Ajuste	GUMBEL
Θ	0.0408
λ	105.8890

Tiempo de duración	Cociente	P.M.P (mm) para diferentes tiempos de duración según T.R							
		2	3	5	10	20	25	50	100
24	100%	123.18	136.32	150.95	169.33	186.96	192.55	209.78	226.88
18	91%	112.10	124.05	137.36	154.09	170.13	175.22	190.90	206.46
12	80%	98.55	109.05	120.76	135.46	149.57	154.04	167.83	181.51
8	68%	83.76	92.70	102.64	115.14	127.13	130.94	142.65	154.28
6	61%	75.14	83.15	92.08	103.29	114.05	117.46	127.97	138.40
5	57%	70.21	77.70	86.04	96.52	106.57	109.75	119.58	129.32
4	52%	64.05	70.88	78.49	88.05	97.22	100.13	109.09	117.98
3	46%	56.66	62.71	69.43	77.89	86.00	88.57	96.50	104.37
2	39%	48.04	53.16	58.87	66.04	72.91	75.10	81.81	88.48
1	30%	36.95	40.89	45.28	50.80	56.09	57.77	62.93	68.07

Tiempo de duración		Int (mm/h) para diferentes tiempos de duración según T.R							
h	min	2	3	5	10	20	25	50	100
24	1440	5.13	5.68	6.29	7.06	7.79	8.02	8.74	9.45
18	1080	6.23	6.89	7.63	8.56	9.45	9.73	10.61	11.47
12	720	8.21	9.09	10.06	11.29	12.46	12.84	13.99	15.13
8	480	10.47	11.59	12.83	14.39	15.89	16.37	17.83	19.29
6	360	12.52	13.86	15.35	17.21	19.01	19.58	21.33	23.07
5	300	14.04	15.54	17.21	19.30	21.31	21.95	23.92	25.86
4	240	16.01	17.72	19.62	22.01	24.30	25.03	27.27	29.49
3	180	18.89	20.90	23.14	25.96	28.67	29.52	32.17	34.79
2	120	24.02	26.58	29.43	33.02	36.46	37.55	40.91	44.24
1	60	36.95	40.89	45.28	50.80	56.09	57.77	62.93	68.07

Resumen regresión		
TR (años)	d	c
2	465.69	-0.616
3	515.35	-0.616
5	570.65	-0.616
10	640.15	-0.616
20	706.80	-0.616
25	727.95	-0.616
50	793.09	-0.616
100	857.74	-0.616
	659.68	-0.616

Regresión Potencial						
N°	x	y	lnx	lny	lnxlny	$(lnx)^2$
1	2	465.69	0.69	6.14	4.26	0.48
2	3	515.35	1.10	6.24	6.86	1.21
3	5	570.65	1.61	6.35	10.21	2.59
4	10	640.15	2.30	6.46	14.88	5.30
5	20	706.80	3.00	6.56	19.65	8.97
6	25	727.95	3.22	6.59	21.21	10.36
7	50	793.09	3.91	6.68	26.12	15.30
8	100	857.74	4.61	6.75	31.10	21.21
8	215	5277.42	20.44	51.78	134.30	65.43
			2.55	6.47		
B	0.154		A	6.08	436.55	

TR(Años)	I (mm/h)	Q CIA(m^3/s)
2	81.78	1.64
3	87.05	1.74
5	94.17	1.89
10	104.78	2.10
20	116.59	2.34
25	120.66	2.42
50	134.25	2.69
100	149.38	2.99

ANEXO 4 : INFORME DETALLADO DE AMENAZAS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS

CONTRATO PS-GCT.2.7.25-1371: "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION Y ADECUACION DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO"

CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 202
CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ÁREA DEL MANEJO ESPECIAL LA MACARENA (CORMACARENA)

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO** identificado con cédula de ciudadanía No.1.121.837.552, en mi calidad de **INGENIERO CIVIL** con matrícula profesional **No 25202-198662 CND**, CERTIFICO, en calidad de **INGENIERO CIVIL** del CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 2025, que el producto: "INFORME DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS", se realizó de conformidad con lo establecido en el contrato PS-GCT 2.7.25-1371

Declaro que el producto **INFORME DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS** se elaboró de acuerdo con las normas colombianas vigentes.

Atentamente,

GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO
Ingeniero Civil
M.P. 25202-198662 CND

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2025-4161792

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1121837552, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 25202-198662 desde el 20 de Enero de 2011, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 53.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintinueve (29) días del mes de Diciembre del año dos mil veinticinco (2025).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.

Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA

COPNIA



MATRICULA PROFESIONAL No.

25202198662CND

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 20/01/2011

GUILLERMO ANTONIO

ROJAS BAQUERO

C.C. 1121837552

UNIVERSIDAD COOPERATIVA

DE COLOMBIA

PRESIDENTE DEL CONSEJO

Este es un documento público expedido en virtud de la Ley 842 de 2003, que autoriza a su titular para ejercer como Ingeniero en todo el Territorio Nacional.

En caso de extravío debe ser remitida al COPNIA

Calle 78 No. 9 - 57 Oficina 1301 Tel. 3220102 Bogotá D.C.

CUADRO DE RESPONSABILIDADES

OBJETO CONTRACTUAL	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO	
CONTRATANTE	CORPORACIÓN AMBIENTAL CORMACARENA	
CONTRATO	CONTRATO DE CONSULTORÍA No. PS-GCT 2.725-1371	
TÍTULO DE DOCUMENTO	INFORME DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS	
NUMERO DE REVISIÓN	0	
PERSONAL RESPONSABLE		
Elaboración	Nombre	**Ing. GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO**
	Matricula Profesional	25202-198662 CND
	Cargo	INGENIERO CIVIL
	Firma	
Revisión y Aprobación	Nombre	**Ing. JORGE ADELMO DIAZ SARMIENTO**
	Matricula Profesional	25202-68120 CND
	Cargo	DIRECTOR DE CONSULTORÍA
	Firma	
VoBo Consultoría	Nombre	**GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO**
	Matricula Profesional	25202-198662 CND
	Cargo	REPRESENTANTE LEGAL
	Firma	

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 6
2. Objetivos 7
2.1 Objetivo general 7
2.2 Objetivos específicos 7
3. Diseño metodológico 8
4. Definición del alcance 13
4.1 Tipo de Proyecto 13
4.2 Localización General del Proyecto 13
4.3 Localización específica del Proyecto 16
4.4 Fases del Proyecto 16
5. Información preliminar 16
5.1 Análisis del entorno físico (terreno, clima, infraestructuras cercanas) 16
5.2 Antecedentes de obras similares 17
5.3 Antecedentes del Proyecto 18
5.4 Normativas locales y estudios geotécnicos 18
5.5 Recolección de información de expertos y trabajadores con experiencia 19
6. Identificación de Amenazas 19
6.1 Amenazas sismicas 20
6.2 Amenazas por inundaciones 21
6.3 Amenazas por Tormentas eléctricas 21
6.4 Amenazas por Vientos fuertes 21
6.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos 22
6.6 Amenazas Hidráulicas 22
6.7 Amenazas Geotécnicas 24
Amenazas Constructivas 25
6.8 Amenaza por Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías) 25
6.9 Amenaza por Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo): 25
6.10 Amenaza por Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable) 25
6.11 Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente 25
6.12 Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas 25
6.13 Amenazas por accesibilidad limitada 25
6.14 Amenazas Ambientales 25
6.15 Amenazas por Incendios / Explosiones 26
6.16 Amenazas por Derrames / fugas 26
6.17 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor 26
6.18 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos 27
6.19 Amenazas por Accidentes de Transito 27
6.20 Amenazas por Accidentes de Trabajo 27
6.21 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales 27
6.22 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia 28
6.23 Amenazas por Atentados Terroristas 28
7. Análisis de vulnerabilidades 30
7.1 Amenazas sismicas 30
7.2 Amenazas por inundaciones 30

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

7.3 Amenazas por Tormentas eléctricas 30
7.4 Amenazas por Vientos fuertes 31
7.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos 31
7.6 Amenazas Hidráulicas 31
7.7 Amenazas Geotécnicas 34
Amenazas Constructivas 35
7.8 Amenaza por Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías) 35
7.9 Amenaza por Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo) 35
7.10 Amenaza por Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable) 35
7.11 Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente 35
7.12 Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas 35
7.13 Amenazas por accesibilidad limitada 36
7.14 Amenazas Ambientales 36
7.15 Amenazas por Incendios / Explosiones 37
7.16 Amenazas por Derrames / fugas 37
7.17 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor 37
7.18 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos 38
7.19 Amenazas por Accidentes de Transito 38
7.20 Amenazas por Accidentes de Trabajo 38
7.21 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales 38
7.22 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia 39
7.23 Amenazas por Atentados Terroristas 39
8. Nivel de Riesgo 46
9. Plan de Gestión del Riesgo 50
9.1 Amenazas sísmicas 50
9.2 Amenazas por inundaciones 51
9.3 Amenazas por Tormentas eléctricas 51
9.4 Amenaza por vientos fuertes 52
9.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos 52
9.6 Amenazas Hidráulicas 53
9.7 Amenazas Geotécnicas 58
Amenazas Constructivas 60
9.8 Amenaza por Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías) 60
9.9 Amenaza por Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo) 60
9.10 Amenaza por Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable) 60
9.11 Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente 61
9.12 Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas 61
9.13 Amenazas por accesibilidad limitada 61
9.14 Amenazas Ambientales 62
9.15 Amenazas por Incendios / Explosiones 63
9.16 Amenazas por Derrames / fugas 64
9.17 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor 64
9.18 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos 65
9.19 Amenazas por Accidentes de Transito 65
9.20 Amenazas por Accidentes de Trabajo 66
9.21 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales 66
9.22 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia 67
9.23 Amenazas por Atentados Terroristas 67
10. Responsabilidades 68

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



10.1 Amenazas sísmicas 68
10.2 Amenazas por inundaciones 69
10.3 Amenazas por Tormentas eléctricas 69
10.4 Amenaza por vientos fuertes 69
10.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos 70
10.6 Amenazas Hidráulicas 70
10.7 Amenazas Geotécnicas 75
10.8 Amenazas Constructivas 76
10.9 Amenazas Ambientales 77
10.10 Amenazas por Incendios / Explosiones 78
10.11 Amenazas por Derrames / fugas 79
10.12 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor 79
10.13 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos 80
10.14 Amenazas por Accidentes de Transito 80
10.15 Amenazas por Accidentes de Trabajo 80
10.16 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales 81
10.17 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia 81
10.18 Amenazas por Atentados Terroristas 82
11. Monitoreo, seguimiento y actualización 82
11.1 Amenazas sísmicas 82
11.2 Amenazas por inundaciones 83
11.3 Amenazas por Tormentas eléctricas 83
11.4 Amenaza por vientos fuertes 83
11.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos 84
11.6 Amenazas Hidráulicas 84
11.7 Amenazas Geotécnicas 90
11.8 Amenazas Constructivas 91
11.9 Amenazas Ambientales 92
11.10 Amenazas por Incendios / Explosiones 93
11.11 Amenazas por Derrames / fugas 94
11.12 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor 94
11.13 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos 95
11.14 Amenazas por Accidentes de Transito 95
11.15 Amenazas por Accidentes de Trabajo 96
11.16 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales 96
11.17 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia 96
11.18 Amenazas por Atentados Terroristas 97
12. Conclusiones 98
12.1 Amenazas sísmicas 98
12.2 Amenazas por inundaciones 98
12.3 Amenazas por Tormentas eléctricas 98
12.4 Amenazas por vientos fuertes 98
12.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos 98
12.6 Amenazas Hidráulicas 99
12.7 Amenazas Geotécnicas 100
12.8 Amenazas Constructivas 101
12.9 Amenazas Ambientales 102
12.10 Amenazas por Incendios / Explosiones 103
12.11 Amenazas por Derrames / fugas 103

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

12.12 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor 103
12.13 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos 104
12.14 Amenazas por Accidentes de Transito 104
12.15 Amenazas por Accidentes de Trabajo 104
12.16 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales 104
12.17 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia 104
12.18 Amenazas por Atentados Terroristas 104
13. Registro fotográfico de la visita 105

Ilustraciones

Ilustración 1: Localización del municipio de Villavicencio 15
Ilustración 2: Localización específica del proyecto 16

Tablas

Tabla 1: Amenazas identificadas 10
Tabla 2: Escala de medición de amenazas 10
Tabla 3: Escala de medición de vulnerabilidad humana 11
Tabla 4: Escala de medición de vulnerabilidad de recursos 11
Tabla 5: Escala de medición de vulnerabilidad operacional 11
Tabla 6: clasificación del riesgo 12
Tabla 7: Escala de evaluación del riesgo 12
Tabla 8: Resumen de la metodología 13
Tabla 9: Estratigrafía y clasificación del suelo 17
Tabla 10: Probabilidad de ocurrencia de las amenazas 29
Tabla 11:Escala de calificación amenazas 30
Tabla 12: Valoración de vulnerabilidad humana 40
Tabla 13: Escala de valoración de vulnerabilidad humana 41
Tabla 14: Valoración de vulnerabilidad de recursos 43
Tabla 15: Escala de valoración de vulnerabilidad de recursos 43
Tabla 16: Valoración de la vulnerabilidad operacional 45
Tabla 17: Escala de valoración de vulnerabilidad operacional 45
Tabla 18: Nivel de Riesgo en la construcción 46
Tabla 19: Nivel de Riesgo en Operación 47
Tabla 20: Escala de calificación del Riesgo 48
Tabla 21: Amenazas y vulnerabilidades 48
Tabla 22: Medidas de mitigación de amenazas geotecnicas 60
Tabla 23: Actores principales en subdimensionamiento dle interceptor 71
Tabla 24: Actores principales por sedimentación interna 72
Tabla 25: Actores principales por infiltración / Intrusión 73
Tabla 26: Actores principales por golpe de ariete y sobrepresiones 74
Tabla 27: Responsables en amenazas geotécnicas 76

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

1. Introducción

La Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena "CORMACARENA", en su misión de gestionar los recursos naturales renovables y el medio ambiente en el Departamento del Meta, dentro del marco del desarrollo sostenible, para bienestar de la sociedad en general; celebró el contrato de Consultoría PS-GCT.2.7.25-1371 "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION Y ADECUACION DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO", con el Consorcio Interceptor Ocoa 2025.

En armonía con la visión de la Corporación ambiental y con el propósito de mejorar las condiciones sanitarias de los habitantes de la ciudad de Villavicencio, realizando la correcta disposición de las aguas residuales se ha celebrado el presente contrato de consultoría, que busca encontrar la mejor alternativa de diseño a la problemática actual de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio ESP, a la altura de la cancha "Primer Tiempo" Vía Acacias, entre los Pozos OC 08 al OC 10, donde se presentó la pérdida del tramo del interceptor Ocoa Sur del sistema de alcantarillado sanitario.

Por lo anterior se busca mitigar el impacto ambiental negativo al ecosistema y recursos naturales producto de la corriente superficial de aguas residuales en el tramo comprendido entre los pozos OC 08 al OC 10.

El documento que se presenta a continuación corresponde al desarrollo de la fase 1 del contrato denominada: DIAGNOSTICO, ANALISIS DE INFORMACION Y ESTUDIOS PREVIOS RECOLECCION DE INFORMACION EXISTENTE, que involucra lo concerniente a la información general del área del proyecto, características socioeconómicas, presentación de la información recopilada.
Este documento presenta el informe final detallado, de amenazas, vulnerabilidades y riesgos, como parte e insumo para la Elaboración de estudios y diseños para la construcción y adecuación del interceptor Ocoa Sur Tramo 1 del municipio de Villavicencio, Meta.
El informe busca determinar los peligros potenciales (amenazas) y las debilidades (vulnerabilidades) que podrían presentarse en la etapa constructiva (ejecución) enmarcada en el alcance de los estudios y diseños, con el fin de anticiparse a estos probables hechos, y de esta manera, poder gestionar el riesgo y evitar incidentes negativos (desastres), que pueda afectar las infraestructuras construidas, y a construir, su operación y el entorno o área de influencia del proyecto; para esto se tuvo que identificar y evaluar todos estos factores involucrados, con el fin de implementar medidas preventivas.

En el informe se realiza un análisis de las amenazas, su incidencia, posibles consecuencias, se identifican los activos expuestos, y se hace evaluación de las vulnerabilidades; y finalmente se presenta una propuesta de solución para fortalecer y/o garantizar la seguridad y resistencia de las infraestructuras, y el adecuado manejo de

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

los recursos disponibles, por medio de la formulación de un Plan de Gestión del Riesgo. con sus respectivas recomendaciones.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar, identificar y evaluar las amenazas y escenarios de riesgo en el área de influencia del proyecto, para la construcción del interceptor Ocoa Sur Tramo 1, del Municipio de Villavicencio, Meta.

2.2 Objetivos específicos

- Recolectar, clasificar y analizar la información existente de la zona de influencia del proyecto, para la realización del estudio de amenazas, vulnerabilidades y riesgos por movimientos de masa e inundaciones.
- Analizar estudios complementarios e información geológica, geomorfológica y/o estructural.
- Realizar el diagnóstico de puntos críticos con su respectiva evaluación y propuestas de solución.
- Realizar recomendaciones para la optimización y construcción de las obras.
- Reducir el riesgo de daños y pérdidas.
- Planificar la respuesta ante emergencias.
- Mejorar la seguridad y la sostenibilidad de las obras.
- Cumplir con regulaciones y normativas de protección civil.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



3. Diseño metodológico

0. Proceso metodológico

La metodología usada consiste en analizar y revisar la caracterización del sistema (infraestructura a construir o área de influencia del proyecto), identificación y priorización de las amenazas encontradas, analizar las vulnerabilidades (estructurales, funcionales o del entorno), hacer la evaluación de riesgos (matriz de riesgos para probabilidades de ocurrencia y consecuencias en cuanto a posibles pérdidas o daños resultantes de cada amenaza, con la determinación del nivel del riesgo), analizar los puntos críticos y finalmente establecer el Plan de Gestión del Riesgo, para definir las acciones a realizar para mitigar, controlar o prevenir los riesgos identificados (evaluar alternativas de solución considerando las variables costo y beneficio de cada acción, recomendaciones de control para asegurar el funcionamiento ante desastres).

Se analizará la interrelación entre las características y condiciones del terreno y condiciones sociales, para identificar la probabilidad de ocurrencia de los eventos relacionados.

Se tendrá en cuenta los estudios y diseños hechos en la Consultoría.

1. Definición del Alcance

Para la definición del alcance se tendrá en cuenta los siguientes ítems:

1.1 Tipo de proyecto u obra (vial, hidráulica, edificaciones, institucional, etc)
1.2 Ubicación geográfica y contexto urbano / rural
1.3 Fases del proyecto: diseño, construcción, operación.

2. Información preliminar

Para el análisis de la información preliminar se tendrá en cuenta los siguientes ítems:

2.1 Análisis del entorno físico (terreno, clima, infraestructuras cercanas)
2.2 Antecedentes de obras similares
2.3 Antecedentes del Proyecto
2.4 Normativas locales y estudios geotécnicos
2.5 Recolección de información de expertos y trabajadores con experiencia

3. Identificación de Amenazas

3.1 Concepto

Una amenaza es un evento o fenómeno de origen natural, biológico o humano que tiene el potencial de causar daños, pérdidas o efectos negativos sobre las personas, la infraestructura, el medio ambiente y la economía. Estas amenazas representan un peligro latente de que ocurra un evento perjudicial que, al interactuar con la vulnerabilidad de un sistema o comunidad, puede resultar en un desastre, el cual ocurre cuando un evento peligroso (amenaza) provoca pérdidas de vidas, daños a bienes y alteraciones en el funcionamiento de una sociedad debido a su vulnerabilidad.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



3.2 Clasificación general de las Amenazas

- Naturales: sismos, inundaciones, deslizamientos, tsunamis, erupciones volcánicas, sequías, olas de calor o ciclones.
- Técnicas: fallas estructurales, errores de diseño.
- Humanas: Negligencia, falta de capacitación, ignorancia, falta de control, incendios forestales, accidentes industriales, ataques cibernéticos (malware, virus), conflictos geopolíticos, o desastres derivados de actividades accidentales o intencionales.
- Sociales: accidentes de trabajo, accidentes vehiculares, protestas, delincuencia, etc.
- Biológicas: Epidemias o brotes de enfermedades.
- Legales y financieras: Incumplimiento de contratos, sobrecostos.

Se usa fuentes como mapas de riesgo, estudios geotécnicos, antecedentes o registros históricos.

3.3 Amenazas Identificadas

Origen	Amenazas
Naturales	Movimientos sísmicos
	Inundaciones / socavaciones / subpresiones
	Tormentas eléctricas
	Vientos fuertes
	Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos
Hidráulicas	Subdimensionamiento del interceptor
	Sedimentación interna
	Infiltración / Intrusión
	Golpes de ariete y sobrepresiones
Geotécnicas	Suelos blandos o compresibles
	Nivel freático alto y sifonamiento
	licuefacción local o licuación
	colapso de zanjas o del terreno, asentamientos diferenciales
Constructivas	Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)
	Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)
	Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable):
	Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente
	Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas
	Amenazas por accesibilidad limitada
Ambientales	Vertimientos accidentales
	Contaminación de cuerpos de aguas
	Emisión de gases
	Afectación de suelos y vegetación
	Amenazas adicionales por condiciones actuales
Sociales - Tecnológicas	Incendios / Explosiones
	Derrames / fugas

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

	Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor
	Fallas de maquinarias y equipos
	Accidentes de Transito
	Accidentes de Trabajo
	Revueltas / Asonadas / protestas sociales
	Hurtos / Asaltos / Delincuencia
	Atentados Terroristas

Tabla 1: Amenazas identificadas

Escala			
Calificación del evento	**Frecuencia**	**Intervalo**	**Comportamiento**
Improbable	Muy baja	0-1	Muy baja probabilidad, ha sucedido o se espera que suceda solo pocas veces o no suceda.
Posible	Baja	1.1-2	Limitada probabilidad de ocurrencia sucede en forma esporádica.
Probable	Media	2.1-3	Mediana probabilidad de ocurrencia sucede algunas veces.
Alta	Alta	3.1-4	Significativa probabilidad de ocurrencia sucede en forma reiterada.
Inminente / Frecuente	Muy alta	4.1-5	Alta probabilidad de ocurrencia ocurre muy seguido.

Tabla 2: Escala de medición de amenazas

4. Análisis de vulnerabilidades

Una vulnerabilidad es la susceptibilidad o fragilidad de una comunidad, sistema o activo para ser afectado por una amenaza. Evalúa qué tan expuesta está la obra ante cada amenaza, considerando las condiciones del terreno y materiales, profundidad de las excavaciones, cercanía con zonas urbanas, capacitación del personal, sistema de protección existentes. Se puede aplicar herramientas como la matriz DOFA para entender debilidades y fortalezas. La vulnerabilidad de un elemento particular de la sociedad está definida como el grado de pérdida que esta pueda sufrir como resultado de una amenaza. La naturaleza de la vulnerabilidad y su evaluación varían según el elemento expuesto representado en personas, estructuras sociales, estructuras físicas o bienes y actividades económicas.

4.1 Vulnerabilidad Humana (H)

1. Gestión Organizacional
2. Capacitación y Entrenamiento
3. Características de Seguridad

Escala		
Descripción	**Tipo**	**Rango**
Sin lesiones	**Insignificante**	**1**
Lesiones leves sin incapacidad	**Marginal**	**2-4**
Lesiones leves incapacitantes	**Grave**	**5-9**
Una victima grave con hospitalización	**Crítica**	**10-19**
Varias lesiones con hospitalización, 1 muerte	**Desastrosa**	**20-30**

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Varias muertes	Catastrófica	40-50

Tabla 3: Escala de medición de vulnerabilidad humana

4.2 Vulnerabilidad de Recursos (R)

1. Suministros
2. Infraestructura
3. Equipos

Escala		
Descripción	**Tipo**	**Rango**
Pérdida no mayor al 0,1%	Insignificante	1
Pérdida entre el 0,1% y el 0,5%	Marginal	2-4
Pérdida entre el 0,5% y el 2,0%	Grave	5-9
Pérdida entre el 2,0% y el 5,0%	Crítica	10-19
Pérdida entre el 5,0% y el 10,0%	Desastrosa	20-30
Pérdida mayor al 10,0%	Catastrófica	40-50

Tabla 4: Escala de medición de vulnerabilidad de recursos

4.3 Vulnerabilidad Operacional (O)

1. Servicios
2. 2. Sistemas Alternos
3. 3. Recuperación

Escala		
Descripción	**Tipo**	**Rango**
Menos de 8 horas	Insignificante	1
Entre 8 horas y 1 día	Marginal	2-4
Entre 1 y 5 días	Grave	5-9
Entre 5 y 15 días	Crítica	10-19
Entre 15 y 30 días	Desastrosa	20-30
Más de 30 días	Catastrófica	40-50

Tabla 5: Escala de medición de vulnerabilidad operacional

5. Análisis y Evaluación de Riesgos

5.1 Concepto

Un riesgo es la probabilidad de que una amenaza ocurra e impacte negativamente, debido a la combinación de una amenaza y una vulnerabilidad, es decir, combina la probabilidad de ocurrencia de un evento, con el impacto potencial, usando matrices de riesgos, clasifica los riesgos en alto, medio o bajo. El riesgo es definido, como la probabilidad de ocurrencia en un lugar dado y en un momento determinado de un fenómeno natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes.

5.2 Importancia de la gestión de riesgos

Permite identificar los peligros potenciales que enfrenta un sistema o comunidad, Evaluar la probabilidad y severidad de que un evento ocurra, Desarrollar estrategias y medidas para prevenir o mitigar sus impactos, reduciendo la vulnerabilidad y la exposición.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

5.3 Clasificación del nivel del Riesgo

Alto	Implica que la amenaza y el grado de vulnerabilidad están en su punto máximo. Se deben priorizar acciones preventivas, que viabilicen la preparación y respuesta ante cualquier emergencia.
Medio	Los valores que representan la vulnerabilidad o la amenaza son altos se deben considerar las medidas preventivas aplicables frente la amenaza.
Bajo	El riesgo es BAJO, lo cual significa que la vulnerabilidad y la amenaza están controladas. Las acciones preventivas deben mantenerse.

Tabla 6: clasificación del riesgo

5.4 Evaluación del Riesgo

Amenazas	Vulnerabilidades (Impacto)					
Calificación del evento	Insignificante (1)	Marginal (2)	Grave (5)	Crítico (10)	Desastroso (20)	Catastrófico (50)
Improbable (1)	1 (0,40%)	2 (0,80%)	5 (2,00%)	10 (4,00%)	20 (8,00%)	50 (20,00%)
Ocasional (2)	2 (0,80%)	4 (1,60%)	10 (4,00%)	20 (8,00%)	40 (16,00%)	100 (40,00%)
Posible (3)	3 (1,20%)	6 (2,40%)	15 (6,00%)	30 (12,00%)	60 (24,00%)	[illegible]
Probable (4)	4 (1,60%)	8 (3,20%)	20 (8,00%)	40 (16,00%)	80 (32,00%)	[illegible]
Inminente / Frecuente (5)	5 (2,00%)	10 (4,00%)	25 (10,00%)	50 (20,00%)	100 (40,00%)	[illegible]

Tabla 7: Escala de evaluación del riesgo

6. Plan de Gestión de Riesgos

6.1 Concepto

Define medidas de mitigación, como preventivas (capacitaciones, señalización, protocolos, factores mayorados de seguridad en los diseños, obras de drenaje), correctivas (protocolos de emergencia, seguros, refuerzos estructurales, ajustes a diseños), compensatorias (planes de contingencia, capacitación continua); asigna responsables y recursos para cada medida.

7. Responsabilidades

Establece a cargo de quien estará la responsabilidad de implementar las medidas preventivas o el Plan de Gestión del Riesgo.

8. Monitoreo, seguimiento y actualización

Establece indicadores de riesgo, revisa periódicamente el plan según avances de obra y cambios en el entorno, documenta incidentes y lecciones aprendidas, implementa sistemas de seguimiento (checklist, auditorías, evaluaciones de cumplimiento), ajusta el Plan de gestión de Riesgos según avance de obra.

9. Conclusiones

Se hace síntesis de los hallazgos: resumen del diagnóstico realizado, amenazas identificadas, vulnerabilidades detectadas y escenarios de riesgo más relevantes. Se destacan los riesgos críticos que requieren de atención prioritaria.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Se realiza justificación de medidas propuestas: Se explica por qué las estrategias de mitigación, prevención, preparación y respuesta son adecuadas frente al contexto analizado. Se valida la coherencia entre los riesgos identificados y las acciones planteadas.

Se analiza la viabilidad y sostenibilidad. Se evalúa si el plan es ejecutable con los recursos disponibles (humanos, técnicos, financieros). Se menciona la capacidad institucional para implementar y mantener las acciones en el tiempo.

Se recomienda hacer compromisos institucionales: Se deja constancia del compromiso de los actores involucrados (municipio, aliados, comunidad, etc.) para ejecutar el plan. Se puede incluir una recomendación para formalizar estos compromisos mediante convenios, actas o políticas internas.

Se puede hacer recomendaciones finales: Se sugieren acciones complementarias como monitoreo continuo, actualización periódica del plan, fortalecimiento de capacidades locales, etc. Se puede proponer la integración del plan con otros instrumentos de planificación territorial o ambiental.

Resumen de la Metodología

1. Definición del Alcance
2. Información preliminar
3. Identificación de Puntos críticos
4. Análisis de vulnerabilidades
5. Análisis y Evaluación de Riesgos
6. Plan de Gestión de Riesgos
7. Responsabilidades
8. Monitoreo, seguimiento y actualización
9. Conclusiones

Tabla 8: Resumen de la metodología

4. Definición del alcance

4.1 Tipo de Proyecto

Construcción y adecuación del interceptor Ocoa Sur Tramo 1 en el municipio de Villavicencio, Meta.

4.2 Localización General del Proyecto

Villavicencio es una ciudad colombiana, capital del departamento del Meta, y es el centro comercial más importante de los Llanos Orientales. Está situada en el Piedemonte de la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta, en la margen izquierda del río Guatiquía y cuenta con una población urbana de 513.589 aprox. habitantes en 2023. Presenta un clima cálido y muy húmedo, con temperaturas medias de 27 °C.

Como capital departamental, alberga las sedes de la Gobernación del meta, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio, la Electrificadora Del Meta, la sucursal del Banco de la República de Colombia y la Cámara De Comercio De Villavicencio. La ciudad se encuentra

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

a 109 Km aprox, al sur de la capital de Colombia, Bogotá, a dos horas y media por la Autopista al Llano. De momento la consolidación de Villavicencio como Área Metropolitana está descartada, de ser posible la integraría los municipios de Acacías, Cumaral y Restrepo.

- **País:** Colombia
- **Departamento:** Meta
- **Región:** Orinoquía
- **Código DANE:** 50001
- **Ubicación:** N 04°08´31.2´´; O 73°37´35,9´´
- **Altitud:** 467 msnm
- **Distancia:** 86 km aprox a Bogotá
- **Superficie:** 1.338 km²
- **Temperatura media:** 27 °C
- **Fundación:** 6 de abril de 1840
- **Población:** 578.299 habitantes (DANE)
- **Densidad:** 500,11 hab/km²
- **Gentilicio:** Villavicense
- **Alcalde:** Alexander Baquero Sanabria

Vías de Comunicación
- Aéreas: Aeropuerto Vanguardia

- Terrestres:
Vias Primarias: Bogotá, Acacias, Restrepo, Puerto López.
Vias Secundarias Intermunicipales.
Vias Terciarias Interveredales.

- Fluviales:
Ninguna

Reseña Ecológica

El Municipio de Villavicencio reúne gran parte de la mega diversidad biológica que posee el país en varias de sus zonas; allí crecen especies endémicas y de gran diversidad que constituyen reservas biológicas de extraordinaria belleza.

Ubicación

Sus límites municipales son:

- Norte: Con los municipos de Restrepo y El Calvario.
- Oriente: con Puerto López.
- Sur: con Acacías y San Carlos de Guaroa.
- Occidente: con Acacías y el Departamento de Cundinamarca.

En el territorio municipal se distinguen dos regiones: una montañosa ubicada al Occidente y Noroccidente, formada por el costado de la Cordillera Oriental; la otra, una planicie inclinada ligeramente hacia el Oriente y el Nororiente, corresponde al piedemonte de la cordillera, bordeada al Norte por el río Guayuriba. En la parte central de esta planicie cruzan los ríos Ocoa y Negro, además de numerosos caños y afluentes menores.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Hidrografía

Entre los principales afluentes que riegan la jurisdicción de Villavicencio están los ríos: Guatiquía, Guayuriba, Negro y Ocoa, así mismo los caños Parrado, Gramalote, Maizaro, Quebrada La Unión, Grande, Quebrada Honda, Buque, Rosa blanca y La cuerera, entre otros.
Reseña Económica

Villavicencio sigue siendo el principal centro de acopio y abastecimiento de los municipios de Villavicencio y de los municipios de la Orinoquia colombiana, a la vez que es el principal municipio productor de petróleo y gas, sin embargo, la mayoría de los empleos se están generando en la actividad comercial y de servicios, es decir, en sectores no productivos y no transables.

Las grandes construcciones, las vías, los recursos financieros y el turismo giran en torno a esta dinámica mercantil y a los servicios. Esto hace que el aporte del Departamento al PIB Nacional sea menor al 2%, cifra que se mantiene en los últimos 49 años, es decir, desde 1960 a 2009.



Ilustración 1: Localización del municipio de Villavicencio

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

4.3 Localización específica del Proyecto

El proyecto se encuentra localizado en la ciudad de Villavicencio, vía a Acacias entrando por el colegio Nuestra Señora de la Paz, aproximadamente en las coordenadas 4°05´45"N 73°39´36"W



Ilustración 2: Localización específica del proyecto

4.4 Fases del Proyecto

Diseño: Es el objetivo principal del Estudio, para realizar los estudios y diseños para la construcción y adecuación de Interceptor Ocoa Sur Tramo 1 del municipio de Villavicencio, Meta.

5. Información preliminar

5.1 Análisis del entorno físico (terreno, clima, infraestructuras cercanas)

Características del suelo

De acuerdo con estudio de suelos de consultor se identifica:

Tipos de suelo

- CL, CH: Arcillas de baja y alta plasticidad. Suelos cohesivos, sensibles a la humedad, baja permeabilidad.
- SC, SM: Arenas con arcilla o limo. Suelos granulares con cohesión moderada.
- ML, MH: Limos de baja y alta plasticidad. Suelos con baja resistencia al corte, alta compresibilidad.

Estos tipos indican una estratigrafía variable, con alternancia entre suelos cohesivos y granulares, lo cual afecta la respuesta sísmica y la capacidad portante.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Profundidad del Nivel Freático
El nivel freático está presente en varios apiques, lo que implica:

- Posible reducción de resistencia efectiva.
- Riesgo de licuación en suelos granulares saturados (SM, SC).
- Necesidad de considerar presiones hidrostáticas en diseño de cimentaciones.

Valores de penetración estándar (SPT)

El gráfico lateral parece representar valores de SPT (N), útiles para:

- Estimar capacidad portante.
- Evaluar densidad relativa o consistencia.
- Identificar zonas blandas o potencialmente licuables

Estratigrafía y clasificación

Estrato	Descripción	Clasificación AASHTO	Observaciones
I	Material vegetal	-	Capa superficial, no estructural
II	Material granular con finos, color café	A-2-4	Suelo competente, buen drenaje
III	Material limoso, color café	A-4	Baja resistencia, alta compresibilidad
IV	Material limoso con arena, color café	A-6	Cohesivo, plástico, sensible a humedad

Tabla 9: Estratigrafía y clasificación del suelo

Datos de penetración

- N=15 a 0 m → Suelo superficial blando
- N=40 a 1.5 m → Mejora significativa
- N=45 a 4.5 m → Suelo competente para cimentación

Propiedades físicas

- Nivel freático (S.W.L): 1.65 m → Saturación en estratos superficiales
- Límite líquido (LL): 44.5% → Alta plasticidad, riesgo de expansión
- Humedad natural: 44.5% → Saturación significativa
- Densidad húmeda/seca: $\gamma H = 1.65\ g/cm^3$, $\gamma S = 1.14\ g/cm^3$ → Suelo poco denso

5.2 Antecedentes de obras similares

Villavicencio ha desarrollado varios proyectos de interceptores y redes de alcantarillado sanitario en respuesta a su crecimiento urbano acelerado, especialmente en zonas de expansión y asentamientos informales. Estos antecedentes ofrecen lecciones clave para el diseño y ejecución de nuevas obras.

Antecedentes relevantes de interceptores y redes sanitarias en Villavicencio

Zona de Expansión Urbana (2021)

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

- Contexto: La administración municipal declaró más de 2.200 hectáreas como zona de expansión debido al déficit habitacional.
- Problema identificado: Insuficiencia en redes de acueducto y alcantarillado, con más de 64 prestadores de servicios públicos operando sin integración.
- Estrategia propuesta: Formulación de una política urbana para garantizar la expansión ordenada de redes sanitarias, con participación institucional, privada y comunitaria.

Fuente: Formulación de la estrategia de expansión urbana para garantizar el acceso y aseguramiento de los servicios de acueducto y alcantarillado en la Ciudad de Villavicencio. Trabajo de grado presentado para optar al título de Magíster en Gestión Urbana. GONZALO EDUARDO HERNÁNDEZ PARDO Ingeniero Ambiental y Sanitario. UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y ARTES MAESTRÍA EN GESTIÓN URBANA.

Impacto ambiental por vertimientos en asentamientos ilegales (2020–2021)

- Estudio técnico: Evaluación de 15 puntos de muestreo en aglomerados urbanos sin saneamiento básico.
- Hallazgos: Vertimientos de aguas servidas con altos niveles de DQO (600–1500 mg/L), turbiedad y color, afectando suelos y cuerpos de agua.
- Implicación: Necesidad urgente de interceptores y redes sanitarias en zonas no formalizadas para mitigar contaminación y riesgos de salud pública.

Fuente: Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia. Álvaro Javier Moyano Salcedo, Fabián Dario Cuadros Segura, Adrián Mateo Pabón Laverde, Jassbleydi Valentina Trujillo Arias. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Intervenciones de la Secretaría de Infraestructura

- Acciones recientes: Obras civiles municipales incluyen mantenimiento de redes, repracheo de vías y gestión de maquinaria para proyectos de saneamiento.
- Limitaciones: En muchos casos, las obras se enfocan en mantenimiento más que en expansión o construcción de interceptores nuevos.

Fuente: Página Oficial de la Secretaría de Infraestructura Municipal.

5.3 Antecedentes del Proyecto

La Consultoría se hace bajo la necesidad de intervenir el interceptor Ocoa Sur Tramo 1 de manera prioritaria ante la ruptura de tuberías existentes y afectación al medio ambiente y comunidad de la zona de influencia como el colegio Nuestra señora de Fátima.

5.4 Normativas locales y estudios geotécnicos

Se revisó y analizó el Estudio de suelos y Geotécnico del Consultor.

Normativas locales aplicables en Villavicencio.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Ley 142 de 1994: Régimen de servicios públicos domiciliarios, regula acueducto y alcantarillado.
- Decreto 1369 de 2020: Marco de inspección y vigilancia para prestadores de servicios públicos.
- Resoluciones CRA y MVCT: Definen criterios técnicos y tarifarios para sistemas de alcantarillado.
- RAS 2017 (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico): Norma técnica nacional para diseño de interceptores, colectores y plantas de tratamiento.
- NSR-10 (Norma Sismo Resistente de Colombia): Aplica en el diseño estructural de cámaras, pozos y obras complementarias.
- Normatividad municipal (Alcaldía de Villavicencio): Incluye lineamientos de planeación urbana, servidumbres y permisos de obra.
- Gobernación del Meta y EAAV E.S.P.: Supervisan proyectos de alcantarillado sanitario y redes pluviales, como las obras recientes en el barrio La Esperanza.

Fuente: Informe de vigilancia o inspección especial, detallada o concreta se Superservicios. Normativa de la Entidad página principal municipio de Villavicencio. Página principal Gobernación del Meta, informe sobre como Avanzan obras de alcantarillado sanitario y redes pluviales en la séptima etapa del barrio La Esperanza de Villavicencio.

5.5 Recolección de información de expertos y trabajadores con experiencia

La recolección de información se hizo, por medio de la que se pudo conseguir en fuentes oficiales de la Alcaldía de Villavicencio, Meta, Gobernación del Meta, y se analizó los Estudios de suelos, geotécnico y topográfico del consultor, así como visitas de campo, hechas a las zonas de influencia del proyecto, toma de registros fotográficos.

6. Identificación de Amenazas

Basándose en la metodología de la base de datos DesInventar y en los eventos típicos registrados en el municipio de Cubarral, Meta, se tiene la siguiente línea de tiempo.

Año	Tipo de Evento	Impacto Principal
2005	Inundaciones	Afectación en barrios cercanos al río Guatiquía y caños urbanos.
2008	Remoción en masa	Deslizamientos en zonas de ladera como La Madrid y El Buque.
2011	Inundaciones severas	Temporada de lluvias prolongada; colapso de redes de alcantarillado.
2014	Vendaval	Daños en techos, árboles caídos, interrupción de energía.
2015	Sismo leve	Percepción en zona urbana; revisión preventiva de estructuras.
2017	Protestas sociales	Bloqueos viales por inconformidad con servicios públicos.
2018	Inundaciones	Afectación en caños Pendejo y Maizaro; evacuaciones temporales
2020	Emergencia sanitaria	COVID-19; restricciones de movilidad y presión sobre servicios básicos.
2021	Remoción en masa	Deslizamientos en vía a Acacías; cierre temporal.
2022	Inundaciones	Recurrentes en temporada de lluvias; afectación en zonas ribereñas.
2023	Socavación y colapso vial	Daños en infraestructura por erosión en caños urbanos.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

La línea de tiempo evidencia que Villavicencio enfrenta eventos críticos recurrentes, especialmente inundaciones, remociones en masa y vendavales, que deben ser considerados en el diseño y reposición de infraestructura sanitaria como interceptores. La metodología DesInventar permite visualizar patrones históricos y orientar medidas de prevención y adaptación.

6.1 Amenazas sísmicas

Villavicencio presenta una amenaza sísmica alta debido a la confluencia de tres fallas geológicas activas: Servitá, Guaicaramo y Algeciras, que atraviesan el piedemonte llanero y generan riesgo estructural y ambiental significativo

Contexto Geológico

Villavicencio se ubica en el piedemonte de la cordillera Oriental, una zona de transición entre el relieve montañoso y la llanura amazónica. Esta región está influenciada por la interacción de placas tectónicas y deformaciones recientes que generan actividad sísmica frecuente.

Falla de Servitá

- Segmento activo que atraviesa Villavicencio, Restrepo y Cumaral.
- Es una falla inversa con evidencias de actividad neotectónica.
- Se extiende desde Cumaral hasta Santa María (Boyacá), con ramificaciones como Guayuriba y Acacías.

Falla de Guaicaramo

- Afecta principalmente Cumaral y zonas rurales de Villavicencio.
- Tiene tres segmentos (norte, centro y sur), siendo el centro el más activo, con 44 km de extensión y actividad reciente.

Falla de Algeciras

- Cruza los municipios de Uribe y Mesetas, con influencia indirecta sobre Villavicencio.
- Asociada a eventos sísmicos de magnitud moderada a alta

Evidencia histórica de sismos

- Sismo de El Calvario (2008): magnitud 5.9, con afectación en Villavicencio y municipios cercanos.
- Eventos de 1917 y 1923: movimientos telúricos significativos registrados en el Meta, con daños estructurales.
- El Servicio Geológico Colombiano clasifica a Villavicencio como zona de amenaza sísmica alta, según el modelo NSR-10

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



6.2 Amenazas por inundaciones

En el contexto de Villavicencio, las inundaciones representan una amenaza recurrente que afecta tanto la infraestructura sanitaria como a la comunidad. Se identificaron las siguientes amenazas.

- Rebose de pozos de inspección y cámaras por caudales superiores a la capacidad hidráulica.
- Socavación de taludes y estructuras por escorrentía intensa
- Infiltración de aguas lluvias en tuberías sanitarias → sobrecarga hidráulica.
- Arrastre de sedimentos y sólidos hacia el interceptor → obstrucciones y pérdida de capacidad.
- Contaminación de cuerpos de agua por vertimientos accidentales durante inundaciones.
- Afectación comunitaria: viviendas, colegios y vías cercanas expuestas a aguas contaminadas.

Zonas críticas identificadas

-Colegio Nuestra Señora de la Paz
-Fincas de la zona de influencia.
-Barrios Samán de la Rivera, Porfía.

6.3 Amenazas por Tormentas eléctricas

Las tormentas eléctricas en Villavicencio son frecuentes debido a su clima cálido-húmedo y alta pluviosidad. En el escenario descrito (excavaciones abiertas, presencia de árboles y vegetación, ruptura de tuberías con aguas residuales expuestas), esta amenaza adquiere relevancia por los riesgos operacionales, ambientales y sociales.

Se identificaron las siguientes amenazas:

- Descargas eléctricas directas sobre maquinaria, personal o estructuras metálicas en obra.
- Caída de ramas y árboles por vientos asociados, afectando excavaciones y tuberías expuestas.
- Incremento de escorrentía superficial que arrastra aguas residuales hacia áreas pobladas.
- Interrupción de energía eléctrica que afecta bombeo, bypass y sistemas de control.
- Mayor exposición de aguas residuales en superficie → proliferación de vectores y olores.

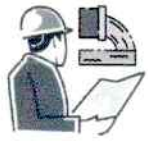
6.4 Amenazas por Vientos fuertes

En Villavicencio, los vientos fuertes son frecuentes durante tormentas y temporadas de transición climática. En el escenario descrito (excavaciones abiertas, presencia de árboles y vegetación sobre zanjas, ruptura de tuberías con aguas residuales expuestas), esta amenaza puede generar impactos estructurales, ambientales y sociales

Se identificaron las siguientes amenazas:

- Caída de ramas y árboles sobre excavaciones y tuberías expuestas.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Arrastre de materiales livianos (plásticos, cubiertas, sedimentos) hacia zanjas y caños.
- Incremento de escorrentía contaminada por obstrucción de drenajes con vegetación caída.
- Afectación a personal en obra por objetos proyectados o caída de árboles.
- Interrupción de energía eléctrica por daños en redes aéreas → afecta bombeo y bypass.

6.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos

En Villavicencio, por su ubicación en el piedemonte de la cordillera Oriental, las remociones en masa (deslizamientos, volcamientos, socavaciones) son frecuentes en zonas de ladera y áreas con suelos saturados. En el proyecto descrito, las condiciones de excavaciones abiertas y tuberías rotas aumentan el riesgo de:

- Deslizamiento de taludes por saturación de suelos durante lluvias intensas.
- Volcamiento de árboles y vegetación sobre zanjas y tuberías expuestas.
- Colapso de excavaciones por falta de entibado o soporte adecuado.
- Arrastre de aguas residuales contaminadas hacia caños y áreas pobladas.
- Afectación a personal y maquinaria en obra por desprendimientos súbitos.

6.6 Amenazas Hidráulicas

Amenaza por subdimensionamiento del interceptor

Rebosamientos en caudales pico: Los rebosamientos en caudales pico se refieren al desbordamiento de agua que ocurre en el momento de mayor caudal (caudal pico), como puede ser durante una inundación, una tormenta o una falla de presa. Este fenómeno se analiza en la hidrología e ingeniería de drenajes para comprender su magnitud, sus causas (como la intensidad de la lluvia o el tamaño del área de drenaje) y diseñar infraestructuras para gestionarlo, con el objetivo de prevenir daños.

Causas y factores de rebosamiento

- Intensidad de la lluvia: Un pico de caudal es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia durante el tiempo de concentración de una cuenca.
- Área de drenaje: En cuencas grandes, la lluvia puede variar espacialmente, afectando la intensidad con la que llega al punto de estudio.
- Coeficiente de escorrentía: Representa la relación entre la precipitación que se convierte en escorrentía y la precipitación total. Es más alto en áreas impermeables (asfalto, edificios) y más bajo en áreas permeables (parques).
- Tiempo de concentración: Es el tiempo que tarda el agua de la zona más lejana de la cuenca en llegar al punto de análisis.

Amenaza por Sedimentación interna

La sedimentación interna en una red de distribución de interceptores de aguas residuales es la acumulación de sólidos pesados en el fondo de las tuberías, causada por la disminución de la velocidad del flujo de agua, que permite que los materiales suspendidos se depositen por la acción de la gravedad. Este proceso se acelera en las partes más lentas de la red, como en los tramos horizontales largos, las zonas de baja pendiente y las obstrucciones, formando capas

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

de lodo que pueden llegar a obstruir completamente las tuberías. Se debe analizar pendientes insuficientes o velocidades bajas

Causas de sedimentación interna

- Disminución de la velocidad del flujo: Cuando el agua residual se mueve demasiado lento, no tiene la fuerza necesaria para mantener los sólidos en suspensión, y estos se asientan en el fondo. Esto ocurre en:
  -Tramos horizontales largos: La fricción con la tubería reduce la velocidad del agua.
  -Zonas de baja pendiente: La inclinación insuficiente de la tubería hace que el agua fluya despacio.
- Obstrucciones y restricciones: Los objetos que bloquean el flujo, como residuos sólidos o depósitos de grasa, provocan una reducción drástica de la velocidad, creando puntos de acumulación de sedimentos.
- Diseño de la red: Tuberías con un diseño inadecuado, como una pendiente demasiado suave, son propensas a la sedimentación.
- Densidad y tamaño de las partículas: Las partículas más grandes y densas son las primeras en sedimentarse.

Amenaza por infiltración / intrusión

La infiltración/intrusión (I/I) se refiere a la entrada de aguas limpias (de lluvia o freáticas/subterráneas) a un sistema de alcantarillado diseñado para transportar aguas residuales sanitarias. Este fenómeno aumenta significativamente los caudales que llegan a la red y reduce gravemente su eficiencia operativa.
Definiciones Clave

- Infiltración: Es el ingreso de agua subterránea (freática) a través de defectos estructurales en las tuberías, juntas, grietas, o pozos de visita dañados. Es un flujo continuo que ocurre independientemente de si está lloviendo en la superficie.
- Intrusión (Inflow): Es el ingreso de agua de lluvia directamente a la red de alcantarillado sanitario a través de conexiones superficiales directas, como rejillas en la calle conectadas erróneamente, tapas de pozos de visita inundadas, o bajantes de techos conectados ilegalmente al sistema sanitario.

Amenaza por Golpes de ariete y sobrepresiones

El golpe de ariete (o choque hidráulico) en una red de alcantarillado o interceptor es un fenómeno de sobrepresión transitoria que ocurre debido a un cambio brusco en la velocidad del fluido en movimiento. Este fenómeno se asocia principalmente con los sistemas de bombeo (tuberías a presión), ya que en las redes por gravedad el agua fluye libremente y la presión es atmosférica.

Causas Principales

- Arranque y parada repentina de bombas: Esta es la causa más frecuente, especialmente tras un fallo eléctrico, donde el flujo se detiene abruptamente y puede invertir su dirección.
- Cierre o apertura rápida de válvulas: Las válvulas de cierre rápido pueden detener la columna de agua instantáneamente, generando una onda de choque de alta presión.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

- Llenado o vaciado de tuberías: Operaciones inadecuadas durante el llenado inicial o el vaciado de secciones del sistema.
- Presencia de aire atrapado: Las bolsas de aire pueden colapsar súbitamente, causando picos de presión locales.

6.7 Amenazas Geotécnicas

Amenaza por Suelos blandos o compresibles, Nivel freático alto, licuefacción local, colapso de zanjas o del terreno

Se analizan los perfiles estratigráficos y geotécnicos del Consultor, y se observa presencia de limos y arcillas (A-4, A-6; USCS CL, CH, ML, MH), nivel freático alto (≈1.65 m), humedad natural elevada (≈44.5%), límite líquido alto (LL ≈44.5%), densidades bajas (γH ≈1.65 g/cm³; γS ≈1.14 g/cm³) y SPT bajos a moderados (N≈15 en superficie, aumentando a N≈40–45 a >1.5–4.5 m). Ese conjunto caracteriza estratos superficiales blandos/compresibles con mejora de competencia en profundidad.

Identificación de capas blandas y su localización

- Estratos limosos y arcillosos superficiales (A-4, A-6; ML, CL/CH):

Indicadores: LL alto, humedad alta, γS baja, N-SPT ≈10–20.
Localización típica: 0–1.5 m; algunos tramos con mezcla limosa-arenosa hasta ~4.5 m.

- Capas granulares con finos (A-2-4; SM/SC) cercanas al N.F.:

Indicadores: N moderado, presencia de finos; vulnerables si saturados.
Localización típica: sobre y bajo N.F. ≈1.65 m.

- Estratos más competentes en profundidad:

Indicadores: N-SPT ≥40–45 a 1.5–4.5 m; mejor soporte para cámaras/estructuras

Amenazas específicas

- Asentamiento y pérdida de pendiente hidráulica:

Causa: consolidación primaria/secundaria en A-4/A-6, ML, CL/CH.
Efecto: sedimentación, rebosamientos, pérdida de autolimpieza.

- Asentamiento diferencial y ovalización de tubería:

Causa: variabilidad estratigráfica lateral/vertical y transición granular–cohesiva.
Efecto: fisuras en juntas, infiltración/exfiltración, intrusión de raíces.

- Inestabilidad de zanja y sifonamiento:

Causa: N.F. alto, limos y arenas con finos; presiones intersticiales.
Efecto: colapsos, succión de finos, base blanda del encamado.

- Flotación de tuberías vacías:

Causa: N.F. ≈1.65 m y zanjas profundas.
Efecto: pérdida de nivel, daño en juntas y encamado.

- Vulnerabilidad sísmica local:

Causa: saturación y finos; baja Vs en limos/arcillas blandas; arenas con finos.
Efecto: amplificación, asentamiento por reconsolidación; licuefacción local si hay capas arenosas saturadas y N bajo (valor bajo de SPT).

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Amenazas Constructivas

6.8 Amenaza por Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)

Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías): Se evidencia cerca la vía Nacional Villavicencio-Acacias, la cual podría llegar a presentar afectaciones directas al proyecto.

6.9 Amenaza por Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo):

Se evidenció proximidad del proyecto a caño Pendejo y otras fuentes de agua superficiales más distantes que podrían llegar a verse afectadas o contaminadas, sino se hace una intervención en el menor tiempo posible.

6.10 Amenaza por Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable)

Se evidenció redes de servicios públicos cerca al proyecto y de empresas privadas.

6.11 Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente

Se encontró que la ruptura de tubería existente se encuentra a más o menos 2 metros de un pozo existente que podría estar afectado estructuralmente, también se observó tuberías rotas en serie.

6.12 Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas

- Inundación y sifonamiento (excavaciones abiertas con agua corriendo)
- Socavación y movimiento de masa del material acopiado
- Nivel freático alto y suelos blandos/compresibles

6.13 Amenazas por accesibilidad limitada

- Se evidencia una única vía de acceso al proyecto, que es la entrada a una finca privada.
- Se tiene cercanía a una vivienda dentro de la finca donde está el proyecto.

6.14 Amenazas Ambientales

Amenaza por Vertimientos accidentales

Se evidenció descarga directa de aguas residuales sin tratamiento hacia el terreno y cuerpos de agua.

Amenaza por Contaminación de cuerpos de agua

Se observó que podría generarse a futuro ingreso de aguas residuales al caño Pendejo y escorrentía hacia drenajes naturales, sino se hace la reposición de tubería y obras de ingeniería oportunamente.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Amenaza por Emisión de gases

Se deduce que se podría generar gases típicos de aguas residuales (H_2S, metano, amoníaco).

Amenaza por Afectación de suelos y vegetación

Se evidenció infiltración de aguas residuales en suelos blandos y saturados.

Amenazas adicionales por condiciones actuales

Se evidenció excavaciones abiertas, proximidad de los puntos críticos a colegio Nuestra Señora de la Paz, accesibilidad limitada a la zona de influencia, posible afectación por clima local (lluvias frecuentes).

6.15 Amenazas por Incendios / Explosiones

En Villavicencio, el clima cálido y húmedo, sumado a la presencia de vegetación y aguas residuales expuestas, puede generar condiciones de riesgo por:

- Acumulación de gases inflamables (metano, H_2S, amoníaco) en pozos y excavaciones abiertas.
- Contacto de gases con fuentes de ignición (herramientas eléctricas, maquinaria, rayos durante tormentas).
- Incendios en vegetación cercana que se propagan hacia las excavaciones.
- Explosiones internas en tuberías deterioradas por acumulación de presión de gases.
- Afectación a personal en obra por inhalación de gases tóxicos y riesgo de quemaduras.

6.16 Amenazas por Derrames / fugas

En el proyecto de reposición de tuberías y construcción de pozos, la amenaza por derrames y fugas se manifiesta en:

- Exfiltración de aguas residuales hacia el suelo por rupturas en tuberías.
- Infiltración de aguas lluvias en el sistema → sobrecarga hidráulica y rebose.
- Vertimientos accidentales en excavaciones abiertas → contaminación inmediata.
- Arrastre de contaminantes hacia caños y drenajes naturales durante lluvias.
- Afectación a la salud pública por exposición de aguas residuales en superficie

6.17 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor

En el proceso de construcción y adecuación del interceptor sanitario, las fallas estructurales pueden manifestarse en:

- Colapso de tuberías nuevas o existentes por mala instalación, materiales defectuosos o sobrecarga hidráulica.
- Fisuración de pozos de inspección por asentamientos diferenciales o diseño inadecuado.
- Deformación de juntas y conexiones → pérdida de estanqueidad y fugas.
- Socavación de cimentaciones por infiltración de aguas lluvias y residuales.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Inestabilidad de excavaciones por falta de entibado o soporte adecuado.
- Impacto en la operación del sistema → rebose, contaminación y afectación comunitaria.

6.18 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos

En el proyecto, las fallas de maquinaria y equipos pueden generar riesgos críticos:

- Paradas inesperadas de retroexcavadoras, bombas o compactadores → retrasos en obra y acumulación de aguas residuales.
- Fallas en bombas de bypass sanitario → rebose de aguas residuales hacia la superficie.
- Rotura de herramientas eléctricas → riesgo de electrocución en ambientes húmedos.
- Mal funcionamiento de equipos de ventilación → acumulación de gases tóxicos en excavaciones.
- Caída de cargas por grúas o montacargas defectuosos → afectación a personal y estructuras.

6.19 Amenazas por Accidentes de Transito

En el marco del proyecto, la interacción entre obras de excavación y la vía nacional genera riesgos de:

- Colisiones vehiculares por ingreso/salida de maquinaria pesada a la vía.
- Atropellamientos de trabajadores o peatones en accesos sin señalización adecuada.
- Congestión vial por reducción de carriles o maniobras de maquinaria.
- Derrames de aguas residuales sobre la vía → riesgo de deslizamiento vehicular.
- Caída de materiales o ramas desde excavaciones hacia la vía nacional.

6.20 Amenazas por Accidentes de Trabajo

En el escenario descrito, los accidentes laborales pueden presentarse por:

- Caídas a excavaciones abiertas sin cerramiento ni señalización.
- Golpes o atrapamientos por caída de árboles, ramas o material suelto.
- Exposición a aguas residuales → riesgo de infecciones, intoxicaciones o contacto con gases tóxicos (H_2S, metano).
- Electrocución por uso de herramientas eléctricas en ambientes húmedos.
- Accidentes con maquinaria pesada (retroexcavadoras, compactadores) en accesos estrechos.
- Resbalones y tropiezos por suelos saturados y escorrentía contaminada.

6.21 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales

En el marco del proyecto, las protestas sociales pueden generar riesgos directos e indirectos:

- Bloqueo de accesos a la obra → retrasos en construcción y operación.
- Interrupción del suministro de materiales y maquinaria por cierre de vías.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Ingreso no autorizado de manifestantes a la zona de excavaciones → riesgo de accidentes.
- Daños a la infraestructura en construcción (tuberías, pozos, maquinaria).
- Exposición de aguas residuales → mayor impacto ambiental y social si se interrumpe el manejo técnico.
- Conflictos comunitarios por percepción de afectación o falta de beneficios del proyecto.

6.22 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia

En el entorno del proyecto, la amenaza se manifiesta en:

- Hurto de materiales de construcción (tuberías, herramientas, maquinaria menor).
- Asaltos a trabajadores en horarios nocturnos o en accesos poco vigilados.
- Vandalismo en infraestructura en construcción → daños en pozos, tuberías y excavaciones.
- Ingreso no autorizado de personas a la obra → riesgo de accidentes y contaminación.
- Afectación comunitaria por percepción de inseguridad en zonas cercanas.

6.23 Amenazas por Atentados Terroristas

En el contexto del proyecto, los atentados terroristas pueden materializarse en:

- Sabotaje a la infraestructura sanitaria en construcción (daños intencionales a tuberías, pozos, maquinaria).
- Explosivos o artefactos incendiarios en zonas de obra o accesos.
- Ataques a personal y maquinaria para interrumpir la ejecución del proyecto.
- Contaminación intencional de aguas residuales para generar crisis ambiental y social.
- Bloqueo de vías nacionales con fines de presión política o social

Clasificación de Amenazas y Probabilidad de ocurrencia.

Clase de amenaza	N°	Amenaza	Origen	Calificación la amenaza			
				Construcción	Valoración	Operación y Mantenimiento	Valoración
Naturales	1	Movimientos sísmicos	Externo	Probable	3	Posible	2
	2	Inundaciones / socavaciones / subpresiones	Externo	Probable	3	Posible	2
	3	Tormentas eléctricas	Externo	Probable	3	Posible	2
	4	Vientos fuertes	Externo	Posible	2	Posible	2
	5	Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos	Externo	Probable	3	Posible	2
Hidráulicas	6	Subdimensionamiento del interceptor	Externo	Alta	4	Alta	4
		Sedimentación interna	Externo	Probable	3	Alta	4
		Infiltración / Intrusión	Externo	Probable	3	Alta	4
		Golpes de ariete y sobrepresiones	Interno	Posible	2	Alta	4
Geotécnicas	7	Suelos blandos o compresibles	Interno	Alta	4	Probable	3

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



		Nivel freático alto y sifonamiento	Interno	Inminente	5	Probable	3
		Licuefacción local o licuación	Interno	Probable	3	Probable	3
		Colapso de zanjas o del terreno, asentamientos diferenciales	Interno	Alta	4	Posible	2
Constructivas	8	Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)	Interno	Alta	4	Probable	3
	9	Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)	Externo	Alta	4	Probable	3
	10	Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable):	Externo	Alta	4	Probable	3
	11	Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente		Probable	3	Alta	4
	12	Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas		Inminente	5	Posible	2
	13	Amenazas por accesibilidad limitada		Probable	3	Probable	3
Ambientales	14	Vertimientos accidentales		Probable	3	Probable	3
		Contaminación de cuerpos de aguas		Alta	4	Alta	4
		Emisión de gases		Probable	3	Probable	3
		Afectación de suelos y vegetación		Probable	3	Probable	3
		Amenazas adicionales por condiciones actuales		Probable	3	Posible	2
Sociales - Tecnológicas	15	Incendios / Explosiones		Posible	2	Posible	2
	16	Derrames / fugas		Probable	3	Probable	3
	17	Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor		Probable	3	Posible	2
	18	Fallas de maquinarias y equipos		Probable	3	Probable	3
	19	Accidentes de Transito		Probable	3	Posible	2
	20	Accidentes de Trabajo		Probable	3	Probable	3
	21	Revueltas / Asonadas / protestas sociales		Probable	3	Posible	2
	22	Hurtos / Asaltos / Delincuencia		Probable	3	Posible	2
	23	Atentados Terroristas	Externo	Posible	2	Posible	2

Tabla 10: Probabilidad de ocurrencia de las amenazas

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Calificación del evento	Frecuencia	Intervalo
Improbable	Muy baja	0-1
Posible	Baja	1.1-2
Probable	Media	2.1-3
Alta	Alta	3.1-4
Inminente / Frecuente	Muy alta	4.1-5

Tabla 11:Escala de calificación amenazas

7. Análisis de vulnerabilidades

7.1 Amenazas sismicas

Implicaciones para infraestructura sanitaria:

- Riesgo de colapso estructural en pozos de inspección, cámaras y tuberías enterradas.
- Necesidad de diseño sismo resistente en reposiciones de tubería y estructuras nuevas.
- Evaluación geotécnica obligatoria para determinar comportamiento sísmico del suelo (Vs30, N-SPT, licuación).
- Planes de emergencia y simulacros comunitarios recomendados por CLOPAD y expertos locales

7.2 Amenazas por inundaciones

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Infraestructura deteriorada: tuberías fisuradas, pozos colapsados, juntas abiertas
- Suelos blandos y nivel freático alto: facilitan infiltración y socavación.
- Capacidad hidráulica insuficiente: interceptor no diseñado para caudales extremos.
- Ubicación en zonas bajas: cercanía a caños y drenajes naturales.
- Falta de mantenimiento preventivo: acumulación de sedimentos y obstrucciones.
- Alta exposición social: comunidades cercanas a zonas de riesgo sin cerramiento adecuado.

7.3 Amenazas por Tormentas eléctricas

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas sin cerramiento ni protección contra lluvias.
- Presencia de árboles altos y vegetación sobre las zanjas → riesgo de caída por rayos o vientos.
- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → contaminación inmediata en caso de arrastre.
- Personal en campo sin protocolos claros de seguridad eléctrica.
- Dependencia de energía para bombeo y operación de bypass.
- Cercanía de viviendas y colegio → alta sensibilidad social.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



7.4 Amenazas por Vientos fuertes

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas sin protección ni cubiertas.
- Presencia de árboles altos y vegetación sobre zanjas → riesgo de caída por vientos.
- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → contaminación inmediata si se dispersan.
- Falta de cerramiento perimetral adecuado → ingreso de objetos arrastrados por viento.
- Dependencia de energía para operación de bombeo y bypass.
- Cercanía de viviendas y colegio → alta exposición social.

7.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Suelos blandos y saturados con nivel freático alto.
- Excavaciones abiertas sin entibado ni drenaje.
- Presencia de árboles y vegetación sobre zanjas → riesgo de volcamiento
- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → contaminación inmediata en caso de arrastre.
- Alta pluviosidad en Villavicencio → lluvias frecuentes que incrementan la saturación.
- Cercanía de viviendas y colegio → exposición social directa.

Daño o perjuicio que se prevé que ocurrirá como resultado de ese peligro y la debilidad de quien lo sufre.

7.6 Amenazas Hidráulicas

Amenaza por Subdimensionamiento del interceptor

El subdimensionamiento del interceptor en una red de alcantarillado genera una serie de vulnerabilidades y consecuencias graves, principalmente porque el sistema no puede manejar adecuadamente el volumen y caudal de aguas residuales para el que fue diseñado.

Vulnerabilidades y Consecuencias Hidráulicas

- Inundaciones y desbordamientos: La consecuencia más inmediata es que, durante períodos de alto flujo (especialmente en sistemas combinados o con infiltración de agua de lluvia), el interceptor no tiene capacidad suficiente, provocando el desbordamiento de aguas residuales en puntos bajos, calles, e incluso dentro de propiedades y edificaciones.
- Reducción de la capacidad del sistema: El flujo se ve restringido, afectando a toda la red aguas arriba del punto subdimensionado y disminuyendo la eficiencia general del transporte de aguas residuales.
- Pérdida de la capacidad autolimpiante: Una velocidad de flujo inadecuada debido al subdimensionamiento facilita la sedimentación de sólidos, grasas y otros residuos, lo que con el tiempo genera obstrucciones y bloqueos más severos.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Incremento de la presión y fugas: El aumento de los niveles de agua y la presión dentro de las tuberías pueden forzar las juntas, causando fugas y daños estructurales en la red.

Vulnerabilidades y Consecuencias Sanitarias y Ambientales

- Riesgos para la salud pública: El desbordamiento de aguas residuales sin tratar expone a la población a agentes patógenos, bacterias y virus causantes de enfermedades como cólera, disentería y fiebre tifoidea.
- Contaminación de fuentes de agua: Las descargas no controladas contaminan ríos, lagos y aguas subterráneas, poniendo en riesgo la biodiversidad y las fuentes de agua potable para consumo humano y animal.
- Malos olores y deterioro de la calidad del aire: La acumulación de aguas residuales estancadas y la septicidad resultante generan gases nocivos, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), causando malos olores y afectando la calidad del aire local.
- Impacto en los ecosistemas: La descarga de contaminantes orgánicos e inorgánicos en cuerpos de agua receptores puede causar eutrofización y crear "zonas muertas" donde la vida acuática no puede sobrevivir por falta de oxígeno.

Consecuencias Operativas y Económicas

- Altos costos de mantenimiento: La necesidad de limpiezas y reparaciones constantes, así como la gestión de emergencias por desbordamientos, incrementa significativamente los costos operativos del sistema de saneamiento.
- Daños a la infraestructura: El deterioro acelerado de las tuberías debido a la corrosión y el desgaste requiere reemplazos prematuros de equipos e infraestructura.
- Ineficiencia en el tratamiento: Las fluctuaciones extremas de caudal (ya sea por flujo insuficiente o por desbordamientos) dificultan la operación eficiente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que no reciben un flujo constante y manejable.
- Incumplimiento normativo: Un sistema subdimensionado frecuentemente incumple las normativas ambientales y de salud pública, lo que puede acarrear sanciones legales y multas para las entidades operadoras.

Amenaza por Sedimentación interna

Las vulnerabilidades por la sedimentación interna en una red de alcantarillado o interceptor son significativas y afectan negativamente la eficiencia operativa, la salud pública, el medio ambiente y la integridad de la infraestructura. Este fenómeno ocurre cuando los sólidos se depositan en el fondo de las tuberías debido a velocidades de flujo insuficientes. Pueden tener las siguientes consecuencias:

- Obstrucción total o parcial de la red: La acumulación de lodo puede llegar a tapar completamente las tuberías, impidiendo el flujo de aguas residuales.
- Reducción de la capacidad de la red: Incluso antes de la obstrucción total, la acumulación de sedimentos reduce el diámetro efectivo de la tubería, disminuyendo su capacidad de transporte.
- Malos olores y problemas de salud: La materia orgánica en descomposición dentro de las tuberías puede generar gases malolientes y condiciones insalubres.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Daños a las estructuras aguas abajo: La sedimentación puede afectar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o pozos de inspección, si se acumula material en los sedimentadores primarios y secundarios.

Consecuencias Operativas y Funcionales

- Reducción de la capacidad hidráulica: La acumulación de sedimentos reduce el área transversal disponible para el flujo de aguas residuales. Esto disminuye la capacidad de transporte del interceptor y puede llevar a un subdimensionamiento funcional del sistema, incluso si el diseño original era adecuado.
- Obstrucciones y bloqueos: Los depósitos pueden crecer hasta formar bloqueos parciales o completos, impidiendo el flujo normal del agua y causando represamientos aguas arriba.
- Aumento de los costos de mantenimiento: La necesidad de limpiezas periódicas, programadas o de emergencia (mediante equipos de succión, chorro a presión o anfibios multipropósito), incrementa significativamente los costos operativos y de mantenimiento de la red.
- Ineficiencia en el tratamiento: Los sedimentos pueden llegar a las plantas de tratamiento de aguas residuales de forma intermitente, afectando la eficiencia de los procesos de tratamiento primario y secundario al generar variaciones bruscas en la carga de sólidos.

Consecuencias Sanitarias y Ambientales

- Generación de condiciones sépticas y malos olores: La materia orgánica atrapada en los sedimentos se descompone en ausencia de oxígeno (condiciones anaeróbicas), generando gases nocivos y malolientes como el sulfuro de hidrógeno (H_2S).
- Riesgos para la salud pública (desbordamientos): Los bloqueos y la reducción de capacidad pueden provocar el desbordamiento de aguas residuales crudas en calles, propiedades y cuerpos de agua, exponiendo a la población a agentes patógenos, bacterias y virus causantes de enfermedades (cólera, disentería, etc.).
- Contaminación ambiental: Los desbordamientos contaminan ríos, lagos, mares y aguas subterráneas, afectando los ecosistemas acuáticos y poniendo en riesgo las fuentes de agua potable.

Consecuencias en la Infraestructura

- Corrosión de la infraestructura: El sulfuro de hidrógeno (H_2S) generado por la descomposición anaeróbica es altamente corrosivo. Se convierte en ácido sulfúrico en la atmósfera de la tubería, dañando las paredes del interceptor y las estructuras de concreto o metálicas (cámaras de inspección, tapas, etc.), reduciendo su vida útil.
- Aceleración del deterioro de la tubería: La presencia constante de sólidos abrasivos en el fondo de la tubería, moviéndose lentamente, puede causar desgaste por abrasión en las paredes internas.

Amenaza por Infiltración / Intrusión

La I/I genera una serie de vulnerabilidades negativas para todo el sistema de saneamiento:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Sobrecarga del sistema (Subdimensionamiento funcional): El volumen adicional de agua "limpia" reduce la capacidad disponible para las aguas residuales sanitarias. Un interceptor que estaba correctamente dimensionado para aguas sanitarias puede quedar funcionalmente subdimensionado durante eventos de lluvia.
- Desbordamientos y derrames (SSO): La consecuencia más grave es el desbordamiento de la red (Sanitary Sewer Overflows) durante o después de las lluvias, resultando en la descarga de aguas residuales crudas en calles, sótanos de casas y cuerpos de agua (ríos, lagos, mares).
- Ineficiencia en las Plantas de Tratamiento (PTAR): Las PTAR se ven obligadas a procesar grandes volúmenes de agua diluida, lo que reduce su eficiencia. El caudal pico puede exceder la capacidad de diseño de la planta, resultando en que parte del agua residual pase sin el tratamiento completo.
- Costos Operativos Elevados: Se incurre en mayores costos energéticos y de mantenimiento para bombear y tratar volúmenes de agua que no deberían estar en el sistema.
- Corrosión y Deterioro: Los ciclos repetidos de inundación y los cambios en las condiciones hidráulicas pueden acelerar el deterioro de las tuberías y las estructuras del sistema.
- Sedimentación (en periodos secos): Durante los periodos secos, si el sistema ha sido sobredimensionado para manejar picos de I/I, la velocidad del flujo puede ser muy baja, causando sedimentación interna de sólidos.

Amenaza por Golpes de ariete y sobrepresiones

Las ondas de presión generadas por el golpe de ariete viajan a gran velocidad a través del fluido y pueden alcanzar presiones varias veces superiores a la presión de operación normal, lo que genera las siguientes vulnerabilidades:

- Roturas de tuberías: La sobrepresión puede superar la resistencia de las paredes de las tuberías, uniones y accesorios, causando fugas o roturas catastróficas.
- Daños en equipos electromecánicos: Válvulas, bombas, juntas de expansión e instrumentación pueden sufrir daños significativos por el impacto repetido de las ondas de choque.
- Desprendimiento de accesorios: Las uniones más frágiles, como las juntas de estanqueidad, pueden desalinearse o desprenderse.
- Vibraciones y ruidos: El fenómeno suele ir acompañado de ruidos fuertes (similares a martillazos) y vibraciones de las tuberías, lo que puede dañar los soportes y la estructura donde se encuentran empotradas.
- Cavitación y subpresiones: Tras el pico de alta presión, se produce una fase de subpresión que puede generar cavitación (formación de burbujas de vapor que luego colapsan violentamente), dañando aún más las paredes de la tubería y los componentes.

7.7 Amenazas Geotécnicas

Amenaza por Suelos blandos o compresibles, Nivel freático alto, licuefacción local, colapso de zanjas o del terreno

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades por tramo y elemento:

- Tubería a poca profundidad sobre ML/CL/CH con N≈15:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Vulnerabilidad: asentamiento, pérdida de pendiente, ovalización.

- Cámaras/pozos sobre A-4/A-6 con LL alto:

Vulnerabilidad: asentamiento diferencial, fisuración de obra civil.

- Cruces con N.F. alto:

Vulnerabilidad: flotación de tuberías y sifonamiento del encamado, colapso de zanja, incremento de presiones intersticiales y pérdida de capacidad efectiva.

- Transiciones estratigráficas (granular - cohesivo):

Vulnerabilidad: escalones de rigidez; concentraciones de deformación.

- Colapso de zanjas/terreno: Por suelos blandos y N.F. alto.
- Licuéfacción local: En arenas con finos (SM/SC) saturadas, con SPT bajos o moderados y N.F. cerca de la zanja.

Amenazas Constructivas

7.8 Amenaza por Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

Restricciones de tránsito y ventanas de intervención; vibraciones y cargas dinámicas sobre zanjas; necesidad de plan de manejo de transito.

7.9 Amenaza por Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

Socavación de bordes por flujo superficial; transporte de sedimentos y contaminantes; infiltración al caño Pendejo u otras fuentes hídricas.

7.10 Amenaza por Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable)

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

Roturas accidentales, interrupciones de servicio, sobrecostos y riesgos al personal.

7.11 Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Pérdida de verticalidad, fisuración de anillos, socavación de base, colapso parcial al intervenir.
- Continuidad hidráulica interrumpida, erosión interna, lavado de encamado, entrada de finos y raíces

7.12 Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Gradientes hidráulicos que movilizan finos, pérdida de soporte, deformación de zanja.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

- Colapso de bordes, deslizamiento hacia la zanja, impacto a trabajadores y tuberías.
- Colapso de zanja, flotación de tubería vacía, asentamientos diferenciales

7.13 Amenazas por accesibilidad limitada

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Se podría presentar congestión de equipos, retrasos de suministro, limitación para evacuaciones y emergencias.
- Podría haber exposición a olores y gases (H_2S, metano), ruido, polvo, riesgos de tránsito y caída a zanjas.

7.14 Amenazas Ambientales

Amenaza por Vertimientos accidentales

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Contaminación de suelos por materia orgánica y patógenos.
- Riesgo sanitario para población cercana (colegio, viviendas).
- Incremento de vectores (mosquitos, roedores).
- Condiciones actuales: El flujo superficial ya está ocurriendo, lo que agrava la afectación ambiental inmediata.

Amenaza por Contaminación de cuerpos de agua

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Alteración de calidad de agua (DQO, DBO, coliformes).
- Afectación de flora y fauna acuática.
- Riesgo de propagación de enfermedades en comunidades cercanas.
- Condiciones actuales: La cercanía del caño Pendejo (<500 m) aumenta la probabilidad de contaminación directa.

Amenaza por Emisión de gases

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Riesgo de intoxicación y atmósferas peligrosas para trabajadores en excavaciones y pozos.
- Corrosión biogénica en estructuras de concreto.
- Olores ofensivos que afectan la calidad de vida de la comunidad.
- Condiciones actuales: Excavaciones abiertas y flujo superficial favorecen la liberación de gases sin control.

Amenaza por Afectación de suelos y vegetación

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Degradación de propiedades físicas y químicas del suelo (salinidad, corrosividad).
- Pérdida de cobertura vegetal por exceso de humedad y contaminantes.
- Riesgo de erosión y socavación en taludes de excavación.
- Condiciones actuales: Material excavado acopiado en bordes expuestos a escorrentía, lo que facilita arrastre de sedimentos y contaminación.

Amenazas adicionales por condiciones actuales

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas: riesgo de inundación y arrastre de contaminantes hacia zonas bajas.
- Proximidad a colegio y viviendas: exposición directa de población a olores, vectores y riesgos sanitarios.
- Accesibilidad limitada: retrasos en respuesta ante emergencias ambientales.
- Clima local (lluvias frecuentes): aumenta riesgo de escorrentía contaminante y socavación de bordes.

7.15 Amenazas por Incendios / Explosiones

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → liberación de gases inflamables.
- Excavaciones abiertas sin ventilación adecuada → acumulación de gases en espacios confinados.
- Vegetación seca o ramas acumuladas sobre zanjas → combustible para incendios.
- Uso de maquinaria y herramientas eléctricas sin protocolos de seguridad.
- Ausencia de sistemas de detección de gases en obra.
- Cercanía de viviendas y colegio → alta exposición social en caso de incendio/explosión.

7.16 Amenazas por Derrames / fugas

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Tuberías deterioradas y fisuradas → pérdida de estanqueidad.
- Excavaciones abiertas sin cerramiento ni cubiertas → exposición directa de aguas residuales.
- Nivel freático alto y suelos permeables → rápida infiltración y dispersión de contaminantes.
- Vegetación y raíces cercanas → riesgo de penetración en tuberías y aumento de fugas.
- Alta pluviosidad en Villavicencio → incremento de escorrentía contaminada.
- Cercanía de viviendas y colegio → población sensible expuesta a derrames.

7.17 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Suelos blandos y saturados en Villavicencio → alta probabilidad de asentamientos.
- Excavaciones abiertas sin protección → riesgo de colapso inmediato.
- Tuberías deterioradas y expuestas → mayor fragilidad estructural.
- Vegetación y raíces cercanas → penetración en tuberías y pozos.
- Alta pluviosidad → incremento de infiltración y socavación.
- Cercanía de viviendas y colegio → exposición social directa a fallas.

7.18 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas con aguas residuales expuestas → mayor impacto si falla el bombeo.
- Alta humedad y pluviosidad en Villavicencio → deterioro acelerado de equipos eléctricos y mecánicos.
- Dependencia de maquinaria pesada para excavación y reposición de tuberías.
- Falta de mantenimiento preventivo → aumenta probabilidad de fallas.
- Presencia de personal en campo → exposición directa a accidentes por equipos defectuosos.
- Cercanía de viviendas y colegio → riesgo social en caso de rebose o accidente.

7.19 Amenazas por Accidentes de Transito

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Accesos improvisados desde la obra hacia la vía nacional.
- Alta circulación vehicular en Villavicencio → riesgo elevado de accidentes.
- Ausencia de señalización preventiva en zonas de ingreso/salida.
- Presencia de árboles y vegetación que reduce visibilidad en accesos.
- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → riesgo de escorrentía hacia la vía.
- Proximidad de viviendas y colegio → tránsito peatonal sensible.

7.20 Amenazas por Accidentes de Trabajo

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas sin cerramiento ni barandas.
- Presencia de árboles y vegetación sobre zanjas → riesgo de caída de ramas.
- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → contacto directo con contaminantes.
- Alta pluviosidad en Villavicencio → suelos húmedos y resbaladizos.
- Falta de equipos de protección personal (EPP) adecuados.
- Cercanía de viviendas y colegio → tránsito peatonal en zona de obra.

7.21 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas sin cerramiento robusto → fácil acceso de personas externas

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → riesgo de contaminación en caso de disturbios.
- Alta conflictividad social en Villavicencio por crisis de agua potable y peajes.
- Cercanía de viviendas y colegio → población sensible expuesta a protestas.
- Dependencia de vías nacionales para ingreso de materiales → vulnerabilidad ante bloqueos.
- Falta de protocolos comunitarios claros → aumenta percepción de riesgo y desconfianza

7.22 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas sin cerramiento robusto → fácil acceso de terceros.
- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → riesgo de manipulación indebida.
- Almacenamiento de materiales sin control → atractivo para hurto.
- Escasa iluminación nocturna en frentes de obra.
- Cercanía a barrios populares con antecedentes de conflictividad social → mayor probabilidad de incidentes.
- Ausencia de protocolos comunitarios de seguridad → percepción de abandono

7.23 Amenazas por Atentados Terroristas

Se identificaron las siguientes vulnerabilidades:

- Excavaciones abiertas sin cerramiento robusto → fácil acceso de terceros.
- Tuberías rotas con aguas residuales expuestas → riesgo de manipulación intencional.
- Almacenamiento de materiales y maquinaria sin control → objetivo de sabotaje.
- Alta conflictividad social en Villavicencio (crisis de agua potable, protestas por peajes).
- Cercanía de barrios populares (Samán de la Rivera, Porfía) → mayor exposición social.
- Ausencia de protocolos de seguridad antiterrorista específicos en obra

Valoración de Vulnerabilidad Humana

Se refiere al número, tipo y gravedad de las víctimas que se puedan producir entre empleados, personal de emergencia y comunidad. Representa la "Vulnerabilidad Humana" del proyecto. Se tuvo en cuenta la Gestión Organizacional, capacitación y entrenamiento y características de seguridad.

Clase de amenaza	N°	Amenaza	Valoración			
			Construcción		Operación y Mantenimiento	
			Tipo	Puntuación	Tipo	Puntuación
Naturales	1	Movimientos sísmicos	Crítica	15	Grave	8
	2	Inundaciones / socavaciones / subpresiones	Crítica	14	Grave	7
	3	Tormentas eléctricas	Grave	7	Marginal	3
	4	Vientos fuertes	Marginal	3	Insignificante	1
	5	Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos	Desastrosa	30	Grave	9

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Hidráulicas	6	Subdimensionamiento del interceptor	**Grave**	6	**Crítica**	17
		Sedimentación interna	**Marginal**	4	**Grave**	6
		Infiltración / Intrusión	**Grave**	8	**Grave**	7
		Golpes de ariete y sobrepresiones	**Crítica**	12	**Crítica**	13
Geotécnicas	7	Suelos blandos o compresibles	**Crítica**	16	**Grave**	8
		Nivel freático alto y sifonamiento	**Crítica**	16	**Grave**	8
		licuefacción local o licuación	**Crítica**	14	**Grave**	7
		colapso de zanjas o del terreno, asentamientos diferenciales	**Desastrosa**	22	**Crítica**	12
Constructivas	8	Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)	**Grave**	9	**Marginal**	4
	9	Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)	**Grave**	8	**Grave**	7
	10	Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable):	**Grave**	9	**Grave**	9
	11	Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente	**Crítica**	14	**Crítica**	15
	12	Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas	**Desastrosa**	20	**Grave**	6
	13	Amenazas por accesibilidad limitada	**Marginal**	3	**Marginal**	3
Ambientales	14	Vertimientos accidentales	**Grave**	8	**Grave**	7
		Contaminación de cuerpos de aguas	**Grave**	9	**Crítica**	12
		Emisión de gases	**Crítica**	13	**Crítica**	14
		Afectación de suelos y vegetación	**Marginal**	4	**Marginal**	3
		Amenazas adicionales por condiciones actuales	**Crítica**	14	**Crítica**	15
Sociales - Tecnológicas	15	Incendios / Explosiones	**Crítica**	16	**Crítica**	13
	16	Derrames / fugas	**Grave**	9	**Grave**	8
	17	Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor	**Crítica**	15	**Crítica**	16
	18	Fallas maquinarias equipos	**Grave**	7	**Grave**	6
	19	Accidentes de Transito	**Grave**	9	**Grave**	8
	20	Accidentes de Trabajo	**Crítica**	18	**Crítica**	15
	21	Revueltas / Asonadas / protestas sociales	**Crítica**	18	**Crítica**	14
	22	Hurtos / Asaltos / Delincuencia	**Grave**	8	**Grave**	7
	23	Atentados Terroristas	**Crítica**	17	**Crítica**	14

Tabla 12: Valoración de vulnerabilidad humana

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Descripción	Tipo	Rango
Sin lesiones	Insignificante	1
Lesiones leves sin incapacidad	Marginal	2-4
Lesiones leves incapacitantes	Grave	5-9
Una víctima grave con hospitalización	Crítica	10-19
Varias lesiones con hospitalización, 1 muerte	Desastrosa	20-30
Varias muertes	Catastrófica	40-50

Tabla 13: Escala de valoración de vulnerabilidad humana

Análisis de Vulnerabilidad Humana

Análisis General

Cada amenaza se evalúa en dos fases del proyecto:
-Construcción
-Operación y Mantenimiento

La valoración se basa en el tipo de lesión que puede generar, desde insignificante (verde) hasta catastrófica (rojo).

Observaciones

Las amenazas naturales tienden a intensificarse en la fase de operación, teniendo en cuenta que para la construcción se deberá buscar condiciones óptimas, mientras que en la operación puede suceder un evento en cualquier época del año.

Los deslizamientos, fallas en el terreno, volcamientos, inundaciones pueden generar lesiones graves o incapacitantes.

La contaminación generada por las aguas expuestas representa riesgos ambientales que afectan la vegetación, la salud de los trabajadores y la salud pública.

Las amenazas sociales se deben tener en cuenta en la afectación de la ejecución del proyecto.

los deslizamientos, colapso del terreno, y contaminación de la fuente son las más críticas, con potencial de causar muerte.

Las fallas humanas y organizacionales se intensifican en operación, lo que sugiere debilidades en la gestión y capacitación.

La fase de construcción es más vulnerable que la de operación y mantenimiento.

La contaminación de la zona de influencia del proyecto es una amenaza transversal que afecta tanto la salud como la sostenibilidad del sistema.

Valoración Vulnerabilidad de Recursos

Se refiere a las pérdidas económicas directas sufridas por la Empresa como consecuencia del siniestro. Representa la "Vulnerabilidad Económica" del proyecto, expresada en los recursos disponibles o a disponer. Se tuvo en cuenta afectaciones en suministros, infraestructura y equipos.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Clase de amenaza	N°	Amenaza	Valoración			
			Construcción		Operación y Mantenimiento	
			Tipo	Puntuación	Tipo	Puntuación
Naturales	1	Movimientos sísmicos	Crítica	14	Grave	7
	2	Inundaciones / socavaciones / subpresiones	Crítica	13	Grave	6
	3	Tormentas eléctricas	Marginal	4	Marginal	3
	4	Vientos fuertes	Marginal	3	Marginal	2
	5	Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos	Crítica	18	Crítica	8
Hidráulicas	6	Subdimensionamiento del interceptor	Grave	7	Grave	9
		Sedimentación interna	Marginal	4	Marginal	4
		Infiltración / Intrusión	Grave	7	Grave	8
		Golpes de ariete y sobrepresiones	Crítica	13	Crítica	14
Geotécnicas	7	Suelos blandos o compresibles	Crítica	15	Grave	9
		Nivel freático alto y sifonamiento	Crítica	15	Grave	7
		licuefacción local o licuación	Crítica	13	Grave	6
		colapso de zanjas o del terreno, asentamientos diferenciales	Crítica	18	Crítica	13
Constructivas	8	Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)	Grave	8	Grave	6
	9	Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)	Grave	7	Grave	8
	10	Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable):	Grave	9	Crítica	12
	11	Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente	Crítica	15	Crítica	16
	12	Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas	Crítica	18	Grave	7
	13	Amenazas por accesibilidad limitada	Grave	6	Grave	6
Ambientales	14	Vertimientos accidentales	Grave	7	Grave	6
		Contaminación de cuerpos de aguas	Crítica	12	Crítica	13
		Emisión de gases	Grave	8	Grave	9
		Afectación de suelos y vegetación	Grave	6	Grave	6
		Amenazas adicionales por condiciones actuales	Crítica	13	Crítica	14
Sociales - Tecnológicas	15	Incendios / Explosiones	Crítica	14	Crítica	12
	16	Derrames / fugas	Grave	8	Grave	7

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



	17	Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor	Crítica	16	Crítica	17
	18	Fallas maquinarias equipos	Crítica	12	Crítica	12
	19	Accidentes de Transito	Grave	8	Grave	7
	20	Accidentes de Trabajo	Grave	9	Grave	9
	21	Revueltas / Asonadas / protestas sociales	Crítica	15	Crítica	13
	22	Hurtos / Asaltos / Delincuencia	Grave	9	Grave	8
	23	Atentados Terroristas	Crítica	18	Crítica	17

Tabla 14: Valoración de vulnerabilidad de recursos

Descripción	Tipo	Rango
Pérdida no mayor al 0,1%	Insignificante	1
Pérdida entre el 0,1% y el 0,5%	Marginal	2-4
Pérdida entre el 0,5% y el 2,0%	Grave	5-9
Pérdida entre el 2,0% y el 5,0%	Crítica	10-19
Pérdida entre el 5,0% y el 10,0%	Desastrosa	20-30
Pérdida mayor al 10,0%	Catastrófica	40-50

Tabla 15: Escala de valoración de vulnerabilidad de recursos

Análisis de Vulnerabilidad de Recursos

Análisis General

La tabla evalua el impacto potencial de diversas amenazas sobre los recursos involucrados en dos fases clave de un proyecto: Construcción y Operación y Mantenimiento

Cada amenaza se clasifica por su nivel de pérdida estimada, desde insignificante (menos del 5%) hasta desastrosa (100%), usando una escala de colores y puntuaciones del 1 al 5.

Observaciones

Las amenazas naturales tienden a intensificarse en la fase de construcción especialmente los movimientos sísmicos, y las inundaciones por fuertes lluvias que alcanzan el nivel desastroso.

Las inundaciones, incendios forestales y cambios en el caudal representan riesgos significativos para la infraestructura y el abastecimiento. Las amenazas biológicas y meteorológicas (vientos, tormentas) tienen un impacto importante y constante.

Las amenazas sociales y técnicas tienen un impacto más severo en la construcción, donde se concentran los niveles desastrosos. Explosiones, derrames y atentados terroristas se deben tener en cuenta, con las precauciones necesarias, ya que pueden tener un considerable potencial de pérdida total de recursos.

Las fallas estructurales, de energía y de equipos también representan vulnerabilidades graves que pueden paralizar el proyecto.
La fase de operación y mantenimiento es más vulnerable que la de construcción, teniendo en cuenta que para la ejecución se buscará condiciones óptimas de trabajo, mientras que en la

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



operación puede ocurrir un desastre en cualquier época del año, que requiera nuevas inversiones y asignación de recursos.

Valoración Vulnerabilidad Operacional

Se refiere al tiempo de parálisis o nivel de afectación del funcionamiento de la Empresa como consecuencia del siniestro. Representa la "Vulnerabilidad Operacional" del proyecto. Se tuvo en cuenta servicios, sistemas alternos y recuperación.

Clase de amenaza	N°	Amenaza	Valoración			
			Construcción		Operación y Mantenimiento	
			Tipo	Puntuación	Tipo	Puntuación
Naturales	1	Movimientos sísmicos	Crítica	16	Grave	9
	2	Inundaciones / socavaciones / subpresiones	Crítica	15	Grave	8
	3	Tormentas eléctricas	Marginal	4	Marginal	4
	4	Vientos fuertes	Marginal	4	Insignificante	1
	5	Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos	Desastrosa	30	Grave	9
Hidráulicas	6	Subdimensionamiento del interceptor	Grave	6	Crítica	19
		Sedimentación interna	Marginal	3	Grave	6
		Infiltración / Intrusión	Grave	9	Grave	8
		Golpes de ariete y sobrepresiones	Crítica	14	Crítica	15
Geotécnicas	7	Suelos blandos o compresibles	Desastrosa	20	Grave	9
		Nivel freático alto y sifonamiento	Crítica	7	Grave	9
		licuefacción local o licuación	Crítica	15	Grave	8
		colapso de zanjas o del terreno, asentamientos diferenciales	Desastrosa	21	Crítica	14
Constructivas	8	Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)	Crítica	10	Marginal	3
	9	Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)	Grave	9	Grave	8
	10	Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable):	Grave	8	Grave	9
	11	Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente	Crítica	16	Crítica	17
	12	Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas	Desastrosa	20	Grave	7
	13	Amenazas por accesibilidad limitada	Grave	5	Grave	5
Ambientales	14	Vertimientos accidentales	Grave	9	Grave	8
		Contaminación de cuerpos de aguas	Grave	9	Crítica	14

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



		Emisión de gases	Crítica	15	Crítica	15
		Afectación de suelos y vegetación	Marginal	3	Marginal	3
		Amenazas adicionales por condiciones actuales	Crítica	15	Crítica	16
Sociales - Tecnológicas	15	Incendios / Explosiones	Desastrosa	22	Desastrosa	20
	16	Derrames / fugas	Grave	9	Grave	9
	17	Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor	Desastrosa	25	Desastrosa	26
	18	Fallas maquinarias equipos	Grave	8	Grave	7
	19	Accidentes de Transito	Crítica	10	Grave	9
	20	Accidentes de Trabajo	Grave	9	Crítica	14
	21	Revueltas / Asonadas / protestas sociales	Grave	9	Grave	9
	22	Hurtos / Asaltos / Delincuencia	Grave	9	Crítica	10
	23	Atentados Terroristas	Grave	9	Crítica	12

Tabla 16: Valoración de la vulnerabilidad operacional

Descripción	Tipo	Rango
Menos de 8 horas	Insignificante	1
Entre 8 horas y 1 día	Marginal	2-4
Entre 1 y 5 días	Grave	5-9
Entre 5 y 15 días	Crítica	10-19
Entre 15 y 30 días	Desastrosa	20-30
Más de 30 días	Catastrófica	40-50

Tabla 17: Escala de valoración de vulnerabilidad operacional

Análisis de Vulnerabilidad Operacional

Análisis General

Mayor vulnerabilidad en construcción: más amenazas con valoración crítica o grave, lo que implica mayor probabilidad de parálisis total o parcial, por condiciones como deslizamientos, colapsos de los rellenos o material acopiado existente o accidentes graves.

Amenazas persistentes en ambas fases: fallas eléctricas, inundaciones y riesgos de seguridad pública.

Amenazas que escalan en operación: colapso de estructuras existentes o las que se van a construir, que pueden retrasar el proyecto e intensificar la contaminación del medio ambiente y salud de los trabajadores.

Tiempo de parálisis estimado:
Crítica / Desastrosa: semanas o meses de recuperación.
Grave: días a semanas.
Marginal: horas a pocos días.

Insignificante: sin interrupción relevante.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

8. Nivel de Riesgo

N°	Tipo	Amenaza	Clasificación (A)		Vulnerabilidad (Construcción)			Nivel de Riesgo			Aceptabilidad	Priorización
			Construcción	Operación	Humana (H)	Recursos (R)	Operacional (O)	Resultado Diamante	Calificación (%)	Calificación Valor		
1	Naturales	Movimientos sísmicos	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Crítica		45	Medio	Tolerable	Prioritario
2	Naturales	Inundaciones / socavaciones / subpresiones	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Crítica		42	Medio	Tolerable	Prioritario
3	Naturales	Tormentas eléctricas	Probable	Posible	Grave	Marginal	Marginal		15	Medio	Tolerable	Prioritario
4	Naturales	Vientos fuertes	Posible	Posible	Marginal	Marginal	Marginal		6.67	Bajo	Aceptable	No Prioritario
5	Naturales	Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos	Probable	Posible	Desastrosa	Crítica	Desastrosa		78	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
6	Hidráulicas	Subdimensionamiento del interceptor	Alta	Alta	Grave	Grave	Grave		25.33	Medio	Tolerable	Prioritario
		Sedimentación interna	Probable	Alta	Marginal	Marginal	Marginal		11	Medio	Tolerable	Prioritario
		Infiltración / intrusión	Probable	Alta	Grave	Grave	Grave		24	Medio	Tolerable	Prioritario
		Golpes de ariete y sobrepresiones	Posible	Alta	Crítica	Crítica	Crítica		26	Medio	Tolerable	Prioritario
7	Geotécnicas	Suelos blandos o compresibles	Alta	Probable	Crítica	Crítica	Desastrosa		68	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
		Nivel freático alto y sifonamiento	Inminente	Probable	Crítica	Crítica	Crítica		63.33	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
		Licuefacción local o licuación	Probable	Probable	Crítica	Crítica	Crítica		42	Medio	Tolerable	Prioritario
		Colapso de zanjas o del terreno, asentamientos diferenciales	Alta	Posible	Desastrosa	Crítica	Desastrosa		81.33	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
8	Constructivas	Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)	Alta	Probable	Grave	Grave	Crítica		36	Medio	Tolerable	Prioritario
9	Constructivas	Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)	Alta	Probable	Grave	Grave	Grave		32	Medio	Tolerable	Prioritario
10	Constructivas	Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable)	Alta	Probable	Grave	Grave	Grave		34.67	Medio	Tolerable	Prioritario
11	Constructivas	Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente	Probable	Alta	Crítica	Crítica	Crítica		45	Medio	Tolerable	Prioritario
12	Constructivas	Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas	Inminente	Posible	Desastrosa	Crítica	Desastrosa		96.67	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
13	Constructivas	Amenazas por accesibilidad limitada	Probable	Probable	Marginal	Grave	Grave		14	Medio	Tolerable	Prioritario
14	Ambientales	Vertimientos accidentales	Probable	Probable	Grave	Grave	Grave		24	Medio	Tolerable	Prioritario
	Ambientales	Contaminación de cuerpos de aguas	Alta	Alta	Grave	Crítica	Grave		40	Medio	Tolerable	Prioritario
	Ambientales	Emisión de gases	Probable	Probable	Crítica	Grave	Crítica		36	Medio	Tolerable	Prioritario
	Ambientales	Afectación de suelos y vegetación	Probable	Probable	Marginal	Grave	Marginal		13	Medio	Tolerable	Prioritario
	Ambientales	Amenazas adicionales por condiciones actuales	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Crítica		42	Medio	Tolerable	Prioritario
15	Sociales - Tecnológicas	Incendios / Explosiones	Posible	Posible	Crítica	Crítica	Desastrosa		34.67	Medio	Tolerable	Prioritario
16	Sociales - Tecnológicas	Derrames / fugas	Probable	Probable	Grave	Grave	Grave		26	Medio	Tolerable	Prioritario
17	Sociales - Tecnológicas	Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Desastrosa		56	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
18	Sociales - Tecnológicas	Fallas de maquinarias y equipos	Probable	Probable	Grave	Crítica	Grave		27	Medio	Tolerable	Prioritario
19	Sociales - Tecnológicas	Accidentes de Transito	Probable	Posible	Grave	Grave	Crítica		27	Medio	Tolerable	Prioritario
20	Sociales - Tecnológicas	Accidentes de Trabajo	Probable	Probable	Crítica	Grave	Grave		36	Medio	Tolerable	Prioritario
21	Sociales - Tecnológicas	Revueltas / Asonadas / protestas sociales	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Grave		42	Medio	Tolerable	Prioritario
22	Sociales - Tecnológicas	Hurtos / Asaltos / Delincuencia	Probable	Posible	Grave	Grave	Grave		26	Medio	Tolerable	Prioritario
23	Sociales - Tecnológicas	Atentados Terroristas	Posible	Posible	Crítica	Crítica	Grave		29.33	Medio	Tolerable	Prioritario

Tabla 18: Nivel de Riesgo en la construcción

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

N°	Tipo	Amenaza	Clasificación (A)		Vulnerabilidad (Operación)			Nivel de Riesgo			Aceptabilidad	Priorización
			Construcción	Operación	Humana (H)	Recursos (R)	Operacional (O)	Resultado Diamante	Calificación (%)	Calificación Valor		
1	Naturales	Movimientos sísmicos	Probable	Posible	Grave	Grave	Grave		16	Medio	Tolerable	Prioritario
2	Naturales	Inundaciones / socavaciones / subpresiones	Probable	Posible	Grave	Grave	Grave		14	Medio	Tolerable	Prioritario
3	Naturales	Tormentas eléctricas	Probable	Posible	Marginal	Marginal	Marginal		6.67	Medio	Tolerable	Prioritario
4	Naturales	Vientos fuertes	Posible	Posible	Insignificante	Marginal	Insignificante		2.67	Bajo	Aceptable	No Prioritario
5	Naturales	Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos	Probable	Posible	Grave	Crítica	Grave		17.3	Medio	Tolerable	Prioritario
6	Hidráulicas	Subdimensionamiento del interceptor	Alta	Alta	Crítica	Grave	Crítica		60	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
6	Hidráulicas	Sedimentación interna	Probable	Alta	Grave	Marginal	Grave		21.3	Medio	Tolerable	Prioritario
6	Hidráulicas	Infiltración / Intrusión	Probable	Alta	Grave	Grave	Grave		30.7	Medio	Tolerable	Prioritario
6	Hidráulicas	Golpes de ariete y sobrepresiones	Posible	Alta	Crítica	Crítica	Crítica		56	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
7	Geotécnicas	Suelos blandos o compresibles	Alta	Probable	Grave	Grave	Grave		26	Medio	Tolerable	Prioritario
7	Geotécnicas	Nivel freático alto y sifonamiento	Inminente	Probable	Grave	Grave	Grave		24	Medio	Tolerable	Prioritario
7	Geotécnicas	Licuefacción local o licuación	Probable	Probable	Grave	Grave	Grave		21	Medio	Tolerable	Prioritario
7	Geotécnicas	Colapso de zanjas o del terreno, asentamientos diferenciales	Alta	Posible	Crítica	Crítica	Crítica		26	Medio	Tolerable	Prioritario
8	Construcción	Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)	Alta	Probable	Marginal	Grave	Marginal		13	Medio	Tolerable	Prioritario
9	Construcción	Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)	Alta	Probable	Grave	Grave	Grave		23	Medio	Tolerable	Prioritario
10	Construcción	Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable)	Alta	Probable	Grave	Crítica	Grave		30	Medio	Tolerable	Prioritario
11	Construcción	Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente	Probable	Alta	Crítica	Crítica	Crítica		64	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
12	Construcción	Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas	Inminente	Posible	Grave	Grave	Grave		13.3	Medio	Tolerable	Prioritario
13	Construcción	Amenazas por accesibilidad limitada	Probable	Probable	Marginal	Grave	Grave		14	Medio	Tolerable	Prioritario
14	Ambientales	Vertimientos accidentales	Probable	Probable	Grave	Grave	Grave		21	Medio	Tolerable	Prioritario
14	Ambientales	Contaminación de cuerpos de aguas	Alta	Alta	Crítica	Crítica	Crítica		52	Alto	Inaceptable	Muy Prioritario
14	Ambientales	Emisión de gases	Probable	Probable	Crítica	Grave	Crítica		38	Medio	Tolerable	Prioritario
14	Ambientales	Afectación de suelos y vegetación	Probable	Probable	Marginal	Grave	Marginal		12	Medio	Tolerable	Prioritario
14	Ambientales	Amenazas adicionales por condiciones actuales	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Crítica		30	Medio	Tolerable	Prioritario
15	Sociales - Tecnológicas	Incendios / Explosiones	Posible	Posible	Crítica	Crítica	Desastrosa		30	Medio	Tolerable	Prioritario
16	Sociales - Tecnológicas	Derrames / fugas	Probable	Probable	Grave	Grave	Grave		24	Medio	Tolerable	Prioritario
17	Sociales - Tecnológicas	Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Desastrosa		39.3	Medio	Tolerable	Prioritario
18	Sociales - Tecnológicas	Fallas de maquinarias y equipos	Probable	Probable	Grave	Crítica	Grave		25	Medio	Tolerable	Prioritario
19	Sociales - Tecnológicas	Accidentes de Transito	Probable	Posible	Grave	Grave	Grave		16	Medio	Tolerable	Prioritario
20	Sociales - Tecnológicas	Accidentes de Trabajo	Probable	Probable	Crítica	Grave	Crítica		38	Medio	Tolerable	Prioritario
21	Sociales - Tecnológicas	Revueltas / Asonadas / protestas sociales	Probable	Posible	Crítica	Crítica	Grave		24	Medio	Tolerable	Prioritario
22	Sociales - Tecnológicas	Hurtos / Asaltos / Delincuencia	Probable	Posible	Grave	Grave	Crítica		16.7	Medio	Tolerable	Prioritario
23	Sociales - Tecnológicas	Atentados Terroristas	Posible	Posible	Crítica	Crítica	Crítica		28.7	Medio	Tolerable	Prioritario

Tabla 19: Nivel de Riesgo en Operación

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Calificación del nivel del riesgo	
Calificación	**Interpretación**
Alto	Implica que la amenaza y el grado de vulnerabilidad están en su punto máximo. Se deben priorizar acciones preventivas, que viabilicen la preparación y respuesta ante cualquier emergencia.
Medio	Los valores que representan la vulnerabilidad o la amenaza son altos se deben considerar las medidas preventivas aplicables frente la amenaza.
Bajo	El riesgo es BAJO, lo cual significa que la vulnerabilidad y la amenaza están controladas. Las acciones preventivas deben mantenerse.

Tabla 20: Escala de calificación del Riesgo

Amenazas	Vulnerabilidades (Impacto)					
Calificación del evento	Insignificante (1)	Marginal (2)	Grave (5)	Crítico (10)	Desastroso (20)	Catastrófico (50)
Improbable (1)	1 (0,40%)	2 (0,80%)	5 (2,00%)	10 (4,00%)	20 (8,00%)	50 (20,00%)
Ocasional (2)	2 (0,80%)	4 (1,60%)	10 (4,00%)	20 (8,00%)	40 (16,00%)	100 (40,00%)
Posible (3)	3 (1,20%)	6 (2,40%)	15 (6,00%)	30 (12,00%)	60 (24,00%)	150 (60,00%)
Probable (4)	4 (1,60%)	8 (3,20%)	20 (8,00%)	40 (16,00%)	80 (32,00%)	200 (80,00%)
Inminente / Frecuente (5)	5 (2,00%)	10 (4,00%)	25 (10,00%)	50 (20,00%)	100 (40,00%)	250 (100,00%)

Tabla 21: Amenazas y vulnerabilidades

Análisis de Riesgos

Análisis por tipo de amenaza

Accidentes

Accidentes de trabajo y tránsito:

Construcción: riesgo Crítico/Inaceptable por alta probabilidad y consecuencias graves.

Operación: riesgo Grave, pero aún requiere control estricto. Necesidad de protocolos de seguridad, capacitación y supervisión constante.

Fenómenos Naturales

-Sismos:

Construcción: Inaceptable por potencial de paralización total y daños estructurales.
Operación: Aceptable con control, si hay diseño antisísmico y planes de emergencia.

-Inundaciones:

Ambas fases: crítico e inaceptable por las excavaciones abiertas que pueden generar interrupción de actividades.

-Tormentas eléctricas:

Construcción: Aceptable con control (riesgo eléctrico y de caídas).

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Operación: Aceptable (afecta menos si hay protecciones).

-Temperaturas extremas:

Ambas fases: riesgos críticos por fuertes lluvias.

Amenazas Antropogénicas

-Fallas en suministro eléctrico:

Ambas fases: Aceptable con control, pero puede detener procesos críticos si no hay respaldo.

-Fallas en suministro de insumos:

Construcción: Aceptable con control (impacto en cronograma).
Operación: Aceptable (si hay inventarios).

-Demoras en trámites administrativos:

Construcción: Aceptable con control (puede retrasar inicio o avance).
Operación: Aceptable.

-Hurtos, asaltos, atentados, desobediencia civil:

Ambas fases: Aceptable con control, pero con riesgo alto en zonas de inseguridad.

Observaciones

Riesgos inaceptables: se concentran en construcción, especialmente en accidentes, deslizamientos o colapso del terreno e inundaciones que combinadas con actividad sismica sería podría ser catastrófico.

Riesgos persistentes: fallas eléctricas, inundaciones, deslizamientos y seguridad pública requieren control continuo.

Mayor tolerancia en operación: la mayoría de amenazas bajan un nivel de riesgo gracias a infraestructura y protocolos ya implementados.

Factores críticos: la probabilidad alta combinada con impacto severo es lo que dispara la categoría Inaceptable.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



9. Plan de Gestión del Riesgo

9.1 Amenazas sísmicas

Recomendaciones Técnicas Estructurales

- Diseño sismo resistente conforme a NSR-10 (Título G y Título E):
- Pozos de inspección con refuerzo estructural y juntas flexibles.
- Tuberías con capacidad de absorción de deformaciones (PVC, PEAD, concreto reforzado).
- Encamado granular con compactación controlada para disipar energía sísmica.

Evaluación geotécnica sísmica:

- Determinación de Vs30, N-SPT y potencial de licuación.
- Modelado de respuesta sísmica local para definir profundidad y tipo de fundación.

Anclaje y protección contra flotación:

- En zonas con nivel freático alto, instalar sistemas de anclaje o sobrecarga controlada.
- Cámaras con diseño antideslizamiento y tapas con bloqueo mecánico.

Medidas de mitigación ambiental

Evitar exposición prolongada de aguas residuales:

- Minimizar tiempo de excavaciones abiertas para reducir emisión de gases y vectores.
- Implementar bypass sanitario en zonas críticas para evitar rebose durante sismos.

Protección de cuerpos de agua:

- Barreras de sedimentos y filtros geotextiles para evitar contaminación por ruptura de
- tuberías.
- Monitoreo de calidad de agua post-evento sísmico.

Medidas sociales y comunitarias

- Plan de contingencia comunitario:
- Simulacros de evacuación en zonas cercanas a pozos y cámaras.
- Capacitación a líderes comunitarios sobre riesgos sísmicos y protocolos de respuesta.
- Cerramiento y señalización sísmica:
- Señalización de zonas de riesgo y rutas de evacuación.
- Cerramiento reforzado en zonas de obra para evitar colapso durante eventos sísmicos.

Medidas institucionales y operativas

- Coordinación interinstitucional:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Integrar el plan sísmico con el CLOPAD, empresa de servicios públicos y autoridad ambiental.
- Establecer protocolos de inspección post-sismo para pozos, tuberías y cámaras.
- Monitoreo estructural y geotécnico:
- Instalación de sensores o puntos de control en pozos críticos.
- Registro fotográfico y técnico antes y después de eventos sísmicos

9.2 Amenazas por inundaciones

Medidas de prevención

- Diseño y reposición de tuberías con capacidad hidráulica suficiente.
- Instalación de bypass sanitario temporal en obras críticas.
- Entibado y protección de excavaciones para evitar colapso durante lluvias.
- Plan de manejo de tráfico y accesibilidad en zonas inundables.

Medidas de mitigación

- Construcción de cunetas de desvío y drenajes pluviales.
- Revegetación y estabilización de taludes para reducir erosión.
- Implementación de barreras de sedimentos y filtros geotextiles en caños.
- Planes de contingencia comunitaria: rutas de evacuación, brigadas de respuesta rápida.

Medidas de contingencia

- Equipos de bombeo disponibles para emergencias.
- Protocolos de cierre temporal de pozos y cámaras en eventos extremos.
- Coordinación con CLOPAD y autoridades ambientales para atención inmediata.

9.3 Amenazas por Tormentas eléctricas

Medidas de prevención

- Instalación de pararrayos portátiles en zonas de obra críticas.
- Cerramiento y señalización de excavaciones para evitar ingreso de personas durante tormentas.
- Podas preventivas de árboles cercanos a zanjas y tuberías expuestas.
- Protocolos de suspensión de actividades durante tormentas eléctricas.

Medidas de mitigación

- Implementación de canales de desvío y drenajes provisionales para reducir escorrentía contaminada.
- Uso de cubiertas plásticas temporales sobre excavaciones con aguas residuales expuestas.
- Plan de contingencia para energía alternativa (plantas eléctricas) en caso de cortes.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Medidas de contingencia

- Brigadas de emergencia capacitadas en primeros auxilios eléctricos.
- Coordinación con CLOPAD y Bomberos para atención inmediata de incidentes.
- Protocolos de evacuación comunitaria en caso de repose o arrastre de aguas residuales.

9.4 Amenaza por vientos fuertes

Medidas de prevención

- Podas preventivas de árboles cercanos a excavaciones y tuberías expuestas.
- Instalación de cerramientos reforzados para evitar ingreso de objetos arrastrados.
- Cubiertas temporales sobre zanjas con aguas residuales expuestas.
- Protocolos de suspensión de actividades durante alertas de vientos fuertes.

Medidas de mitigación

- Implementación de drenajes provisionales para evitar acumulación de agua contaminada.
- Retiro inmediato de vegetación caída y materiales arrastrados.
- Plan de contingencia para energía alternativa (plantas eléctricas) en caso de cortes.

Medidas de contingencia

- Brigadas de emergencia capacitadas en manejo de incidentes por caída de árboles.
- Coordinación con CLOPAD y Bomberos para atención inmediata de afectaciones.
- Protocolos de evacuación comunitaria en caso de rebose o contaminación.

9.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos

Medidas de prevención

- Entibado certificado en todas las excavaciones profundas.
- Podas preventivas y retiro de árboles inestables sobre zanjas.
- Drenajes provisionales y bombeo para controlar nivel freático.
- Cubiertas plásticas temporales para reducir infiltración de aguas lluvias en excavaciones.

Medidas de mitigación

- Revegetación y estabilización de taludes con geotextiles y especies nativas.
- Construcción de cunetas de desvío para controlar escorrentía superficial.
- Plan de contingencia para aguas residuales expuestas (bypass sanitario).
- Protocolos de evacuación comunitaria en zonas cercanas a riesgo de deslizamiento.

Medidas de contingencia

- Brigadas de emergencia capacitadas en rescate y manejo de deslizamientos.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Coordinación con CLOPAD y Bomberos para atención inmediata.
- Equipos de bombeo y maquinaria disponibles para remover material deslizado.

9.6 Amenazas Hidráulicas

Amenaza por Subdimensionamiento del interceptor

- **Medidas de Prevención (Estructurales y No Estructurales)**

Las medidas de prevención se centran en reducir las causas subyacentes del subdimensionamiento y sus efectos.

Gestión del caudal en origen:

- Controlar las conexiones erradas: Identificar y corregir las conexiones domiciliarias de aguas lluvias al sistema sanitario, lo cual reduce significativamente el volumen de flujo en el interceptor sanitario.
- Promover el uso eficiente del agua: Implementar campañas de concienciación para reducir el consumo de agua, disminuyendo así el volumen de aguas residuales generadas.
- Regulación de vertimientos industriales: Asegurar que las industrias realicen un pretratamiento de sus aguas residuales y cumplan con las normativas sobre volumen y carga contaminante antes de descargarlas a la red pública.

Mantenimiento proactivo:

- Limpieza periódica: Implementar un programa riguroso de inspección y limpieza preventiva para evitar la acumulación de sedimentos y grasas, maximizando la capacidad existente de la tubería.
- Inspección de la red: Usar tecnologías como cámaras CCTV para identificar puntos críticos de acumulación, fugas o daños estructurales que puedan empeorar el problema.

Planificación y diseño:

- Modelación hidráulica de la red: Mantener y actualizar un modelo de la red de alcantarillado para prever problemas de capacidad y planificar expansiones futuras basadas en el crecimiento poblacional y el desarrollo urbano.
- Gestión del uso del suelo: Coordinar con las autoridades de planificación urbana para evitar un desarrollo excesivo en áreas donde la infraestructura de saneamiento es limitada, o exigir mejoras de infraestructura como condición para nuevos desarrollos

- Medidas de Mitigación y Respuesta a Emergencias

Estas medidas se activan cuando la capacidad del interceptor es superada y ocurren desbordamientos o inundaciones.

Plan de Emergencia y Contingencia (PEC):

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Análisis de vulnerabilidades: Realizar un análisis detallado de los puntos más vulnerables a desbordamientos para priorizar la respuesta.
- Protocolos de respuesta: Establecer procedimientos claros para la actuación ante desbordamientos, incluyendo la notificación a las autoridades ambientales, de salud y a la comunidad afectada.
- Equipos de emergencia: Disponer de equipos especializados (motobombas, camiones de succión, equipos de limpieza) y personal capacitado para movilizarse rápidamente a las zonas afectadas.

Gestión de la emergencia:

- Desvío temporal del flujo: En casos críticos, evaluar la posibilidad de desviar temporalmente el exceso de flujo a sistemas alternativos controlados (si existen y cumplen normativas) o a áreas de contención designadas para minimizar el impacto en zonas residenciales.
- Señalización y acordonamiento: Aislar las zonas afectadas por aguas residuales para prevenir el contacto humano y animal, y señalizar rutas de evacuación si es necesario.

Recuperación y remediación:

- Limpieza y desinfección: Inmediatamente después de un desbordamiento, realizar labores de limpieza y desinfección exhaustivas en las áreas afectadas (calles, propiedades) para mitigar los riesgos sanitarios.
- Monitoreo ambiental: Realizar monitoreos de calidad del agua en fuentes superficiales y subterráneas afectadas para asegurar que los niveles de contaminantes vuelvan a parámetros seguros.

- Soluciones a Largo Plazo (Corrección Definitiva)

La única solución definitiva al subdimensionamiento es la expansión o reemplazo de la infraestructura

- Ampliación de capacidad: Planificar y ejecutar proyectos de ampliación, duplicación o reemplazo del interceptor por uno de mayor diámetro para satisfacer la demanda actual y futura.
- Construcción de tanques de retención o pozos de inspección: Instalar tanques de almacenamiento temporal en puntos estratégicos de la red para retener el flujo pico durante eventos de lluvia intensa y liberarlo gradualmente cuando el sistema tenga capacidad disponible.
- Separación de redes: A largo plazo, si el sistema es combinado, trabajar en la separación de las redes sanitarias y pluviales para reducir la carga hidráulica en el interceptor sanitario

Amenaza por Sedimentación interna

1. Medidas de Prevención (Evitar la acumulación de sedimentos)

Las medidas de prevención buscan asegurar una velocidad de flujo adecuada y controlar la entrada de sólidos al sistema.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Diseño y Planificación Adecuados:

- Velocidad autolimpiante: Asegurar en la fase de diseño que las tuberías tengan la pendiente y el diámetro correctos para mantener velocidades de flujo mínimas (generalmente superiores a 0.6 m/s) que impidan la deposición de sólidos, incluso en caudales bajos.
- Modelación hidráulica: Utilizar modelos hidráulicos avanzados para simular diferentes escenarios de flujo y garantizar que no existan zonas muertas o de baja velocidad donde puedan acumularse sedimentos.

Control en la Fuente:

- Regulación de vertimientos: Implementar y hacer cumplir regulaciones que exijan a las industrias y comercios (especialmente restaurantes y plantas de procesamiento de alimentos) instalar trampas de grasa y pretratamientos para reducir los sólidos suspendidos y las grasas antes de la descarga a la red pública.
- Control de conexiones ilegales y erradas: Identificar y desconectar las conexiones de aguas pluviales que introducen arena, tierra y otros sedimentos provenientes de la escorrentía superficial al sistema de alcantarillado sanitario.
- Campañas de educación pública: Concienciar a la ciudadanía sobre la importancia de no arrojar basura, aceites, grasas u otros sólidos por los desagües y sanitarios.

Mantenimiento Preventivo:

- Inspecciones regulares: Usar cámaras de CCTV y otros métodos de inspección para identificar puntos críticos de acumulación antes de que se conviertan en un problema grave.
- Limpieza programada: Establecer un programa de limpieza periódica de las secciones más susceptibles a la sedimentación (p. ej., utilizando chorro a presión de agua).

2. Medidas de Mitigación (Manejar las consecuencias de la sedimentación)

Estas medidas se centran en la gestión de los problemas una vez que la sedimentación ha ocurrido o ha causado un impacto.

Operaciones de Limpieza Correctiva:

- Remoción mecánica de depósitos: Emplear equipos especializados, como camiones de succión-presión (vacío-jet), para desalojar y extraer los sedimentos acumulados y los lodos del fondo de las tuberias y cámaras de inspección.
- Equipos especializados: En interceptores grandes, utilizar equipos robóticos o anfibios capaces de extraer lodos mientras el sistema sigue en operación, evitando la interrupción del servicio.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Plan de Emergencia y Contingencia (PEC):

- Protocolos de respuesta a desbordamientos: Establecer procedimientos claros para actuar rápidamente ante un bloqueo total y el desbordamiento de aguas residuales.
- Contención y desvío: Disponer de equipos (bombas temporales) para contener o desviar el flujo de aguas residuales en caso de un bloqueo total y evitar que lleguen a zonas residenciales o cuerpos de agua sensibles.
- Limpieza y desinfección: Inmediatamente después de un desbordamiento, realizar una limpieza y desinfección exhaustiva de las áreas afectadas para mitigar los riesgos sanitarios.

Monitoreo y Reparación de la Infraestructura:

Monitoreo de gases corrosivos:

- Instalar sensores de sulfuro de hidrógeno (H2S) para monitorear la corrosión generada por las condiciones sépticas y programar reparaciones o reemplazos de tuberías a tiempo.
- Reparación de daños estructurales: Reparar o rehabilitar las secciones de tubería que hayan sufrido daños por corrosión o abrasión debido a la sedimentación prolongada.

La implementación exitosa de este plan requiere un compromiso constante de la entidad operadora, desde la planificación a largo plazo hasta las operaciones diarias de mantenimiento y respuesta a emergencias.

Amenaza por Infiltración / Intrusión

1. Medidas de Prevención (Reducir la entrada de agua)

Inspección y Detección:

- Realizar inspecciones sistemáticas de la red, incluyendo pruebas de humo (smoke testing) y pruebas de tinte (dye testing), para identificar conexiones erróneas de aguas pluviales.

Usar cámaras de CCTV para localizar defectos estructurales, juntas rotas, grietas y puntos de infiltración.

Rehabilitación de la Infraestructura:

- Sellar juntas, reparar grietas y rehabilitar pozos de visita dañados. Se pueden usar técnicas sin zanja (trenchless technologies) como el encamisado (cured-in-place pipe - CIPP) para sellar secciones completas de tubería.

Control de Conexiones Ilegales:

- Implementar un programa de control y desconexión de bajantes de techos, desagües de patio y rejillas de calle conectados al sistema sanitario.

Manejo de Aguas Freáticas:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- En zonas con niveles freáticos altos, considerar sistemas de deshidratación temporales durante la construcción o la instalación de tuberías con especificaciones más estrictas para prevenir la infiltración.

2. Medidas de Mitigación (Manejar el exceso de flujo)

Almacenamiento Temporal:

- Construir tanques de retención o almacenamiento temporal en puntos estratégicos de la red para almacenar el exceso de flujo durante los picos de lluvia y liberarlo gradualmente a la PTAR cuando la capacidad esté disponible.

Expansión de la Capacidad:

- Como medida a largo plazo, y solo después de agotar las opciones de prevención de I/I, ampliar la capacidad del interceptor o de la PTAR si se demuestra que la I/I remanente es inevitable.

Planes de Emergencia:

- Establecer planes de contingencia para desbordamientos, incluyendo puntos de bombeo temporal, desvío controlado de flujos y protocolos de limpieza y desinfección de áreas afectadas para minimizar el impacto sanitario y ambiental.

La implementación efectiva de estas medidas es crucial para mantener la integridad del sistema de saneamiento y proteger la salud pública y el medio ambiente.

Amenaza por Golpes de ariete y sobrepresiones

1. Medidas de Prevención (Diseño y Operación)

Modelación hidráulica de transitorios: Realizar un análisis hidráulico de transitorios detallado durante el diseño para predecir las presiones máximas y mínimas esperadas y dimensionar adecuadamente las medidas de protección.

Selección adecuada de equipos:

- Válvulas de retención (check valves): Utilizar válvulas de retención de cierre lento o amortiguado para evitar el flujo inverso repentino al apagar una bomba.
- Válvulas de operación lenta: Especificar válvulas de compuerta o de globo que requieran múltiples vueltas para cerrar, evitando cierres bruscos.
- Control de la velocidad de operación:
- Arranque y parada suaves: Utilizar variadores de frecuencia (VFD) o arrancadores suaves para las bombas, permitiendo un cambio gradual en la velocidad del flujo.
- Procedimientos operativos: Capacitar al personal para que opere válvulas y bombas de forma lenta y gradual

2. Medidas de Mitigación (Dispositivos de Protección)

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Se instalan dispositivos mecánicos para absorber la energía de la onda de presión cuando ocurre un evento:

- Amortiguadores de golpe de ariete (arrestors): Dispositivos con un pistón interno, resorte o cámara de aire que comprimen el aire o un gas para absorber la onda de presión.
- Válvulas de alivio de presión (Pressure Relief Valves - PRV): Válvulas que se abren automáticamente cuando detectan un aumento repentino de la presión, liberando el exceso de fluido y energía del sistema.
- Tanques o cámaras de aire: Recipientes verticales con una columna de aire que actúan como amortiguadores hidráulicos, suavizando los picos de presión.
- Chimeneas de equilibrio (Surge Towers): Estructuras verticales abiertas que permiten que el agua suba y baje libremente, disipando la energía de la onda de presión en sistemas por gravedad presurizada.

9.7 Amenazas Geotécnicas

Amenaza por Suelos blandos o compresibles, Nivel freático alto, licuefacción local, colapso de zanjas o del terreno

- Mejoramiento del encamado y subrasante:

Se recomienda realizar Sobreexcavación y reemplazo selectivo:

- Retirar 0.3–0.6 m de suelo blando bajo la cota de tubería y reemplazar con granular bien graduado.

Instalar Geotextil separador/refuerzo:

- Evitar contaminación del granular por finos; mejorar distribución de cargas.
- Encamado drenante y control de N.F.:
- Subdrenes temporales y bombeo durante obra; drenes laterales si el N.F. es persistente.
- Mejoramiento del terreno (zonas críticas):
- Estabilización con cal/cemento en limos/arcillas para elevar resistencia y reducir compresibilidad.
- Precarga con drenes mecha para acelerar consolidación en tramos extensos.
- Vibroreemplazo/columnas granulares en sectores con arenas con finos y N.F. alto.

Realizar Diseño y construcción de la zanja:

- Entibados y control de presiones para evitar colapsos: secuencia de excavación–colocación–relleno.
- Relleno controlado y compactación por capas con humedad óptima; evitar sobrecompactación que ovalice tuberías flexibles.

Instalar elementos de Contraflotación:

- Lastre, mallas de anclaje o bloques de verificación en zonas con N.F. alto.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Instalar Estructuras especiales:

- Losas de reparto/cimientos aislados para cámaras en A-4/A-6; juntas flexibles y recubrimientos anticorrosivos.
- Tuberías con mayor rigidez anular o camisas estructurales en tramos de alta deformación esperada.

Realizar Operación y mantenimiento:

- Pendiente "camber" inicial (micro sobrependiente) donde se prevea consolidación.
- Ventilación y monitoreo de gases en cámaras; inspección post-obra.

Realizar verificaciones y controles de diseño

- Capacidad de asentamiento admisible y pérdida de pendiente:
- Cálculo de consolidación con parámetros de laboratorio (e–p, Cc, Cv) y perfiles de carga de relleno/tubería.
- Límite funcional de pendiente: definir Δi máximo permisible por tramo.
- Deformación de tubería y estabilidad de encamado:
- Deflexión admisible del material (PVC/PP/PRFV/concreto) con control mediante mandril en recepción.
- Presión de poros y sifonamiento: verificar gradiente crítico en encamado.
- Correlaciones prácticas para prediseño:
- N–SPT → módulo de deformación para estimar asentamientos preliminares.
- N–SPT y tipo de suelo → Vs estimada para sensibilidad sísmica y clasificación de sitio.

Punto crítico	Amenaza	Vulnerabilidad	Medida de mitigación
Estratos superficiales limosos/arcillosos (A-4, A-6; LL >40%, humedad>35%)	Asentamiento por consolidación	Pérdida de pendiente hidráulica, fisuras en juntas	Sobreexcavación y reemplazo con material granular; geotextil separador; compactación controlada
Nivel freático alto (≈1.65 m)	Flotación de tuberías vacías; sifonamiento	Desplazamiento de tubería, colapso de zanja	Encamas drenantes, bombeo temporal, lastre de tuberías, subdrenes permanentes
SPT bajo (N≈15 en superficie)	Baja capacidad portante	Ovalización de tubería, asentamiento diferencial	Uso de tuberías de mayor rigidez anular; control de compactación; precarga en tramos extensos

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Transiciones granular–cohesivo (SM/SC ↔ CL/CH)	Escalones de rigidez	Concentración de deformaciones, fisura	Columnas granulares o estabilización con cal/cemento; juntas flexible
Cámaras/pozos sobre suelos plásticos (CH, A-6)	Expansión/contracción	Fisuración de obra civil, pérdida de verticalidad	Cimentaciones aisladas o losas de reparto; recubrimientos anticorrosivos; control de humedad
Tramos urbanos densos con cruces de vías y servicios	Interferencias constructivas	Retrasos, sobrecostos, riesgo de daños a terceros	Métodos trenchless (hinca, perforación dirigida); coordinación interinstitucional; catastro actualizado
Zonas con arenas saturadas (SM/SC)	Licuefacción en sismo	Asentamiento súbito, pérdida de soporte	Vibroreemplazo, columnas granulares; diseño sísmico con Vs estimada; monitoreo piezométrico

Tabla 22: Medidas de mitigación de amenazas geotecnicas

Medidas especificas vinculadas

- Contraflotación y drenaje: Lastre/anclajes, encamas drenantes, subdrenes y bombeo.
- Mejoramiento del terreno: Estabilización con cal/cemento (cohesivos). vibroreemplazo/columnas (granulares), precarga y drenes mecha en corredores extensos.
- Estabilidad de zanja: Entibado, control de presiones, evitar exposición prolongada del fondo, relleno y compactación controlada.

Amenazas Constructivas

9.8 Amenaza por Cruce y proximidad a vía nacional (Villavicencio–Acacías)

- Coordinación previa con autoridad vial; señalización y desvíos; procedimientos para hacer cruces directos; horarios de baja demanda.

9.9 Amenaza por Proximidad a cuerpos de agua (caño Pendejo)

- Encauzar las aguas afectadas y construcción de un bypass temporal del caudal residual con tubería flexible; barreras de sedimentos y diques provisionales; bombeo controlado; protección de taludes.

9.10 Amenaza por Interferencia con redes existentes (agua, gas, energía, internet, tv cable)

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Realizar catastro actualizado y localización con pruebas; excavación manual en proximidad; permisos y acompañamiento de empresas de servicios; apuntalamiento.

9.11 Amenazas estructurales por falla de infraestructura existente

- Realizar evaluación estructural inmediata (plomada, fisuras, asentamiento); apuntalamiento extemo; demolición controlada si la patología compromete seguridad; reconstrucción con losa de reparto y juntas estancas.
- Seccionar y aislar tramos fallados; instalar bypass sanitario temporal; reemplazo con encamado granular, geotextil separador y compactación por capas.

9.12 Amenazas geotécnicas en excavaciones abiertas

- Hacer cierre hidráulico del flujo superficial; bombeo escalonado; drenes provisionales; filtros geotextil en taludes
- Reubicar acopios fuera de la zona de influencia (≥1.0–1.5 veces la profundidad de zanja), cubrir acopios, controlar escorrentía, bermas y cunetas
- Realizar entibados certificados, sobreexcavación 0.3–0.6 m y reemplazo granular, encama drenante, subdrenes, lastre o anclaje de tubería; control de compactación y humedad óptima

9.13 Amenazas por accesibilidad limitada

- Hacer un plan logístico con ventanas de ingreso; rutas de paso estabilizadas; plataforma temporal para maniobras; control de carga por eje; coordinación con propietarios
- Realizar un monitoreo de gases; ventilación en cámaras; cerramiento perimetral continuo; plan de comunicación con comunidad y colegio; horarios y control de emisiones.

Acciones inmediatas de control

- Aislar el flujo sanitario: instalar bypass temporal con tubería flexible y bombas para evitar escorrentía superficial hacia la zanja y el caño.
- Cerrar y estabilizar excavaciones abiertas: entibado y barreras físicas; retirar o reubicar acopios; cunetas y diques para desviar agua.
- Evaluar y decidir sobre el pozo afectado: inspección estructural; si hay pérdida de verticalidad o fisuras severas, demoler y reconstruir con cimentación adecuada.
- Catastro y marcación de redes: antes de nuevas excavaciones, confirmar ubicación de servicios y definir zonas de excavación manual.
- Plan de manejo de tráfico y seguridad: señalizar accesos; coordinar con transporte y autoridad vial; definir rutas seguras para maquinaria y peatones

Medidas técnicas para la reposición

- Encamado y subrasante: sobreexcavar, geotextil separador y granular bien graduado; compactación por capas; control de humedad.
- Tubería y juntas: material con rigidez anular suficiente; juntas elásticas y estancas; verificación de pendiente y alineación.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Cámaras nuevas: losa de reparto sobre estrato competente; recubrimientos resistentes a H_2S; ventilación y accesos seguros.
- Drenaje y contraflotación: encama drenante, subdrenes laterales; lastre/anclaje donde el nivel freático lo exija.

9.14 Amenazas Ambientales

Amenaza por Vertimientos accidentales

Amenaza: Descarga de aguas residuales sin control hacia el terreno y escorrentías.
Medidas:

- Instalar bypass sanitario temporal con tuberías flexibles y bombeo para conducir el flujo.
- Implementar contenedores o diques provisionales para retener aguas residuales en caso de fuga.
- Disponer de un plan de contingencia con equipos de bombeo y personal entrenado para emergencias.
- Coordinar con la autoridad ambiental para manejo de vertimientos y disposición adecuada.

Amenaza por Contaminación de cuerpos de agua

Amenaza: Ingreso de aguas residuales al caño y arrastre de sedimentos contaminados.
Medidas:

- Colocar barreras de sedimentos, geobolsas o filtros geotextiles en puntos de escorrentía.
- Monitorear periódicamente la calidad del agua (DBO, DQO, coliformes) en el caño.
- Establecer zonas de exclusión para evitar vertimientos directos durante la obra.
- Reforestar o revegetar taludes afectados tras la construcción.

Amenaza por Emisión de gases

Amenaza: Riesgo para trabajadores y comunidad cercana; olores ofensivos.
Medidas:

- Monitoreo continuo de atmósferas en excavaciones y pozos con detectores portátiles.
- Implementar ventilación forzada en cámaras y zanjas profundas.
- Uso obligatorio de EPP con filtros adecuados para personal en espacios confinados.
- Recubrimientos anticorrosivos en estructuras de concreto para prevenir degradación por H_2S.

Amenaza por Afectación de suelos y vegetación

Amenaza: Infiltración de aguas residuales, pérdida de cobertura vegetal, erosión.
Medidas:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

- Retirar y acopiar suelos excavados en sitios controlados, alejados de la zanja y protegidos con lonas.
- Implementar cunetas de desvío para escorrentía pluvial y evitar arrastre de contaminantes.
- Restaurar áreas intervenidas con siembra de especies nativas y control de erosión.
- Monitorear parámetros de suelo (pH, salinidad, humedad) en zonas afectadas.

Amenazas adicionales por condiciones actuales

Amenaza: Exposición de población cercana (colegio, viviendas) a olores, vectores y contaminación.
Medidas:

- Cerramiento perimetral y señalización en toda la zona de obra.
- Plan de comunicación comunitaria con colegio y vecinos sobre riesgos y medidas preventivas.
- Programar trabajos en horarios que minimicen exposición de la comunidad.
- Brigadas de respuesta rápida para atender quejas o emergencias ambientales.

9.15 Amenazas por Incendios / Explosiones

Medidas de prevención

- Instalación de detectores portátiles de gases inflamables en excavaciones y pozos.
- Ventilación forzada en zanjas profundas para dispersar gases acumulados.
- Retiro de vegetación seca y ramas en áreas de excavación.
- Protocolos de trabajo seguro con maquinaria eléctrica (zonas libres de gases).
- Capacitación a personal en manejo de sustancias inflamables y espacios confinados.

- Medidas de mitigación

- Brigadas de obra equipadas con extintores y equipos de respiración autónoma.
- Cubiertas temporales para reducir exposición de aguas residuales al aire libre
- Plan de contingencia para evacuación comunitaria en caso de incendio/explosión.
- Coordinación con Bomberos y CLOPAD para respuesta inmediata.

Medidas de contingencia

- Protocolos de cierre de obra durante tormentas eléctricas (fuente de ignición natural).
- Disponibilidad de plantas eléctricas seguras para evitar sobrecarga en redes.
- Registro y reporte inmediato de incidentes a autoridades competentes.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



9.16 Amenazas por Derrames / fugas

Medidas de prevención

- Reposición de tuberías con materiales resistentes (PVC, PEAD, concreto reforzado).
- Instalación de juntas herméticas y flexibles para evitar exfiltración.
- Cubiertas temporales en excavaciones para reducir exposición de aguas residuales.
- Plan de manejo de aguas lluvias con drenajes provisionales.

Medidas de mitigación

- Bypass sanitario temporal para garantizar continuidad del servicio durante obras.
- Bombeo controlado en excavaciones con acumulación de aguas residuales.
- Barreras de sedimentos y geotextiles para evitar contaminación de caños.
- Protocolos de limpieza inmediata en caso de derrames accidentales.

Medidas de contingencia

- Brigadas de emergencia capacitadas en manejo de derrames y fugas.
- Coordinación con CLOPAD y Bomberos para atención rápida.
- Plan de evacuación comunitaria en caso de rebose masivo.

9.17 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor

Medidas de prevención

- Diseño estructural conforme a NSR-10 y RAS 2017.
- Uso de materiales certificados (PVC, PEAD, concreto reforzado).
- Entibado y soporte adecuado en excavaciones profundas.
- Compactación controlada del encamado granular para evitar asentamientos.
- Inspección técnica de juntas y conexiones antes de la puesta en servicio.

Medidas de mitigación

- Reparación inmediata de fisuras y fugas detectadas en pruebas hidráulicas.
- Revegetación y estabilización de taludes para reducir erosión.
- Implementación de bypass sanitario en caso de colapso parcial.
- Protocolos de evacuación comunitaria en zonas cercanas a fallas críticas.

Medidas de contingencia

- Brigadas de emergencia capacitadas en manejo de colapsos estructurales.
- Coordinación con CLOPAD y Bomberos para atención rápida.
- Plan de contingencia para continuidad del servicio mediante bombeo alterno.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



9.18 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos

Medidas de prevención

- Mantenimiento preventivo programado de maquinaria y equipos.
- Inspección diaria de bombas, retroexcavadoras y herramientas eléctricas.
- Capacitación al personal en uso seguro de equipos.
- Disponibilidad de repuestos críticos para reducir tiempos de parada.
- Protocolos de operación segura en ambientes húmedos.

Medidas de mitigación

- Equipos de respaldo (bombas alternas) para bypass sanitario.
- Plan de contingencia para evacuación de aguas residuales en caso de falla de bombeo.
- Uso de cubiertas plásticas temporales para reducir exposición de aguas residuales.
- Brigadas de obra equipadas con extintores y kits eléctricos de emergencia.

Medidas de contingencia

- Coordinación con CLOPAD y Bomberos para atención inmediata de incidentes.
- Protocolos de evacuación comunitaria en caso de rebose masivo por falla de equipos.
- Registro y reporte inmediato de fallas a la interventoría y empresa de servicios públicos.

9.19 Amenazas por Accidentes de Transito

Medidas de prevención

- Diseño de accesos controlados para ingreso/salida de maquinaria.
- Señalización vertical y horizontal conforme al Manual de Señalización Vial (MinTransporte).
- Control de tráfico con personal capacitado (paleteros) en horas de operación.
- Podas preventivas para mejorar visibilidad en accesos.
- Cubiertas temporales y drenajes para evitar escorrentía de aguas residuales hacia la vía.

Medidas de mitigación

- Plan de manejo de tráfico (PMT) aprobado por la autoridad de tránsito.
- Horarios restringidos de ingreso/salida de maquinaria para reducir congestión.
- Protocolos de limpieza inmediata en caso de derrames sobre la vía.
- Coordinación con Policía de Tránsito para apoyo en eventos críticos.

Medidas de contingencia

- Brigadas de obra capacitadas en primeros auxilios y atención de accidentes viales.
- Protocolos de evacuación comunitaria en caso de bloqueo prolongado.
- Coordinación con CLOPAD y Bomberos para atención de emergencias mayores.

 CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM  310 275 4092  CALLE 41B No. 30-11



9.20 Amenazas por Accidentes de Trabajo

Medidas de prevención

- Cerramiento perimetral y señalización en todas las excavaciones.
- Uso obligatorio de EPP (casco, guantes, botas dieléctricas, mascarillas).
- Capacitación en seguridad laboral y protocolos de trabajo seguro.
- Podas preventivas de árboles y retiro de ramas sueltas.
- Protocolos de ingreso/egreso de maquinaria con control de tráfico interno.

Medidas de mitigación

- Brigadas de primeros auxilios en obra con kits médicos disponibles.
- Protocolos de limpieza inmediata en caso de contacto con aguas residuales.
- Plan de evacuación interna en caso de caída de taludes o colapso de excavaciones.
- Supervisión constante de condiciones de humedad y estabilidad del terreno.

Medidas de contingencia

- Coordinación con CLOPAD, Bomberos y Defensa Civil para atención de emergencias.
- Protocolos de traslado inmediato a centros de salud en caso de accidente grave.
- Registro y reporte obligatorio de incidentes a la interventoría y autoridades laborales.

9.21 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales

Medidas de prevención

- Cerramiento reforzado y señalización en zonas de excavación.
- Plan de comunicación comunitaria para informar avances y beneficios del proyecto.
- Coordinación con autoridades locales para garantizar seguridad en accesos.
- Protocolos de ingreso restringido para personal y maquinaria.

Medidas de mitigación

- Planes de contingencia para suministro alterno de materiales en caso de bloqueos.
- Brigadas de seguridad interna para proteger infraestructura crítica.
- Protocolos de manejo de aguas residuales expuestas para evitar rebose durante protestas.
- Espacios de diálogo comunitario para reducir tensiones sociales.

Medidas de contingencia

- Coordinación con CLOPAD, Policía y Ejército para atención de disturbios.
- Suspensión temporal de actividades en caso de riesgo alto para trabajadores.
- Activación de planes de evacuación para personal y comunidad cercana.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



9.22 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia

Medidas de prevención

- Cerramiento perimetral reforzado en todas las excavaciones y zonas de acopio.
- Iluminación nocturna en frentes de obra y accesos.
- Registro de ingreso y salida de personal y maquinaria.
- Contratación de vigilancia privada en horarios críticos.
- Plan de comunicación comunitaria para reducir tensiones sociales.

Medidas de mitigación

- Protocolos de denuncia inmediata ante hurtos o asaltos.
- Reubicación segura de materiales y herramientas en bodegas cerradas.
- Brigadas internas de seguridad para control de accesos.
- Coordinación con Policía Metropolitana de Villavicencio para patrullajes preventivos.

Medidas de contingencia

- Suspensión temporal de actividades en caso de disturbios o asonadas.
- Activación de planes de evacuación para personal en riesgo.
- Coordinación con CLOPAD y autoridades locales para atención de emergencias sociales.

9.23 Amenazas por Atentados Terroristas

Medidas de prevención

- Cerramiento perimetral reforzado con control de accesos.
- Iluminación nocturna y vigilancia privada en frentes de obra.
- Registro de ingreso y salida de personal y maquinaria.
- Capacitación en protocolos de seguridad y detección de artefactos sospechosos.
- Coordinación con Policía y Ejército para patrullajes preventivos.

Medidas de mitigación

- Protocolos de evacuación inmediata en caso de amenaza o hallazgo de artefactos.
- Reubicación segura de materiales y maquinaria en bodegas cerradas.
- Planes de contingencia para continuidad del servicio en caso de sabotaje.
- Comunicación comunitaria para reducir rumores y percepción de inseguridad.

Medidas de contingencia

- Activación de CLOPAD y organismos de seguridad ante incidentes.
- Suspensión temporal de actividades en zonas de riesgo.
- Atención médica y psicológica para trabajadores y comunidad afectada.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



10. Responsabilidades

10.1 Amenazas sísmicas

Contratista de obra

- Implementar diseños sismo-resistentes en tuberías y pozos.
- Garantizar encamados y anclajes adecuados en zonas con nivel freático alto.
- Aplicar protocolos de seguridad en excavaciones y estructuras.

Interventoría

- Verificar cumplimiento de la NSR-10 y normativa técnica aplicable.
- Supervisar calidad de materiales y procedimientos constructivos.
- Validar planes de contingencia y protocolos de emergencia en obra.

Empresa de Servicios Públicos (EAAV O EDESA SA ESP)

- Operar y mantener la red con criterios de resiliencia sísmica.
- Realizar inspecciones post-sismo en pozos y tuberías.
- Coordinar planes de continuidad del servicio.

Autoridad Ambiental (CORMACARENA u otra)

- Vigilar impactos ambientales derivados de rupturas o vertimientos post-sismo.
- Coordinar monitoreo de calidad de agua y suelos afectados.

Municipio / CLOPAD (Comité Local de Prevención y Atención de Desastres)

- Coordinar simulacros comunitarios y planes de evacuación.
- Gestionar la respuesta inmediata ante emergencias sísmicas.
- Articular acciones con Bomberos, Defensa Civil y Policía.

Servicio Geológico Colombiano (SGC)

- Monitorear actividad sísmica en la región.
- Emitir alertas tempranas y estudios de amenaza sísmica.

La gestión de la amenaza sísmica requiere una responsabilidad compartida:

- Técnica y constructiva: contratista e interventoría.
- Operativa: empresa de servicios públicos.
- Ambiental: autoridad ambiental.
- Social e institucional: municipio y CLOPAD.
- Científica: Servicio Geológico Colombiano
-

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



10.2 Amenazas por inundaciones

Inspección de pozos y tuberías
- Responsable: Contratista durante la obra / Interventoría en operación.

Medición de caudales en el interceptor
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP).

Monitoreo de calidad de agua en caños
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA u otra entidad competente).

Control de sedimentos en excavaciones
- Responsable: Contratista de obra.

Registro comunitario de afectaciones
- Responsable: Municipio / CLOPAD (Comité Local de Prevención y Atención de Desastres).

10.3 Amenazas por Tormentas eléctricas

Inspección de excavaciones y cerramientos
- Responsable: Contratista / Interventoría.
- Frecuencia: Semanal y post-evento.

Monitoreo de árboles y vegetación cercana
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente.
- Frecuencia: Trimestral y post-tormenta.

Registro de interrupciones eléctricas y fallas en bombeo
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP).
- Frecuencia: Post-evento y mensual.

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA).
- Frecuencia: Mensual y post-tormenta.

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio.
- Frecuencia: Trimestral y post-evento.

10.4 Amenaza por vientos fuertes

Inspección de excavaciones y cerramientos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-evento

Monitoreo de árboles y vegetación cercana
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente
- Frecuencia: Trimestral y post-vientos fuertes

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Registro de interrupciones eléctricas y fallas en bombeo
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Post-evento y mensual

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

10.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos

Inspección de taludes y excavaciones
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-lluvia intensa

Monitoreo de nivel freático y drenajes provisionales
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (EAAV EDESA) / Contratista
- Frecuencia: Mensual y post-evento

Registro de árboles y vegetación en riesgo de volcamiento
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente
- Frecuencia: Trimestral y post-lluvia fuerte

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-deslizamiento

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

10.6 Amenazas Hidráulicas

Amenaza por Subdimensionamiento del interceptor

La responsabilidad de implementar las medidas preventivas para mitigar los problemas derivados del subdimensionamiento de un interceptor recae en varios actores clave durante las fases de diseño, construcción y operación, con roles claramente definidos.

Actores Principales y sus Responsabilidades

Actor	Responsabilidad Clave
Entidad Contratante / Promotor del Proyecto	Define los requerimientos del proyecto, asegura la viabilidad y financiamiento, y contrata a los diseñadores y

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

	constructores. Es responsable de la planificación general y de que el proyecto cumpla con la normativa.
Diseñador / Consultor	Realiza los estudios técnicos, hidráulicos y de capacidad necesarios. Es responsable de dimensionar correctamente el interceptor, considerando el caudal actual y futuro (crecimiento poblacional y desarrollo urbano), e incluir las medidas de manejo ambiental y mitigación en los planos y especificaciones técnicas del proyecto.
Contratista (Empresa Constructora)	Es responsable de la ejecución física de las obras de acuerdo con los planos y especificaciones del diseño. Durante la construcción, debe implementar las medidas de prevención y mitigación ambiental, social y de seguridad establecidas en el Plan de Gestión Ambiental (PGA) y el Plan de Emergencia y Contingencia (PEC).
Supervisor / Interventor de Obra	Es un tercero (usualmente independiente o parte de la entidad contratante) que supervisa que el contratista cumpla rigurosamente con los diseños, las especificaciones técnicas y la normativa aplicable, incluyendo las medidas preventivas y ambientales.
Autoridades Ambientales y Reguladoras	Establecen y hacen cumplir las normativas ambientales y de saneamiento. Realizan monitoreo y pueden imponer sanciones si se incumplen los permisos o la ejecución causa impactos negativos no previstos.
Operador del Sistema (Empresa de Servicios Públicos)	Una vez finalizada la construcción y entregada la obra, asume la responsabilidad de la operación, mantenimiento y gestión del sistema. Implementa medidas preventivas a largo plazo como limpiezas periódicas y control de vertimientos.

Tabla 23: Actores principales en subdimensionamiento dle interceptor

Puntos Clave de Responsabilidad en la Construcción

- Implementación en campo: El contratista es el principal responsable de implementar las medidas preventivas durante la fase de construcción, como el control de erosión, la gestión adecuada de materiales, la instalación correcta de tuberías y las medidas de seguridad laboral.
- Aprobación y Monitoreo: La entidad contratante y la interventoría son responsables de asegurar, mediante la supervisión, que el contratista cumple con lo estipulado en los planes de manejo.
- Cumplimiento Normativo: Todos los actores deben adherirse a la normativa local, nacional e internacional vigente en materia de saneamiento y protección ambiental.

Si bien la planificación y el diseño son cruciales, la implementación física y directa de las medidas preventivas en la obra recae sobre el contratista, bajo la estricta supervisión de la interventoría y la entidad promotora del proyecto.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Amenaza por Sedimentación interna

La responsabilidad de implementar las medidas preventivas para mitigar los problemas derivados del subdimensionamiento de un interceptor recae en varios actores clave durante las fases de diseño, construcción y operación, con roles claramente definidos.

Actor	Responsabilidad Clave
Entidad Contratante (Propietario del proyecto)	Define los requerimientos del proyecto, asegura la viabilidad y financiamiento. Es responsable de que el proyecto cumpla con las normativas ambientales y de saneamiento desde la concepción y de contratar personal idóneo para el diseño, construcción y supervisión.
Diseñador / Consultor	Es responsable de que el diseño hidráulico del interceptor asegure velocidades autolimpiantes adecuadas. Debe incluir en los planos y especificaciones técnicas todas las medidas de manejo ambiental y control de sedimentos que el contratista debe seguir durante la obra.
Contratista (Empresa Constructora)	Es el principal responsable de la ejecución física de las medidas en campo. Debe seguir rigurosamente los planos, especificaciones y el Plan de Gestión Ambiental (PGA). Esto incluye el control de erosión en el sitio de trabajo, el manejo adecuado de materiales y la instalación correcta de la tubería para asegurar la pendiente adecuada.
Supervisor / Interventor de Obra	Actúa como los "ojos" de la entidad contratante. Su responsabilidad es monitorear y asegurar que el contratista cumpla a cabalidad con todas las medidas preventivas, las especificaciones técnicas y la normativa. Tiene la autoridad para detener la obra si no se cumplen estos requerimientos.
Autoridades Ambientales y Reguladoras	Tienen la responsabilidad de establecer y hacer cumplir la normativa. Otorgan los permisos ambientales y pueden realizar inspecciones sorpresa y imponer sanciones si las medidas preventivas no se implementan correctamente o si la obra causa contaminación.

Tabla 24: Actores principales por sedimentación interna

Puntos Clave de Responsabilidad en la Construcción

- Ejecución en Campo: El contratista debe ejecutar directamente medidas como:
  - -Instalación de barreras de sedimentación y control de erosión alrededor de la zanja.
  - -Manejo adecuado de los materiales de excavación para evitar que lleguen a cuerpos de agua cercanos o a la red existente.
  - -Asegurar la pendiente correcta de la tubería durante la instalación para garantizar la velocidad de flujo autolimpiante.
- Aprobación y Monitoreo: La interventoría y la entidad contratante deben auditar y aprobar la correcta implementación de estas medidas antes de aceptar cualquier tramo de la obra.
- Cumplimiento Normativo: Todos los actores deben adherirse a la normativa local, nacional e internacional vigente en materia de saneamiento y protección ambiental para prevenir la sedimentación y sus consecuencias.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



La responsabilidad de implementar las medidas preventivas en la construcción recae principalmente en el contratista, bajo la estricta supervisión y control de la interventoría y la entidad contratante.

Amenaza por Infiltración / Intrusión

Actores Principales y sus Responsabilidades

Actor	Responsabilidad Clave
Entidad Contratante / Promotor del Proyecto	Es responsable de definir los requerimientos del proyecto, asegurar el financiamiento y contratar a profesionales competentes. Su deber es garantizar que los términos de referencia y los contratos exijan una construcción hermética ("bottletight") y libre de I/I, de acuerdo con la normativa vigente.
Diseñador / Consultor	Es responsable de un diseño que minimice la I/I. Esto incluye especificar el tipo de tubería y juntas adecuadas (impermeables y flexibles), definir métodos de instalación que aseguren la pendiente y el soporte del suelo correctos, y establecer límites estrictos de I/I permitida en las especificaciones técnicas del proyecto.
Contratista (Empresa Constructora)	Es el principal responsable de la ejecución física de las medidas preventivas en campo. Esto implica:
	Instalar las tuberías y juntas según las especificaciones del fabricante y del diseño.
	* Asegurar que la preparación de la zanja y la instalación se realicen en condiciones secas (si es posible) y con el soporte adecuado del suelo.
	* Implementar medidas de control de erosión y sedimentos en el sitio de construcción para evitar la entrada de material superficial.
	* Realizar pruebas de estanqueidad (hermeticidad) y de fugas para garantizar el cumplimiento de los límites de I/I especificados antes de la recepción de la obra.

Tabla 25: Actores principales por infiltración / Intrusión

Supervisor / Interventor de Obra: Es responsable de la vigilancia y el control del cumplimiento. Debe monitorear constantemente las actividades del contratista, verificar la calidad de los materiales y la correcta instalación, y certificar que las pruebas de estanqueidad se realicen correctamente y cumplan con los estándares exigidos antes de dar el visto bueno a la obra.

Autoridades Ambientales y Reguladoras: Tienen la responsabilidad de establecer y hacer cumplir las normativas y estándares de calidad del agua y saneamiento. Otorgan los permisos ambientales y pueden inspeccionar la obra para asegurar que las medidas preventivas se estén implementando correctamente y no se cause contaminación.

Operador del Sistema (Empresa de Servicios Públicos): Aunque su responsabilidad principal es la operación y mantenimiento, debe participar en la revisión del diseño y la recepción de la obra para asegurar que la construcción final cumpla con los estándares operativos requeridos y minimice futuros problemas de I/I.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Aunque existe una responsabilidad compartida, la implementación directa y efectiva de las medidas preventivas en el terreno recae principalmente sobre el contratista, bajo la estricta supervisión de la interventoría, para garantizar una construcción estanca y funcional.

Amenaza por Golpes de ariete y sobrepresiones

La responsabilidad de implementar las medidas preventivas contra el golpe de ariete durante la construcción de una red de alcantarillado (específicamente en sistemas de bombeo) recae en varios actores, con una clara jerarquía de responsabilidades:

Actores Principales y sus Responsabilidades

Actor	Responsabilidad Clave
Entidad Contratante / Promotor	Es responsable de la viabilidad general del proyecto y de asegurar que los términos de referencia y contratos exijan el análisis y la implementación de medidas contra el golpe de ariete. Define los estándares de calidad y seguridad requeridos para la operación futura del sistema.
Diseñador / Consultor	Responsable del análisis y la especificación de las medidas. Debe realizar la modelación hidráulica de transitorios para predecir las sobrepresiones y subpresiones, y especificar los dispositivos de protección necesarios (válvulas de alivio, tanques de aire, variadores de frecuencia, etc.) en los planos y documentos técnicos del proyecto.
Contratista (Empresa Constructora)	Es el principal responsable de la ejecución física e instalación correcta de los dispositivos de protección y del sistema de bombeo conforme a los planos y especificaciones del diseño. Debe asegurar que los materiales y equipos instalados cumplan con la resistencia a la presión especificada, y seguir los procedimientos operativos durante las pruebas iniciales.
Supervisor / Interventor de Obra	Tiene la responsabilidad de vigilar y controlar que el contratista cumpla rigurosamente con la instalación de todos los elementos diseñados para mitigar el golpe de ariete. Certifica que las pruebas de estanqueidad y funcionamiento se realicen correctamente y que el sistema esté listo para operar de manera segura.
Operador del Sistema (Empresa de Servicios Públicos)	Una vez finalizada la construcción y realizada la entrega de la obra, asume la responsabilidad del uso y mantenimiento correctos del sistema. Debe seguir los protocolos operativos (arranque y parada de bombas, manejo de válvulas) diseñados para prevenir el golpe de ariete.

Tabla 26: Actores principales por golpe de ariete y sobrepresiones

Puntos Clave de Responsabilidad en la Construcción

Integración del Diseño y la Ejecución: La responsabilidad es secuencial. Un diseño deficiente que omita el análisis de golpe de ariete es un fallo del diseñador. Sin embargo, si el diseño es

correcto pero el contratista no instala los dispositivos o los instala mal, la responsabilidad recae en el contratista y el supervisor que lo permitió.

Pruebas de Funcionamiento: Es crucial que, durante la puesta en marcha, se realicen pruebas que simulen fallos (como un corte de energía) para verificar que los dispositivos de protección funcionen correctamente. El contratista es responsable de estas pruebas iniciales, bajo la supervisión de la interventoría

La implementación directa de las medidas en campo es responsabilidad del contratista, pero la garantía de que estas medidas sean las adecuadas y se instalen correctamente es una responsabilidad compartida que comienza con el diseño y es validada por la supervisión antes de la entrega final.

10.7 Amenazas Geotécnicas

Amenaza por Suelos blandos o compresibles, Nivel freático alto, licuefacción local, colapso de zanjas o del terreno

Responsables principales

1. Diseñador / Consultor

- Responsabilidad:

- Identificar puntos críticos en los estudios geotécnicos e hidráulicos.
- Especificar medidas preventivas en planos, memorias y pliegos (ej. sobreexcavación, encamado granular, entibado).
- Definir criterios de aceptación y rechazo de materiales.
- Alcance: Garantizar que el diseño sea seguro y constructible bajo las condiciones locales.

2. Contratista de obra

- Responsabilidad:

- Implementar las medidas preventivas en campo según especificaciones.
- Ejecutar entibados, bombeos, reemplazos de suelo y compactaciones controladas.
- Documentar procedimientos y controles de calidad.
- Alcance: Asegurar que la obra se construya conforme al diseño y con seguridad para trabajadores y comunidad.

3. Interventoría / Supervisión técnica

- Responsabilidad:

- Verificar cumplimiento de especificaciones y medidas preventivas.
- Aprobar cambios de diseño en caso de condiciones imprevistas.
- Controlar calidad de materiales, compactación y estabilidad de zanjas.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Alcance: Garantizar que las medidas se apliquen y que los riesgos se mitiguen efectivamente.

4. Entidad contratante / Empresa de servicios públicos (EAAV)

- Responsabilidad:

- Exigir cumplimiento normativo (RAS 2017, NSR-10, normas locales).
- Asegurar recursos para implementar medidas preventivas.
- Coordinar permisos y servidumbres para drenajes y obras auxiliares.
- Alcance: Velar por la sostenibilidad y operación segura del interceptor.

5. Laboratorio geotécnico acreditado

- Responsabilidad:

- Realizar ensayos confiables para caracterizar suelos y validar parámetros de diseño.
- Emitir informes técnicos que respalden decisiones de campo.
- Alcance: Proveer datos de calidad para que las medidas preventivas sean adecuadas.

Propuesta de medidas y responsables

Medida preventiva	Responsable principal	Responsable de verificación
Sobreexcavación y reemplazo con granular	Contratista	Interventoría
Colocación de geotextil separador	Contratista	Interventoría
Bombeo y control de nivel freático	Contratista	Interventoría / Empresa
Entibado de zanjas	Contratista	Interventoría
Estabilización con cal/cemento	Contratista	Diseñador / Interventoría
Ensayos de compactación y densidad	Laboratorio	Interventoría
CCTV post-obra para verificar ovalización	Empresa de servicios públicos	Interventoría

Tabla 27: Responsables en amenazas geotécnicas.

- El diseñador define las medidas.
- El contratista las ejecuta.
- La interventoria las controla.
- La empresa de servicios públicos garantiza recursos y sostenibilidad.
- El laboratorio valida parámetros.

10.8 Amenazas Constructivas

- Diseñador/Consultor: define medidas, criterios de aceptación y planos de reposición.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Contratista: ejecuta bypass, entibado, reposición de tuberías y reconstrucción de cámaras; gestiona seguridad y logística.
- Interventoría: verifica cumplimiento, autoriza cambios ante hallazgos, controla calidad de encamado y rellenos.
- Empresa/Municipio: coordina permisos, tráfico, atención comunitaria y manejo ambiental; asegura recursos para medidas temporales y definitivas

10.9 Amenazas Ambientales

Para garantizar que las medidas de prevención y mitigación se implementen correctamente frente a vertimientos accidentales, contaminación de cuerpos de agua, emisión de gases y afectación de suelos y vegetación, es fundamental definir responsabilidades claras entre los actores del proyecto.

Contratista de obra

- Responsabilidades:

- Implementar medidas de control inmediato (bypass sanitario, entibado, barreras de sedimentos).
- Manejar adecuadamente los suelos excavados y residuos generados.
- Instalar sistemas de ventilación y monitoreo de gases en excavaciones y pozos.
- Cumplir protocolos de seguridad ambiental y reportar incidentes.
- Alcance: ejecución directa de las medidas en campo y documentación de controles ambientales.

Interventoría / Supervisión técnica

- Responsabilidades:

- Verificar que el contratista cumpla con las medidas ambientales establecidas.
- Aprobar cambios de diseño o medidas adicionales ante hallazgos imprevistos.
- Supervisar muestreos de agua, suelo y aire; validar resultados de laboratorio.
- Emitir informes de cumplimiento ambiental periódicos.
- Alcance: control independiente y aseguramiento de calidad ambiental.

Empresa de servicios públicos (EAAV) / Municipio (Villavicencio)

- Responsabilidades:

- Coordinar con la autoridad ambiental y garantizar recursos para medidas de mitigación.
- Gestionar la comunicación con la comunidad afectada (colegio, viviendas cercanas).
- Asegurar la disposición final adecuada de aguas bombeadas y residuos.
- Integrar el plan de contingencia ambiental en la operación del sistema.
- Alcance: liderazgo institucional y sostenibilidad del proyecto.

Autoridad ambiental (Corporación Autónoma Regional Cormacarena / Alcaldía)

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Responsabilidades:
  - Exigir cumplimiento de la normativa ambiental vigente (Ley 99/1993, RAS 2017, decretos locales).
  - Realizar inspecciones y auditorías ambientales durante la obra.
  - Imponer correctivos o sanciones en caso de incumplimiento.
  - Validar planes de restauración y revegetación post-obra.
  - Alcance: vigilancia regulatoria y protección del medio ambiente.

Laboratorio acreditado

- Responsabilidades:

  - Ejecutar muestreos y análisis de agua, suelo y aire con metodologías certificadas.
  - Emitir informes técnicos que respalden decisiones ambientales.
  - Alcance: soporte técnico-científico para validar la eficacia de las medidas

Conclusión

La gestión de amenazas ambientales requiere una responsabilidad compartida:

- El contratista ejecuta,
- La interventoría controla,
- La empresa/municipio coordina y financia,
- La autoridad ambiental regula y sanciona,
- El laboratorio valida técnicamente.

Solo con esta cadena de responsabilidades se asegura la protección del caño Pendejo, la comunidad cercana y la sostenibilidad del interceptor sanitario.

10.10 Amenazas por Incendios / Explosiones

Monitoreo de gases en excavaciones y pozos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario y post-evento

Inspección de vegetación y material combustible cercano
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente
- Frecuencia: Trimestral y post-temporada seca

Revisión de protocolos de seguridad eléctrica y maquinaria
- Responsable: Contratista / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Mensual

Monitoreo de calidad de aire y emisiones
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-incidente

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

- Frecuencia: Trimestral y post-evento

10.11 Amenazas por Derrames / fugas

Inspección de tuberías y pozos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal en obra / trimestral en operación

Monitoreo de caudales y presión en el interceptor
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-derrame

Registro de afectaciones comunitarias (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

Control de excavaciones y drenajes provisionales
- Responsable: Contratista
- Frecuencia: Semanal

10.12 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor

Inspección estructural de tuberías y pozos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal en obra / trimestral en operación

Pruebas hidráulicas y de estanqueidad
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Previa a la puesta en servicio y anual

Monitoreo de asentamientos diferenciales en excavaciones
- Responsable: Contratista / Geotecnista
- Frecuencia: Mensual y post-lluvia intensa

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



10.13 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos

Inspección diaria de maquinaria y equipos en obra
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Monitoreo del funcionamiento de bombas de bypass sanitario
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Diario y post-evento

Registro de mantenimiento preventivo y correctivo
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Mensual

Monitoreo de condiciones eléctricas y ventilación en excavaciones
- Responsable: Contratista / Autoridad Ambiental (CORMACARENA en caso de emisiones)
- Frecuencia: Semanal

Registro comunitario de afectaciones (rebose, olores, accidentes)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

10.14 Amenazas por Accidentes de Transito

Inspección de accesos y señalización vial
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-evento

Monitoreo de tráfico vehicular en la vía nacional
- Responsable: Policía de Tránsito / Municipio
- Frecuencia: Diario en horas pico

Registro de ingreso/salida de maquinaria pesada
- Responsable: Contratista
- Frecuencia: Diario

Monitoreo de escorrentía y derrames hacia la vía
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP) / Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Semanal y post-lluvia intensa

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

10.15 Amenazas por Accidentes de Trabajo

Inspección diaria de excavaciones y cerramientos

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Monitoreo del uso de EPP por trabajadores
- Responsable: Contratista / Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Frecuencia: Diario

Registro de incidentes y accidentes laborales
- Responsable: Contratista / Interventoría / ARL (Administradora de Riesgos Laborales)
- Frecuencia: Inmediato y mensual consolidado

Monitoreo de condiciones de humedad y estabilidad del terreno
- Responsable: Contratista / Geotecnista
- Frecuencia: Semanal y post-lluvia intensa

Registro comunitario de afectaciones (peatones, viviendas cercanas)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

10.16 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales

Monitoreo de accesos y cerramientos de obra
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Registro de manifestaciones y bloqueos en la vía nacional
- Responsable: Policía de Tránsito / Municipio
- Frecuencia: Diario y post-evento

Monitoreo de condiciones comunitarias (percepción social, quejas, reclamos)
- Responsable: Municipio / CLOPAD / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

Inspección de infraestructura crítica (tuberías, pozos, maquinaria)
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-protesta

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

10.17 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia

Inspección de cerramientos y accesos de obra
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Registro de incidentes de hurto o vandalismo
- Responsable: Contratista / Policía Metropolitana

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Frecuencia: Inmediato y consolidado mensual

Monitoreo de iluminación y vigilancia nocturna
- Responsable: Contratista / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Semanal

Registro comunitario de afectaciones (barrios Samán de la Rivera y Porfía)
- Responsable: Municipio / CLOPAD
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

Patrullajes preventivos en zonas de obra
- Responsable: Policía Metropolitana de Villavicencio
- Frecuencia: Diario en horarios críticos

10.18 Amenazas por Atentados Terroristas

Inspección de cerramientos y accesos de obra
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Registro de incidentes de seguridad y hallazgos sospechosos
- Responsable: Contratista / Policía Metropolitana / Ejército Nacional
- Frecuencia: Inmediato y consolidado mensual

Monitoreo de iluminación y vigilancia nocturna
- Responsable: Contratista / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Semanal

Patrullajes preventivos en zonas de obra y accesos
- Responsable: Policía Metropolitana / Ejército Nacional
- Frecuencia: Diario en horarios críticos

Registro comunitario de afectaciones y percepción de seguridad
- Responsable: Municipio / CLOPAD
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

11. Monitoreo, seguimiento y actualización

11.1 Amenazas sísmicas

- Inspección semanal de excavaciones.
- Medición de H_2S en pozos.
- Registro de quejas comunitarias.

Mecanismos de evaluación

- Determinar si la instalación del bypass redujo los vertimientos.
- Analizar si la revegetación estabilizó los taludes.
- Verificar si los indicadores de calidad de agua mejoraron tras la obra

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



11.2 Amenazas por inundaciones

- Inspección de pozos y tuberías (semanal en obra / trimestral en operación).
- Medición de caudales en el interceptor (mensual / post-evento).
- Monitoreo de calidad de agua en caños (mensual / post-inundación).
- Control de sedimentos en excavaciones (semanal).
- Registro comunitario de afectaciones (trimestral).

11.3 Amenazas por Tormentas eléctricas

Inspección de excavaciones y cerramientos
- Responsable: Contratista / Interventoría.
- Frecuencia: Semanal y post-evento.

Monitoreo de árboles y vegetación cercana
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente.
- Frecuencia: Trimestral y post-tormenta.

Registro de interrupciones eléctricas y fallas en bombeo
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP).
- Frecuencia: Post-evento y mensual.

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA).
- Frecuencia: Mensual y post-tormenta.

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio.
- Frecuencia: Trimestral y post-evento.

11.4 Amenaza por vientos fuertes

Inspección de excavaciones y cerramientos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-evento

Monitoreo de árboles y vegetación cercana
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente
- Frecuencia: Trimestral y post-vientos fuertes

Registro de interrupciones eléctricas y fallas en bombeo
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Post-evento y mensual

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)

 CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM  310 275 4092  CALLE 41B No. 30-11



- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

11.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos

Inspección de taludes y excavaciones
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-lluvia intensa

Monitoreo de nivel freático y drenajes provisionales
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP) / Contratista
- Frecuencia: Mensual y post evento

Registro de árboles y vegetación en riesgo de volcamiento
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente
- Frecuencia: Trimestral y post-lluvia fuerte

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-deslizamiento

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

11.6 Amenazas Hidráulicas

Amenaza por Subdimensionamiento del interceptor

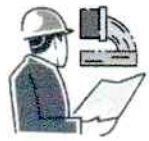
Las actividades de monitoreo y seguimiento son cruciales para asegurar la efectividad de un plan de gestión del riesgo relacionado con problemas en una red de alcantarillado (como la sedimentación o el subdimensionamiento del interceptor). Estas actividades permiten evaluar el rendimiento del sistema, identificar problemas emergentes y verificar el cumplimiento de las medidas preventivas y de mitigación.

1. Monitoreo del Rendimiento Hidráulico y Operativo

El objetivo es evaluar cómo se comporta el sistema bajo diferentes condiciones de flujo.

- Medición y registro continuo de caudales: Instalar sensores de flujo en puntos estratégicos del interceptor para registrar el volumen y la velocidad del agua en tiempo real. Esto ayuda a identificar patrones de flujo pico y determinar si la capacidad diseñada es suficiente.
- Monitoreo del nivel del agua: Utilizar medidores de nivel (ultrasónicos, de presión) para detectar incrementos inusuales que puedan indicar obstrucciones, desbordamientos inminentes o un subdimensionamiento real en momentos de alto flujo.
- Inspecciones visuales y con CCTV: Realizar inspecciones periódicas (semanales, mensuales o trimestrales, según el riesgo) utilizando cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV) para verificar el estado interno de las tuberías, identificar

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



sedimentación acumulada, obstrucciones, daños estructurales, fugas o intrusión de raíces.

- Registro de eventos de desbordamiento (SSO - Sanitary Sewer Overflows): Mantener un registro detallado de todos los desbordamientos ocurridos, incluyendo ubicación, duración, volumen estimado y causas identificadas. Este seguimiento es vital para priorizar acciones de mitigación.

2. Monitoreo de la Calidad del Agua y Parámetros Ambientales

El objetivo es evaluar el impacto ambiental y la efectividad de las medidas de control de la contaminación.

- Muestreo y análisis de aguas residuales: Tomar muestras del agua en puntos clave para analizar parámetros como sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites. Esto ayuda a identificar fuentes de contaminación y la carga de sedimentos.
- Monitoreo de gases y olores: Medir la concentración de gases nocivos como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el metano en las cámaras de inspección. Niveles elevados pueden indicar condiciones anaeróbicas (putrefacción) y riesgo de corrosión.
- Monitoreo de cuerpos de agua receptores: En caso de descargas controladas o desbordamientos, realizar muestreos de los ríos, lagos o aguas subterráneas cercanos para asegurar que la contaminación esté dentro de los límites permisibles y no afecte los ecosistemas.

3. Seguimiento de Actividades de Mantenimiento y Cumplimiento

El objetivo es verificar que las medidas preventivas se estén ejecutando correctamente.

- Auditorías de mantenimiento: Realizar auditorías periódicas de los registros de limpieza, reparaciones y reemplazos. Verificar que la frecuencia de mantenimiento sea adecuada y que las acciones correctivas se hayan completado.
- Seguimiento de quejas ciudadanas: Registrar, investigar y dar respuesta a todas las quejas de la comunidad relacionadas con malos olores, desbordamientos o inundaciones. El análisis de estas quejas puede revelar puntos críticos no detectados por el monitoreo técnico.
- Revisión del cumplimiento normativo: Evaluar regularmente si la operación del sistema cumple con los permisos ambientales y las regulaciones locales.

4. Informes y Toma de Decisiones

- Generación de informes periódicos: Recopilar los datos de monitoreo en informes claros y concisos para la gerencia, las autoridades reguladoras y la comunidad.
- Reuniones de revisión del riesgo: Realizar reuniones periódicas con el equipo técnico para analizar los datos, identificar tendencias, evaluar la efectividad de las medidas implementadas y ajustar el plan de gestión del riesgo según sea necesario.
- Actualización del modelo hidráulico: Utilizar los datos reales de caudal y nivel del agua para calibrar y actualizar el modelo hidráulico del sistema, lo que permite una planificación más precisa de futuras expansiones o mejoras de infraestructura.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Amenaza por Sedimentación interna

Las actividades de monitoreo y seguimiento son fundamentales para asegurar la eficacia de las medidas preventivas y de mitigación relacionadas con la sedimentación interna en una red de alcantarillado. Permiten identificar la acumulación de depósitos a tiempo, evaluar el rendimiento del sistema y verificar el cumplimiento de las acciones tomadas

1. Monitoreo del Estado Interno de la Tubería

El objetivo es detectar visual y físicamente la presencia y acumulación de sedimentos.

- Inspecciones con CCTV (Circuito Cerrado de Televisión): Es la herramienta principal para la inspección interna. Cámaras robóticas recorren el interior del interceptor para grabar imágenes que revelan la cantidad de sedimentos, grasas acumuladas, daños estructurales, intrusión de raíces y conexiones ilegales.
- Inspecciones visuales en cámaras de inspección/pozos de visita: Revisiones periódicas en puntos de acceso para una evaluación preliminar de los niveles de sedimento, la velocidad del flujo y la presencia de condiciones sépticas (malos olores, gases).
- Mediciones de nivel de sedimentos (Sonar o Láser): En interceptores de gran diámetro, se pueden usar tecnologías de sonar o escaneo láser para medir con precisión la profundidad del lecho de sedimentos y cuantificar el volumen acumulado sin interrumpir el servicio.

2. Monitoreo Hidráulico y de Flujo

El objetivo es evaluar cómo se comporta el agua dentro del sistema y si la velocidad es adecuada.

- Medición y registro continuo de caudales: Instalar sensores de flujo permanentes o temporales en puntos estratégicos para registrar la velocidad y el volumen del agua. Esto permite verificar si se mantienen las velocidades autolimpiantes diseñadas y si hay variaciones bruscas en el flujo.
- Monitoreo del nivel del agua: Registrar los niveles del agua en las cámaras de inspección. Niveles elevados o fluctuaciones inusuales pueden indicar una reducción de la capacidad debido a la sedimentación.

3. Monitoreo de la Calidad del Agua y Parámetros Ambientales

El objetivo es evaluar las consecuencias químicas y sanitarias de la sedimentación.

- Monitoreo de gases (H_2S, Metano): Medir regularmente la concentración de sulfuro de hidrógeno (H2S) y metano en el espacio aéreo de las tuberías y cámaras. Niveles elevados son un indicador clave de la descomposición anaeróbica de los sedimentos (septicidad) y del riesgo de corrosión.
- Muestreo y análisis de aguas residuales: Tomar muestras del agua para analizar parámetros como Sólidos Suspendidos Totales (SST), grasas y aceites. Esto ayuda a identificar las fuentes de la sedimentación y la carga contaminante.

4. Seguimiento de Actividades de Mantenimiento y Cumplimiento

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



El objetivo es verificar que las acciones preventivas se estén ejecutando de manera efectiva.

- Auditorías de registros de limpieza: Revisar los registros de las operaciones de limpieza realizadas (fechas, tramos intervenidos, volumen de sedimento extraído) para asegurar que se está siguiendo el programa de mantenimiento preventivo.
- Seguimiento de quejas y reportes: Mantener un sistema para registrar y analizar las quejas de los ciudadanos (olores, desbordamientos). --Estos reportes son un indicador valioso de puntos críticos que requieren atención inmediata.
- Revisión del cumplimiento normativo: Auditar periódicamente el cumplimiento de los permisos ambientales y las regulaciones locales, asegurando que las medidas de prevención de sedimentación (como el control de vertimientos industriales) se estén implementando correctamente.

5. Informes y Ajustes del Plan

- Generación de informes de desempeño: Compilar los datos de monitoreo en informes periódicos para la toma de decisiones.
- Reuniones de revisión del riesgo: Analizar los datos de monitoreo en equipo para identificar tendencias, evaluar la efectividad del plan de gestión del riesgo y realizar ajustes en las frecuencias de limpieza o en las estrategias de control de fuentes.

Amenaza por Infiltración / Intrusión

Las actividades de monitoreo y seguimiento para controlar la infiltración/intrusión (I/I) de aguas en una red de alcantarillado son esenciales para verificar la efectividad de las medidas preventivas, identificar puntos problemáticos y garantizar que el sistema mantenga su eficiencia a lo largo del tiempo.

1. Monitoreo Hidráulico y Cuantificación de I/I

El objetivo es medir la cantidad real de agua que entra al sistema y compararla con el flujo esperado de aguas residuales sanitarias.

- Medición y registro continuo de caudales: Instalar medidores de flujo en puntos estratégicos del interceptor. El monitoreo durante períodos secos permite estimar el flujo sanitario base, mientras que el monitoreo durante y después de eventos de lluvia permite cuantificar el volumen adicional de I/I.
- Análisis de patrones de flujo: Comparar los datos de caudal con los registros pluviométricos (cantidad de lluvia) y los niveles freáticos. Un aumento rápido del flujo coincidiendo con la lluvia indica intrusión (inflow), mientras que un flujo base elevado durante periodos secos indica infiltración.
- Determinación de la relación I/I/km: Calcular la cantidad de I/I por kilómetro de tubería para establecer indicadores de rendimiento y priorizar las zonas que requieren rehabilitación.

2. Inspección Física y Detección de Fuentes de I/I

- Inspecciones con CCTV (Circuito Cerrado de Televisión): Utilizar cámaras robóticas para inspeccionar el interior de las tuberías y pozos de visita. Las grabaciones permiten

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

identificar grietas, juntas defectuosas, conexiones ilegales, o puntos de ingreso activo de agua.

- Pruebas de humo (Smoke Testing): Inyectar humo no tóxico en la red. Si el humo sale por bajantes de techos, desagües de patio o rejillas de calle, indica una conexión ilegal (intrusión).
- Pruebas de tinte (Dye Testing): Verter un tinte no tóxico en desagües superficiales (patios, cunetas) o en aguas subterráneas cercanas a la tubería y verificar si aparece en el flujo del alcantarillado, confirmando una conexión o una infiltración.
- Inspecciones de pozos de visita: Revisar minuciosamente la estructura de los pozos de visita, la hermeticidad de las tapas y las juntas de las tuberías que entran y salen para detectar puntos de entrada de agua.

3. Seguimiento de las Actividades de Rehabilitación y Mantenimiento

El objetivo es verificar que las medidas correctivas se estén ejecutando de manera efectiva.

- Auditorías de trabajos de sellado y reparación: Revisar los registros y la documentación fotográfica o en video de los trabajos de sellado de grietas, encamisado (CIPP) u otras rehabilitaciones para asegurar que se realizaron correctamente.
- Seguimiento de desconexiones de I/I: Mantener un registro de las conexiones ilegales identificadas y asegurar que hayan sido desconectadas y redirigidas al sistema pluvial o gestionadas adecuadamente.
- Pruebas de estanqueidad post-rehabilitación: Realizar pruebas de hermeticidad o de fuga en los tramos reparados para confirmar que la I/I se ha reducido a los niveles aceptables.

4. Informes y Toma de Decisiones

El objetivo es utilizar los datos recopilados para la mejora continua del plan de gestión del riesgo.

- Generación de informes de desempeño: Recopilar los datos de monitoreo en informes periódicos que cuantifiquen la reducción de la I/I y el impacto en la capacidad del sistema.
- Reuniones de revisión del riesgo: Analizar los resultados del monitoreo para priorizar las siguientes zonas de intervención y ajustar el plan de gestión del riesgo.
- Actualización del modelo hidráulico: Utilizar los datos reales de caudal, niveles freáticos y precipitaciones para calibrar y actualizar el modelo hidráulico del sistema, lo que permite una planificación más precisa y una mejor gestión de la capacidad remanente.

Amenaza por Golpes de ariete y sobrepresiones

Las actividades de monitoreo y seguimiento para controlar el golpe de ariete en una red de alcantarillado (específicamente en líneas de bombeo) son cruciales para asegurar que las medidas preventivas y los dispositivos de mitigación funcionen correctamente y el sistema opere de forma segura.

1. Monitoreo de Parámetros Operativos

El objetivo es registrar las condiciones de operación del sistema e identificar eventos de sobrepresión.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Registro continuo de presión y caudal: Instalar transductores de presión y medidores de flujo con registro de datos de alta frecuencia en puntos críticos del sistema (cerca de las bombas, en cambios de dirección, cerca de válvulas). Esto permite registrar los picos de presión y subpresión durante los eventos transitorios.
- Monitoreo del estado de las bombas: Registrar los tiempos de arranque y parada de las bombas, incluyendo paradas de emergencia o por fallo eléctrico.
- Sistemas de Alerta y SCADA: Integrar los sensores de presión a un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) que genere alarmas inmediatas si se superan los límites de presión preestablecidos.

2. Inspección y Mantenimiento de Dispositivos de Protección

El objetivo es asegurar que los dispositivos instalados (amortiguadores, válvulas de alivio, tanques de aire) estén siempre operativos.

- Inspecciones visuales periódicas: Revisar regularmente los dispositivos de protección (tanques de aire, válvulas) en busca de signos visibles de daño, corrosión, fugas o mal funcionamiento.
- Pruebas funcionales de válvulas de alivio: Realizar pruebas periódicas (anuales o semestrales) a las válvulas de alivio de presión para asegurar que se abran y cierren a la presión de ajuste correcta.
- Verificación de niveles de aire/nitrógeno en tanques: En los tanques de aire o amortiguadores hidroneumáticos, es crucial monitorear y recargar periódicamente los niveles de aire o nitrógeno para asegurar su efectividad.
- Auditoría de arrancadores suaves/variadores de frecuencia (VFD): Verificar que la configuración y el funcionamiento de los arrancadores suaves o VFD de las bombas sean correctos y permitan un control gradual de la velocidad.

3. Seguimiento de Eventos y Mantenimiento Correctivo

El objetivo es aprender de los incidentes y asegurar que se realicen las reparaciones necesarias.

- Análisis post-evento: Tras cualquier incidente de golpe de ariete registrado (pico de presión o fallo de tubería), analizar los datos de los sensores para entender la causa raíz y verificar si los dispositivos de protección actuaron correctamente.
- Registro de mantenimiento y reparaciones: Mantener un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento, calibración y reparación de equipos y tuberías.
- Seguimiento de quejas por ruido/vibración: Investigar cualquier reporte de ruidos fuertes (martilleo) o vibraciones inusuales, ya que pueden ser indicativos de un golpe de ariete recurrente no detectado por los sensores.

4. Informes y Toma de Decisiones

El objetivo es utilizar los datos recopilados para la mejora continua del plan de gestión del riesgo.

- Generación de informes de seguridad operacional: Recopilar los datos de monitoreo en informes periódicos que evalúen el nivel de riesgo y la efectividad de las medidas de mitigación.
- Reuniones de revisión del riesgo: Analizar los datos y los informes para identificar tendencias, evaluar la vida útil remanente de los equipos y planificar mejoras o reemplazos de infraestructura si es necesario.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Actualización del modelo hidráulico: Utilizar los datos reales de presión registrados durante los eventos para calibrar y actualizar el modelo hidráulico de transitorios del sistema, asegurando que las futuras decisiones de diseño o expansión sean precisas.

11.7 Amenazas Geotécnicas

Amenaza por Suelos blandos o compresibles, Nivel freático alto, licuefacción local, colapso de zanjas o del terreno

El monitoreo y seguimiento son esenciales para garantizar que las medidas preventivas frente a suelos blandos, nivel freático alto y riesgos constructivos se mantengan efectivas durante la construcción, puesta en servicio y operación del interceptor sanitario.

- Placas de asentamiento en tramos representativos para medir consolidación.
- CCTV post-obra para detectar ovalización, fisuras y I/I en los primeros 6–12 meses.
- Piezómetros en zonas con N.F. alto para ajustar operación de subdrenes.
- Control de compactación (densidades y humedades) por capa durante el relleno.

Durante la construcción

- Control de excavaciones y zanjas:
- Inspección diaria de estabilidad de taludes y entibados.
- Registro fotográfico y topográfico de avances.
- Nivel freático y bombeo:
- Medición continua con piezómetros o pozos de control.
- Registro de caudales bombeados y ajustes en sistemas de drenaje.
- Compactación y rellenos:
- Ensayos de densidad in situ (Proctor, densímetro nuclear).
- Control de humedad óptima por capa.
- Encamado y tubería:
- Verificación de sobreexcavación y reemplazo granular.
- Control de alineación, pendiente y juntas estancas.
- Seguridad industrial:
- Monitoreo de atmósferas en espacios confinados (H_2S, metano).
- Inspecciones de equipos de protección y protocolos de ingreso.

Post-construcción (puesta en servicio)

- Inspección CCTV:
- A los 6 y 12 meses para detectar ovalización, fisuras, infiltraciones o intrusión de raíces.
- Placas de asentamiento/topografía:
- Medición periódica de pérdida de pendiente por consolidación.
- Monitoreo piezométrico.
- Seguimiento del nivel freático y gradientes hidráulicos en zonas críticas.
- Ensayos de estanqueidad:
- Pruebas de presión o infiltración en tramos seleccionados.
- Evaluación de cámaras y pozos:
- Revisión de fisuras, corrosión y ventilación

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Operación y mantenimiento

- Programa de limpieza preventiva:
- Frecuencia definida según caudales y sedimentación esperada.
- Monitoreo de gases y olores:
- Instalación de ventilación y biofiltros en cámaras críticas.
- Seguimiento ambiental:
- Control de vertimientos accidentales y calidad de agua en cuerpos receptores.
- Plan de contingencia:
- Protocolos para rebosamientos, fallas de bombeo o emergencias sísmicas.

11.3 Amenazas Constructivas

Monitoreo y seguridad operacional

- Piezometría y bombeo: instalar piezómetros temporales en zonas críticas; registro de caudales de bombeo y ajustes.
- CCTV post-obra: a 6 y 12 meses para verificar ovalización, infiltraciones y continuidad hidráulica.
- Placas de asentamiento/topografía fina: seguimiento de pérdida de pendiente por consolidación.
- Gases y olores: medición periódica; protocolos de ingreso a espacios confinados; ventilación y filtros donde sea necesario.

Durante la construcción

- Estabilidad de excavaciones y taludes:
- Inspección diaria de entibados y bordes de zanja.
- Registro fotográfico y topográfico de avances.
- Nivel freático y drenaje:
- Medición continua con piezómetros o pozos de control.
- Registro de caudales bombeados y ajustes en sistemas de drenaje.
- Compactación y rellenos:
- Ensayos de densidad in situ (Proctor, densímetro nuclear).
- Control de humedad óptima por capa.
- Encamado y tubería:
- Verificación de sobreexcavación y reemplazo granular.
- Control de alineación, pendiente y juntas estancas.
- Seguridad industrial:
- Monitoreo de atmósferas en espacios confinados (H_2S, metano).
- Inspecciones de equipos de protección y protocolos de ingreso.

Post-construcción (puesta en servicio)

- Inspección CCTV:
- A los 6 y 12 meses para detectar ovalización, fisuras, infiltraciones o intrusión de raíces.
- Placas de asentamiento/topografía:
- Medición periódica de pérdida de pendiente por consolidación.
- Monitoreo piezométrico:

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Seguimiento del nivel freático y gradientes hidráulicos en zonas críticas.
- Ensayos de estanqueidad:
- Pruebas de presión o infiltración en tramos seleccionados.
- Evaluación de cámaras y pozos:
- Revisión de fisuras, corrosión y ventilación.

Operación y mantenimiento

- Programa de limpieza preventiva:
- Frecuencia definida según caudales y sedimentación esperada.
- Monitoreo de gases y olores:
- Instalación de ventilación y biofiltros en cámaras críticas.
- Seguimiento ambiental.
- Control de vertimientos accidentales y calidad de agua en cuerpos receptores.
- Plan de contingencia:
- Protocolos para rebosamientos, fallas de bombeo o emergencias sísmicas.

11.9 Amenazas Ambientales

- Diario: inspección de excavaciones, control de vertimientos y monitoreo de gases.
- Semanal: muestreo de agua en caño Pendejo y control de suelos excavados.
- Mensual: reporte de calidad ambiental (agua, aire, suelo) a la autoridad competente.
- Semestral: evaluación de revegetación y estabilidad de taludes.

Amenaza por Vertimientos accidentales

- Actividad de monitoreo:

- Inspección diaria de excavaciones y puntos de fuga.
- Registro de caudales bombeados en bypass sanitario.
- Verificación de estanqueidad en juntas y conexiones nuevas.
- Frecuencia: diaria durante la obra; semanal en operación inicial.
- Indicadores: ausencia de escorrentía superficial; caudal conducido por bypass ≥ 95% del estimado.
- Responsables: contratista (ejecución), interventoría (verificación)

Amenaza por Contaminación de cuerpos de agua

- Actividad de monitoreo:

- Muestreo de agua en el caño Pendejo (DBO, DQO, coliformes).
- Inspección de barreras de sedimentos y filtros geotextiles.
- Control visual de turbidez y presencia de sólidos en escorrentía.
- Frecuencia: semanal durante obra; mensual en operación.
- Indicadores: parámetros de calidad de agua dentro de límites normativos; turbidez ≤ 5 NTU adicional al valor base.
- Responsables: empresa de servicios públicos, autoridad ambiental.

Amenaza por Emisión de gases

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Actividad de monitoreo:

- Medición de H_2S, metano y amoníaco en excavaciones y pozos.
- Registro de olores ofensivos reportados por comunidad.
- Inspección de recubrimientos anticorrosivos en cámaras.
- Frecuencia: diaria en obra; trimestral en operación.
- Indicadores: concentración de H_2S < 10 ppm; ausencia de corrosión visible.
- Responsables: contratista (obra), empresa de servicios públicos (operación).

Amenaza por Afectación de suelos y vegetación

- Actividad de monitoreo:

- Inspección de acopios de suelo y control de escorrentía.
- Evaluación de revegetación en áreas intervenidas.
- Medición de parámetros de suelo (pH, salinidad, humedad).
- Frecuencia: semanal en obra; semestral en operación.
- Indicadores: cobertura vegetal ≥ 80% en áreas restauradas; parámetros de suelo dentro de rangos normales.
- Responsables: contratista (obra), municipio/autoridad ambiental (seguimiento).

Amenazas adicionales por condiciones actuales

- Actividad de monitoreo:

- Encuestas de percepción comunitaria sobre olores y afectaciones.
- Registro de quejas y atención inmediata.
- Inspección de cerramientos y señalización en obra.
- Frecuencia: semanal durante obra; trimestral en operación.
- Indicadores: reducción progresiva de quejas; cerramientos intactos y señalización visible.
- Responsables: empresa de servicios públicos, interventoría.

11.10 Amenazas por Incendios / Explosiones

Monitoreo de gases en excavaciones y pozos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario y post-evento

Inspección de vegetación y material combustible cercano
- Responsable: Municipio / Secretaría de Medio Ambiente
- Frecuencia: Trimestral y post-temporada seca

Revisión de protocolos de seguridad eléctrica y maquinaria
- Responsable: Contratista / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Mensual

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

Monitoreo de calidad de aire y emisiones
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-incidente

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

11.11 Amenazas por Derrames / fugas

Inspección de tuberías y pozos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal en obra / trimestral en operación

Monitoreo de caudales y presión en el interceptor
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-derrame

Registro de afectaciones comunitarias (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

Control de excavaciones y drenajes provisionales
- Responsable: Contratista
- Frecuencia: Semanal

11.12 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor

Inspección estructural de tuberías y pozos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal en obra / trimestral en operación

Pruebas hidráulicas y de estanqueidad
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Previa a la puesta en servicio y anual

Monitoreo de asentamientos diferenciales en excavaciones
- Responsable: Contratista / Geotecnista
- Frecuencia: Mensual y post-lluvia intensa

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

11.13 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos

Inspección diaria de maquinaria y equipos en obra
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Monitoreo del funcionamiento de bombas de bypass sanitario
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Diario y post-evento

Registro de mantenimiento preventivo y correctivo
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Mensual

Monitoreo de condiciones eléctricas y ventilación en excavaciones
- Responsable: Contratista / Autoridad Ambiental (CORMACARENA en caso de emisiones)
- Frecuencia: Semanal

Registro comunitario de afectaciones (rebose, olores, accidentes)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

11.14 Amenazas por Accidentes de Transito

Inspección de accesos y señalización vial
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-evento

Monitoreo de tráfico vehicular en la vía nacional
- Responsable: Policía de Tránsito / Municipio
- Frecuencia: Diario en horas pico

Registro de ingreso/salida de maquinaria pesada
- Responsable: Contratista
- Frecuencia: Diario

Monitoreo de escorrentía y derrames hacia la vía
- Responsable: Empresa de Servicios Públicos (ESP) / Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Semanal y post-lluvia intensa

Registro comunitario de afectaciones (viviendas/colegio cercano)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



11.15 Amenazas por Accidentes de Trabajo

Inspección diaria de excavaciones y cerramientos
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Monitoreo del uso de EPP por trabajadores
- Responsable: Contratista / Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Frecuencia: Diario

Registro de incidentes y accidentes laborales
- Responsable: Contratista / Interventoría / ARL (Administradora de Riesgos Laborales)
- Frecuencia: Inmediato y mensual consolidado

Monitoreo de condiciones de humedad y estabilidad del terreno
- Responsable: Contratista / Geotecnista
- Frecuencia: Semanal y post-lluvia intensa

Registro comunitario de afectaciones (peatones, viviendas cercanas)
- Responsable: CLOPAD / Municipio
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

11.16 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales

Monitoreo de accesos y cerramientos de obra
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Registro de manifestaciones y bloqueos en la vía nacional
- Responsable: Policía de Tránsito / Municipio
- Frecuencia: Diario y post-evento

Monitoreo de condiciones comunitarias (percepción social, quejas, reclamos)
- Responsable: Municipio / CLOPAD / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

Inspección de infraestructura crítica (tuberías, pozos, maquinaria)
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Semanal y post-protesta

Monitoreo de calidad de agua en caños receptores
- Responsable: Autoridad Ambiental (CORMACARENA)
- Frecuencia: Mensual y post-evento

11.17 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia

Inspección de cerramientos y accesos de obra
- Responsable: Contratista / Interventoría

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Frecuencia: Diario

Registro de incidentes de hurto o vandalismo
- Responsable: Contratista / Policía Metropolitana
- Frecuencia: Inmediato y consolidado mensual

Monitoreo de iluminación y vigilancia nocturna
- Responsable: Contratista / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Semanal

Registro comunitario de afectaciones (barrios Samán de la Rivera y Porfía)
- Responsable: Municipio / CLOPAD
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

Patrullajes preventivos en zonas de obra
- Responsable: Policía Metropolitana de Villavicencio
- Frecuencia: Diario en horarios críticos

11.18 Amenazas por Atentados Terroristas

Inspección de cerramientos y accesos de obra
- Responsable: Contratista / Interventoría
- Frecuencia: Diario

Registro de incidentes de seguridad y hallazgos sospechosos
- Responsable: Contratista / Policía Metropolitana / Ejército Nacional
- Frecuencia: Inmediato y consolidado mensual

Monitoreo de iluminación y vigilancia nocturna
- Responsable: Contratista / Empresa de Servicios Públicos (ESP)
- Frecuencia: Semanal

Patrullajes preventivos en zonas de obra y accesos
- Responsable: Policía Metropolitana / Ejército Nacional
- Frecuencia: Diario en horarios críticos

Registro comunitario de afectaciones y percepción de seguridad
- Responsable: Municipio / CLOPAD
- Frecuencia: Trimestral y post-evento

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

12. Conclusiones

12.1 Amenazas sísmicas

Villavicencio enfrenta una amenaza sísmica significativa por la presencia de fallas activas y deformaciones recientes en el piedemonte. Todo proyecto de infraestructura —especialmente interceptores sanitarios— debe incorporar criterios de diseño sismo resistente, monitoreo geotécnico y gestión del riesgo, conforme a la normativa NSR-10 y al modelo de amenaza sísmica del SGC.

La amenaza sísmica en Villavicencio exige un enfoque multidisciplinario y preventivo. El plan de gestión del riesgo debe integrar diseño técnico sismo resistente, medidas ambientales, protocolos comunitarios y coordinación institucional, garantizando la resiliencia de la infraestructura sanitaria y la protección de la población.

12.2 Amenazas por inundaciones

Las inundaciones son una amenaza crítica para la infraestructura sanitaria y la comunidad en Villavicencio. El plan de gestión del riesgo debe integrar medidas técnicas (diseño hidráulico, drenajes), ambientales (control de sedimentos, revegetación), sociales (comunicación comunitaria) e institucionales (coordinación interinstitucional). El monitoreo y seguimiento garantiza que las medidas sean efectivas y que se reduzca el impacto de futuros eventos.

12.3 Amenazas por Tormentas eléctricas

La amenaza por tormentas eléctricas en Villavicencio, sumada a excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas, implica riesgos eléctricos, ambientales y sociales. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (pararrayos, podas, cerramientos), mitigación ambiental (drenajes, cubiertas), contingencia institucional (energía alternativa, brigadas de emergencia) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.4 Amenazas por vientos fuertes

La amenaza por vientos fuertes en Villavicencio, sumada a excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas, implica riesgos estructurales, ambientales y sociales. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (podas, cerramientos, cubiertas), mitigación ambiental (drenajes, retiro de vegetación), contingencia institucional (energía alternativa, brigadas de emergencia) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.5 Amenazas por Remoción de masa / deslizamientos / volcamientos

La amenaza por remoción en masa en Villavicencio, sumada a excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas, implica riesgos estructurales, ambientales y sociales. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (entibado, drenajes, podas), mitigación ambiental (revegetación, cunetas), contingencia institucional (brigadas, CLOPAD, Bomberos) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



12.6 Amenazas Hidráulicas

Amenaza por Subdimensionamiento del interceptor

- El subdimensionamiento es una vulnerabilidad crítica: Un interceptor subdimensionado compromete la capacidad operativa de toda la red de saneamiento, llevando inevitablemente a inundaciones, desbordamientos y graves riesgos para la salud pública y el medio ambiente.
- La prevención requiere planificación rigurosa: La clave para evitar estos problemas radica en un diseño hidráulico adecuado que considere el crecimiento futuro, una correcta gestión de las conexiones de aguas pluviales y un mantenimiento proactivo que maximice la capacidad existente de las tuberías.
- La responsabilidad es compartida pero definida: Durante la construcción, el contratista es directamente responsable de implementar las medidas preventivas, mientras que la entidad promotora y la interventoría deben asegurar que se cumplan los diseños y la normativa aplicable.
- El monitoreo continuo es esencial: Las actividades de seguimiento (medición de caudal, inspecciones CCTV, análisis de calidad del agua) proporcionan los datos necesarios para identificar puntos críticos, evaluar la efectividad de las medidas implementadas y tomar decisiones informadas y oportunas.
- La solución a largo plazo es la inversión en infraestructura: Si bien las medidas operativas y de mitigación de emergencias son necesarias en el corto plazo, la única solución definitiva al subdimensionamiento es la expansión o reemplazo de la infraestructura para satisfacer la demanda real del sistema.

Amenaza por Sedimentación interna

- La sedimentación interna es una consecuencia directa de la ineficiencia hidráulica: Ocurre principalmente cuando el diseño del sistema o las condiciones operativas resultan en velocidades de flujo insuficientes para transportar los sólidos, comprometiendo la capacidad de autolimpieza de la red.
- Las consecuencias son multifacéticas y graves: La acumulación de sedimentos no solo reduce la capacidad de la tubería y aumenta los costos de mantenimiento, sino que también genera condiciones sépticas que provocan malos olores, corrosión severa de la infraestructura y riesgos de desbordamientos que afectan la salud pública y el medio ambiente.
- La prevención es más eficiente que la mitigación: Invertir en un diseño adecuado, control riguroso de vertimientos en la fuente (grasas, sólidos) y programas de mantenimiento preventivo es significativamente más costo-efectivo que gestionar emergencias por bloqueos, desbordamientos o reparaciones mayores de infraestructura corroída.
- La responsabilidad recae en múltiples actores, pero es clara en la ejecución: Mientras que el diseño y la planificación involucran a consultores y entidades contratantes, la implementación de medidas preventivas durante la construcción es responsabilidad directa del contratista, bajo la estricta supervisión de la interventoría para asegurar la correcta instalación y pendiente de las tuberías.
- El monitoreo continuo es indispensable para una gestión proactiva: El uso de tecnologías como CCTV, sensores de flujo y medición de gases permite una detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas, asegurando que las medidas correctivas se apliquen antes de que surjan consecuencias graves.

 CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM  310 275 4092  CALLE 41B No. 30-11

Amenaza por Infiltración / Intrusión

- La I/I es una causa principal de ineficiencia del sistema: La entrada de aguas freáticas o de lluvia a la red sanitaria reduce drásticamente la capacidad disponible para las aguas residuales, llevando a sobrecargas funcionales y desbordamientos frecuentes durante eventos climáticos.
- Afecta la economía y el medio ambiente: La I/I incrementa significativamente los costos operativos por bombeo y tratamiento de agua innecesaria, y los desbordamientos resultantes generan graves riesgos sanitarios y contaminación ambiental.
- La prevención requiere un enfoque integral: La solución efectiva no se limita a un solo actor o acción, sino que implica una combinación de detección precisa (pruebas de humo, CCTV), rehabilitación de infraestructura dañada (sellado de juntas, encamisado) y control estricto de las conexiones ilegales.
- La responsabilidad en la construcción es clave: Asegurar una construcción hermética ("bottletight") es fundamental. El contratista es el responsable directo de la correcta instalación y la realización de pruebas de estanqueidad, bajo la supervisión rigurosa de la interventoría.
- El monitoreo continuo es indispensable para la gestión a largo plazo: El seguimiento sistemático de caudales, la inspección física y el análisis de datos son cruciales para medir la efectividad de las medidas implementadas, identificar puntos críticos remanentes y priorizar futuras intervenciones.

Amenaza por Golpes de ariete y sobrepresiones

- Es un riesgo crítico en sistemas presurizados: El golpe de ariete es un fenómeno de sobrepresión transitoria que ocurre por cambios bruscos de velocidad del flujo y representa una de las amenazas más significativas para la integridad física de las tuberías y equipos de bombeo.
- Las consecuencias son graves y costosas: La sobrepresión puede causar roturas catastróficas de tuberías, daños en bombas y válvulas, y generar subpresiones que provocan cavitación y deterioro acelerado de la infraestructura.
- La prevención inicia en el diseño: La clave para mitigar eficazmente el golpe de ariete reside en un análisis hidráulico de transitorios riguroso durante la fase de diseño, lo que permite especificar e instalar los dispositivos de protección adecuados (amortiguadores, válvulas de alivio, variadores de frecuencia).
- La responsabilidad de implementación es compartida: Si bien el diseñador especifica las medidas, el contratista es el responsable de su correcta instalación y el operador de su mantenimiento. La supervisión (interventoría) es fundamental para asegurar el cumplimiento en todas las fases.
- El monitoreo y mantenimiento de los dispositivos de protección son indispensables: Los sistemas de monitoreo continuo (SCADA, sensores de alta frecuencia) y el mantenimiento proactivo de los dispositivos de mitigación (verificación de tanques de aire, pruebas de válvulas) son cruciales para garantizar que el sistema esté protegido en todo momento.

12.7 Amenazas Geotécnicas

Amenaza por Suelos blandos o compresibles, Nivel freático alto, licuefacción local, colapso de zanjas o del terreno

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Los estratos superficiales limosos–arcillosos (A-4/A-6; ML, CL/CH) con LL y humedad altos, γS baja y N≈15 constituyen el principal foco de suelos blandos/compresibles.
- La competencia mejora a >1.5–4.5 m (N≈40–45), útil para apoyar cámaras y definir tramos con menor riesgo.
- El N.F. ≈1.65 m incrementa riesgos de flotación, sifonamiento y colapso de zanja; requiere drenaje, encamado drenante y control constructivo.

- El proyecto de interceptor en Villavicencio requiere un enfoque integral que combine diseño hidráulico conservador, medidas geotécnicas de estabilización, control del nivel freático y monitoreo post-obra. Solo así se garantiza la funcionalidad, seguridad y durabilidad de la infraestructura frente a las amenazas identificadas

Geotecnia y suelos

- Los estratos superficiales (A-4 y A-6, limos y arcillas plásticas) presentan alta compresibilidad y baja resistencia, lo que genera riesgo de asentamientos diferenciales y pérdida de pendiente hidráulica.
- El nivel freático alto (≈1.65 m) incrementa la vulnerabilidad de la obra frente a flotación de tuberías, sifonamiento y colapso de zanjas.
- Los valores bajos de SPT (N≈15 en superficie) confirman la presencia de suelos blandos, mientras que los valores altos en profundidad (N≈40–45) ofrecen estratos competentes para cimentaciones y cámaras.

12.8 Amenazas Constructivas

Condiciones geotécnicas y constructivas

- Los suelos blandos y compresibles en superficie, junto con el nivel freático alto, representan un riesgo de asentamientos diferenciales, colapso de zanjas y flotación de tuberías si no se aplican medidas de estabilización y drenaje.
- Los valores bajos de SPT en estratos superficiales confirman baja capacidad portante, mientras que los estratos más profundos ofrecen mejor soporte para cámaras y estructuras.
- La excavación abierta realizada por la empresa de servicios públicos incrementa el riesgo de socavación y movimiento de masas por acumulación lateral de material y flujo superficial de aguas residuales

El proyecto no solo responde a una emergencia por ruptura de tuberías, sino que constituye una intervención crítica para la seguridad sanitaria y ambiental de Villavicencio. La ejecución debe integrar medidas geotécnicas, constructivas y sociales, con un sistema de monitoreo permanente que garantice la funcionalidad, durabilidad y sostenibilidad del interceptor y sus pozos de inspección

Las amenazas constructivas identificadas requieren un plan integral de prevención y mitigación que combine:

- Gestión interinstitucional (autoridad vial, empresas de servicios, comunidad).
- Medidas técnicas (entibado, bypass, encamado granular, drenaje).

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11



- Seguridad industrial y ambiental (cerramientos, monitoreo de gases, control de vertimientos).

12.9 Amenazas Ambientales

Amenaza por Vertimientos accidentales

- La descarga superficial de aguas residuales constituye una afectación inmediata al suelo y al entorno, generando riesgos sanitarios y proliferación de vectores.
- La ausencia de conducción controlada incrementa la probabilidad de contaminación difusa hacia áreas agrícolas y urbanas cercanas

Amenaza por Contaminación de cuerpos de agua

- El caño Pendejo y drenajes naturales próximos están expuestos a recibir aguas contaminadas, lo que provoca deterioro de la calidad del agua y pérdida de biodiversidad acuática.
- La cercanía a comunidades urbanas y rurales convierte esta amenaza en un riesgo de salud pública.

Amenaza por Emisión de gases

- La generación de H_2S, metano y amoníaco en aguas residuales expuestas representa un riesgo para trabajadores y población cercana, además de acelerar la corrosión biogénica en estructuras de concreto.
- Los olores ofensivos afectan la calidad de vida de la comunidad y pueden generar conflictos sociales

Amenaza por Afectación de suelos y vegetación

- La infiltración de aguas residuales en suelos blandos produce degradación físico-química y pérdida de capacidad portante.
- La vegetación circundante se ve afectada por exceso de humedad y contaminantes, aumentando la erosión y socavación en taludes de excavación.

Amenazas adicionales por condiciones actuales

- Excavaciones abiertas y flujo superficial de aguas residuales intensifican la exposición ambiental y social.
- La proximidad a viviendas, colegio y vía nacional convierte la situación en un riesgo integral que combina afectación ambiental, sanitaria y de seguridad comunitaria.
- La falta de medidas inmediatas de control puede derivar en impactos irreversibles sobre el entorno y en sanciones regulatorias.

Conclusiones generales

- El proyecto enfrenta una situación crítica de riesgo ambiental inmediato por vertimientos accidentales y escorrentía superficial. La proximidad a cuerpos de agua y comunidades sensibles (colegio, viviendas) exige medidas urgentes de bypass sanitario, control de

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

excavaciones, drenaje y monitoreo ambiental para evitar que la afectación se convierta en un problema de salud pública y deterioro irreversible del entorno.

- El plan de gestión del riesgo integra medidas preventivas (antes y durante la obra) y mitigadoras (post-obra y operación) para reducir amenazas constructivas, estructurales, ambientales y sociales. Su aplicación garantiza la seguridad de trabajadores, protección de la comunidad y sostenibilidad del interceptor sanitario.

- El plan de gestión ambiental debe ser integral y dinámico, combinando medidas inmediatas (bypass, entibado, control de vertimientos) con acciones de restauración y monitoreo a largo plazo. La coordinación entre contratista, interventoría, empresa de servicios públicos y autoridad ambiental es esencial para garantizar la seguridad sanitaria, protección del caño Pendejo y bienestar de la comunidad cercana.

- Las amenazas ambientales identificadas son graves y de carácter inmediato, con potencial de afectar la salud pública, la calidad de los cuerpos de agua y la estabilidad del suelo. El proyecto requiere un plan de gestión ambiental urgente, que combine medidas de prevención (bypass sanitario, entibado, control de vertimientos) y de mitigación (monitoreo de agua, restauración de suelos y vegetación, control de gases), bajo la supervisión de la autoridad ambiental y la empresa de servicios públicos.

- El monitoreo ambiental debe ser sistemático y verificable, con indicadores cuantitativos (calidad de agua, gases, parámetros de suelo) y cualitativos (percepción comunitaria, inspecciones visuales). Esto asegura que las medidas de prevención y mitigación realmente reduzcan los impactos y que la infraestructura opere de forma segura, sostenible y aceptada socialmente.

12.10 Amenazas por Incendios / Explosiones

La amenaza por incendios y explosiones en Villavicencio, asociada a excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas, implica riesgos operacionales, ambientales y sociales. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (detección de gases, ventilación, retiro de vegetación), mitigación ambiental (cubiertas, brigadas equipadas), contingencia institucional (Bomberos, CLOPAD) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.11 Amenazas por Derrames / fugas

La amenaza por derrames y fugas en Villavicencio, sumada a excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas, implica riesgos ambientales, operacionales y sociales. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (reposiciones, juntas herméticas), mitigación ambiental (bypass, bombeo, barreras), contingencia institucional (brigadas, CLOPAD) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.12 Amenazas por Fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor

Las fallas estructurales en la construcción y adecuación del interceptor sanitario en Villavicencio representan riesgos operacionales, ambientales y sociales. El plan de gestión debe integrar

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

prevención técnica (diseño sismo-resistente, materiales certificados, entibado), mitigación ambiental (revegetación, bypass), contingencia institucional (brigadas, CLOPAD, Bomberos) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.13 Amenazas por Fallas de maquinarias y equipos

Las fallas de maquinaria y equipos en el proyecto de interceptor sanitario en Villavicencio representan riesgos operacionales, ambientales y sociales. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (mantenimiento, inspección, capacitación), mitigación ambiental (bombas alternas, cubiertas), contingencia institucional (CLOPAD, Bomberos) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.14 Amenazas por Accidentes de Transito

La amenaza por accidentes de tránsito en Villavicencio, asociada al ingreso y salida de maquinaria hacia la vía nacional, se amplifica por excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (señalización, accesos controlados), mitigación operativa (PMT, horarios restringidos), contingencia institucional (CLOPAD, Policía de Tránsito, Bomberos) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.15 Amenazas por Accidentes de Trabajo

La amenaza por accidentes de trabajo en el proyecto de interceptor sanitario en Villavicencio es crítica debido a excavaciones abiertas, presencia de vegetación y aguas residuales expuestas. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (cerramientos, EPP, capacitación), mitigación operativa (brigadas, protocolos de limpieza), contingencia institucional (CLOPAD, Bomberos, ARL) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.16 Amenazas por Revueltas / Asonadas / protestas sociales

La amenaza por revueltas, asonadas y protestas sociales en Villavicencio se intensifica por el contexto actual de crisis de agua potable y conflictos por peajes. El proyecto debe integrar un plan de gestión que combine prevención técnica (cerramientos, protocolos de acceso), mitigación social (comunicación, diálogo comunitario), contingencia institucional (CLOPAD, Policía, Ejército) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros para garantizar la continuidad y seguridad de la obra.

12.17 Amenazas por Hurtos / Asaltos / Delincuencia

La amenaza por hurtos, asaltos y delincuencia en el proyecto de interceptor sanitario en Villavicencio se intensifica por la cercanía a barrios populares como Samán de la Rivera y Porfía, y por las condiciones de excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (cerramientos, iluminación, vigilancia), mitigación operativa (protocolos de denuncia, brigadas internas), contingencia institucional (CLOPAD, Policía Metropolitana) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

12.18 Amenazas por Atentados Terroristas

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

La amenaza por atentados terroristas en Villavicencio, sumada a excavaciones abiertas y tuberías rotas con aguas residuales expuestas, implica riesgos operacionales, ambientales y sociales. El plan de gestión debe integrar prevención técnica (cerramientos, vigilancia, protocolos), mitigación operativa (evacuación, reubicación de materiales), contingencia institucional (CLOPAD, Policía, Ejército) y un sistema de monitoreo y seguimiento con responsables claros.

13. Registro fotográfico de la visita

REGISTRO FOTOGRÁFICO





figura 1 y 2. Zona crítica y Pozo existente





figura 3 y 4. Zona crítica y Pozo existente

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

REGISTRO FOTOGRÁFICO





figura 5 y 6. Zona critica y Pozo existente





figura 7 y 8. Zona crítica y Pozo existente





figura 9 y 10. Zona critica y Pozo existente

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 310 275 4092 CALLE 41B No. 30-11

ANEXO 5: CRITERIOS DE DISEÑO, ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

CONTRATO PS-GCT.2.7.25-1371: "ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION Y ADECUACION DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO"

CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 2025
CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ÁREA DEL MANEJO ESPECIAL LA MACARENA (CORMACARENA)

COORPORACION AMBIENTAL CORMACARENA

CONSULTORÍA PARA "ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO"

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. PS-GCT 2.725-1371

CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 2025
NIT. 901.940.414-0

FASE I

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS

"CRITERIOS DE DISEÑO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS"

DEPARTAMENTO DEL META
MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO
OCTUBRE DE 2025

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

CUADRO DE RESPONSABILIDADES

OBJETO CONTRACTUAL:	**ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO.**	
CONTRATANTE:	CORPORACIÓN AMBIENTAL CORMACARENA	
CONTRATO:	CONTRATO DE CONSULTORÍA No. PS-GCT 2.725-1371	
TITULO DE DOCUMENTO:	**CRITERIOS DE DISEÑO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**	
NUMERO DE REVISIÓN	1	
PERSONAL RESPONSABLE		
Elaboración	Nombre	**Ing. JULIAN ANDRES DIAZ AGUIRRE**
	Matricula Profesional	25202-402061 CND
	Cargo	ESPECIALISTA HIDRÁULICO CONSULTORÍA
	Firma	
Revisión y Aprobación Consultoría	Nombre	Ing. **JORGE ADELMO DIAZ SARMIENTO**
	Matricula Profesional	25202-68120 CND
	Cargo	DIRECTOR DE CONSULTORÍA
	Firma	
Vo.Bo. Consultoría	Nombre	**Ing. GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO**
	Matricula Profesional	25202-198662 CND
	Cargo	REPRESENTANTE LEGAL DEL CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA SUR 2025
	Firma	

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JULIAN ANDRES DIAZ AGUIRRE** identificado con cédula de ciudadanía No.1.014.275.386, en mi calidad de **INGENIERO CIVIL** con matrícula profesional **No 25202- 402061 CND**, CERTIFICO, en calidad de **ESPECIALISTA HIDRÁULICO** de CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA 2025, el producto: DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS "**CRITERIOS DE DISEÑO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**"., de conformidad con lo establecido en el contrato PS-GCT 2.725-1371

Declaro que el producto **CRITERIOS DE DISEÑO, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**. se elaboró de acuerdo con las normas colombianas vigentes.

Atentamente,

Responsable	Profesional	Firma
Realizado por:	Ing. Julián Andrés Diaz Aguirre Ing. Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería Esp. Ingeniería hidráulica y ambiental. U Nacional Msc. Ingeniería civil con énfasis en recursos hidráulicos. U nacional. M.P. 25202-402061CND.	

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Página 2 | 139

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2025-4161815

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que JULIAN ANDRES DIAZ AGUIRRE, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1014275386, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 25202-402061 desde el 04 de Octubre de 2018, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1407.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veintinueve (29) días del mes de Diciembre del año dos mil veinticinco (2025).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

REPÚBLICA DE COLOMBIA

COPNIA

Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Matrícula Profesional No.

25202-402061 CND

Fecha de Expedición: **04/10/2018**

Nombre:
JULIAN ANDRES
DIAZ AGUIRRE

Identificación:
C.C. 1014275386

Profesión:
INGENIERO CIVIL

Institución:
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO



Este es un documento público expedido en virtud de la Ley 842 de 2003, que autoriza al titular a ejercer como Ingeniero en el Territorio Nacional.

DIRECTOR GENERAL

En caso de extravío debe ser remitida al COPNIA. Calle 78 No. 9-57 primer piso
Línea Nacional: 01 8000 116590

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 11
2. OBJETIVOS 13
2.1. OBJETIVO GENERAL 13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13
3. MARCO LEGAL 14
3.1. SOBRE LAS NORMAS TÉCNICAS 18
4. ASPECTOS GENERALES 19
4.1. GENERALIDADES 19
4.2. ASPECTOS FISICOS 19
4.2.1. Localización Geográfica del Municipio de Villavicencio 19
4.2.2. Geografía 20
4.2.3. Economía 20
4.2.4. Vías de Comunicación 21
4.2.5. Hidrología 21
4.2.6. Climatología 25
4.2.7. Temperatura Promedio 25
4.2.8. Precipitación 26
4.2.9. Lluvia 26
4.2.10. Geología 27
4.2.11. Demografía 28
4.3. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS 29
4.3.1. Población Actual de Villavicencio 29
4.3.2. Población y Grupos Etarios 30
4.3.3. Estructura y Composición Poblacional 30
4.3.4. Índice NBI 31
4.3.5. Educación 32
4.3.6. Turismo 33
4.3.7. Cultura 34
4.3.8. Grupos Étnicos en la Ciudad de Villavicencio 36
4.3.9. Definición Institucional de Responsabilidades 36
5. DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE 39

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Página 4 | 139

5.1. INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS PÚBLICOS 39
5.1.1. Acueducto y Alcantarillado 39
5.1.2. Gas Natural Domiciliario 40
5.1.3. Energía Eléctrica 40
5.1.4. Telecomunicaciones 41
5.2. VÍAS DE ACCESO 41
5.3. DISPOSICIÓN URBANISTICA 42
5.4. ZONA DE RIESGO Y DE AMENAZAS NATURALES 44
6. RESUMEN DE ESTUDIO DE POBLACIÓN Y DEMANDA 46
6.1. CENSOS HISTÓRICOS 46
6.2. PROYECCIONES DANE 47
6.3. PROYECCIONES MATEMÁTICAS 49
6.4. DEFINICIÓN POBLACIÓN PROYECTO 55
6.4.1. Estimación Población Actual 55
6.4.2. Estimación Población Futura 56
7. CAUDALES DE DISEÑO 58
7.1. PERIODO DE DISEÑO 58
7.2. DOTACIÓN NETA 58
7.3. CÁLCULO DE CAUDALES 58
7.3.1. Caudal de Aguas Residuales Domesticas 59
7.3.2. Caudal de Aguas Residuales No Domesticas 59
7.3.3. Caudal Medio Diario 59
7.3.4. Caudal Máximo Horario 59
7.3.5. Caudal Infiltración 60
7.3.6. Caudal Conexiones Erradas 60
7.4. AREAS AFERENTES 61
8. RESUMEN EJECUTIVO DE DIAGNOSTICO 62
8.1 UBICACIÓN DE TRAMO EN ESTUDIO 62
8.2 ESTADO DE POZOS DE INSPECCIÓN 64
8.2.1 Estado Actual 65
9. FORMULACIÓN, ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1. 68

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

9.1 FORMULACIÓN DEL ALCANCE DE LAS ALTERNATIVAS 69
9.1.1 Definición del alcance de las alternativas 69
9.1.2 Objetivos de las alternativas 70
9.2 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS 70
9.2.2 Alternativa 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible + Obras de cimentación y atraque de tubería. 72
9.2.3 Alternativa 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida + Obras de cimentación y atraque de tubería. 72
9.3 CRITERIOS DE DISEÑO 73
9.3.1 Localización Redes de Alcantarillado 73
9.3.2 Profundidad de la Tubería 75
9.3.3 Diámetros 75
9.3.4 Velocidad Mínima 75
9.3.5 Velocidad Máxima 76
9.3.6 Relación Máxima Entre Profundidad de Flujo y Diámetro 77
9.3.7 Estructuras de conexión o pozos de inspección. 77
9.3.8 Cámaras de caída 79
9.3.9 Estructura de descarga 79
9.3.10 Conexiones domiciliarias 79
9.4 PREDIMENSIONAMIENTO DE ALTERNATIVAS 80
9.4.1 Predimensionamiento de alternativa No 1 80
9.4.2 Predimensionamiento de alternativa No 2 91
9.5 COSTOS E INVERSION DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO 97
9.5.1 Análisis económico de cada alternativa 98
10. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1. 105
10.1 MATRICES MULTI- CRITERIO 105
10.1.1 Aspecto Económico 106
10.1.2 Aspectos Técnicos 106
10.1.3 Aspectos Ambientales 107
10.1.4 Aspecto de Gestión del Riesgo 107
10.1.5 Aspectos Sociales 107
10.1.6 Calificación de criterios de sostenibilidad 109

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

10.1.7 Valoración Cuantitativa y Cualitativa 110
10.2 APLICACIÓN DE MATRICES MULTI- CRITERIO 113
10.2.1 Aspecto económico 113
10.2.2 Aspectos Técnicos 115
10.2.3 Aspectos Ambientales 117
10.2.4 Aspecto de Gestión del Riesgo 122
10.2.5 Aspectos Sociales 126
10.3 RESULTADO ALTERNaTIVAS 128
10.3.1 Calificación de criterios de sostenibilidad 129
10.3.2 Valoración Cuantitativa y Cualitativa 130
11. PLAN GENERAL DE OBRAS Y DE INVERSIONES Y ACCIONES COMPLEMENTARIAS 136
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 137
12.1 CONCLUSIONES 137
12.2 RECOMENDACIONES 138
13. ANEXOS 139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4- 1. Establecimientos educativos por comunas – Villavicencio. 33
Tabla 4- 2. Establecimientos turísticos Villavicencio. 33
Tabla 4- 3. Eventos culturales Villavicencio. 35
Tabla 4- 4. Población estimada por grupos étnicos en Villavicencio. 36
Tabla 4- 5. Grupos étnicos desagregado por seco. 36

Tabla 6- 1. Censos históricos municipio de Villavicencio – DANE. 46
Tabla 6- 2. Crecimiento medio anual población total Villavicencio. 47
Tabla 6- 3. Proyecciones DANE cabecera municipal Villavicencio (2018 – 2042). 47
Tabla 6- 4. Proyección población con regresión cabecera municipal V/cio (2018 – 2051). 49
Tabla 6- 5. Proyección población cabecera municipal Villavicencio métodos matemáticos. 49
Tabla 6- 6. Proyección de población cabecera municipal Villavicencio. 52
Tabla 6- 7. Número de habitantes por vivienda cabecera municipal Villavicencio. 55
Tabla 6- 8. Proyección de población zona de interés proyecto. 57

Tabla 7- 1. Dotación neta máxima. 58

Tabla 8- 1. Localización pozos de inspección – Levantamiento topográfico. 64



Tabla 8- 2. Características pozos de inspección área de interés. 65
Tabla 8- 3. Identificación tramos 66

Tabla 9- 1. Aplicabilidad del proyecto 69
Tabla 9- 2. Objetivos de la intervención del tramo 70
Tabla 9- 3. Períodos de Retorno para estudios de Cota de aguas máximas para cruces 74
Tabla 9- 4. Profundidades a las cotas clave del colector. 75
Tabla 9- 5. Diámetro interno mínimo de estructuras de conexión. 78
Tabla 9- 6. Diámetro de la Cámara de caída en función del diámetro de la Tubería de entrada 79
Tabla 9- 7. Parámetros de diseño 82
Tabla 9- 8. Prediseño hidráulico alternativa No 1 82
Tabla 9- 9. Deflexiones máximas permitidas 86
Tabla 9- 10. Materiales para la cimentación de tuberías 89
Tabla 9- 11. Revisión de prediseño de cimentación 90
Tabla 9- 12. Prediseño hidráulico tramo en tubería de concreta clase IV 91
Tabla 9- 13. Valore de K"u y Ku 94
Tabla 9- 14. Carga por relleno sobre las tuberías 94
Tabla 9- 15. Carga viva sobre la tubería 95
Tabla 9- 16. Resistencia requerida mínima por la tubería 96
Tabla 9- 17. Estructura de cimentación para tubería en concreto clase IV 97
Tabla 9- 18. Costos directos asociados a construcción alternativa No 1. 98
Tabla 9- 19. Costos directos asociados a alternativa No 2. 100
Tabla 9- 20. Resumen costos directos alternativas. 102
Tabla 9- 21. Costos de operación y mantenimiento anual Alternativas 102
Tabla 9- 22. Tabla de evaluación económica alternativas 104

Tabla 10- 1. Criterios de sostenibilidad por aspecto. 105
Tabla 10- 2. Calificación criterios de sostenibilidad. 109
Tabla 10- 3. Coeficientes de ecuación 111
Tabla 10- 4. Costos directos 113
Tabla 10- 5. Costos energéticos 113
Tabla 10- 6. Costos operacionales de mano de obra 114
Tabla 10- 7. Costos de mantenimiento de equipos. 114
Tabla 10- 8. Costos ambientales 115
Tabla 10- 9. Costos indirectos 115
Tabla 10- 10. Capacidad técnica para ejecución y operación 116
Tabla 10- 11.Disponibilidad de recursos , materiales y repuestos 116
Tabla 10- 12. Disponibilidad de mano de obra 117
Tabla 10- 13. Tiempo de ejecución del proyecto 117
Tabla 10- 14. Áreas de protección ambiental 119
Tabla 10- 15. Presencia y oferta de fauna en la zona 119
Tabla 10- 16.Afectación por zonificación ambiental 120
Tabla 10- 17. Uso y cobertura vegetal 121
Tabla 10- 18. Generación de contaminantes 122
Tabla 10- 19. Vulnerabilidad por inundaciones 123
Tabla 10- 20. Amenaza y vulnerabilidad por remociones en masa 124

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Tabla 10- 21. Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos 124
Tabla 10- 22. Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad 125
Tabla 10- 23.Generación de empleo 126
Tabla 10- 24. Incremento de costos de vida 126
Tabla 10- 25. Aumento de cobertura del servicio 127
Tabla 10- 26. Afectación en la malla vial y peatonal 127
Tabla 10- 27. Incremento en tarifas del servicio 128
Tabla 10- 28. Dinamismo en la economía del municipio 128
Tabla 10- 29. Calificación criterios de sostenibilidad. 129
Tabla 10- 30. Coeficientes de ecuación 131
Tabla 10- 31. Aplicación matriz cualitativa 132
Tabla 10- 32. Aplicación de matriz de jerarquización 133

Tabla 11- 1. Plan de Obras y de Intervenciones y Acciones Complementarias 136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4- 1. Localización general 20
Figura 4- 2. Red hidrográfica del Meta. 21
Figura 4- 3. Fuentes hídricas municipio de Villavicencio. 24
Figura 4- 4. Clima Villavicencio. 25
Figura 4- 5. Temperatura media horaria Villavicencio 25
Figura 4- 6. Probabilidad diaria de precipitación en Villavicencio 26
Figura 4- 7. Promedio mensual de lluvia en Villavicencio. 27
Figura 4- 8. Estructura de la población 2020. 31
Figura 4- 9. NBI Villavicencio. 32

Figura 8- 1. Localizaciones coordenadas de estudio. 62
Figura 8- 2. Topología según levantamiento topográfico. 63
Figura 8- 3. Topología según EEAV. 64
Figura 8- 4. Topología según levantamiento topográfico. 66

Figura 9- 1. Topología según levantamiento topográfico. 80
Figura 9- 2. Topología según EEAV. 81
Figura 9- 3. Hipótesis de carga en tuberías flexibles 84
Figura 9- 4. Deflexiones causadas en tuberías flexibles 85
Figura 9- 5. Efecto de pandeo sobre tuberías 87
Figura 9- 6. Propuesta de predimensionamiento para cimentación de tubería flexible 91
Figura 9- 7. Cimentación para tuberías rígidas 93
Figura 9- 8. Esfuerzo por carga viva vs profundidad de la tubería 95
Figura 9- 9. Cimentación tipo con tubería de concreto reforzado Clase IV 97

Figura 10- 1. Áreas de protección ambiental 118
Figura 10- 2. Área de biodiversidad 119
Figura 10- 3. Área de Zonificación ambiental 120
Figura 10- 4.Mapa de uso y cobertura actual 121
Figura 10- 5. Mapa de Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones 123

Figura 10- 6. Mapa de Amenaza y vulnerabilidad por remociones en masa 124
Figura 10- 7. Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad 125
Figura 10- 8.Resultado de análisis cuantitativo 135
Figura 10- 9. Resultado calificación jerarquización 135

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 6- 1. Censos históricos municipio de Villavicencio. 46
Gráfica 6- 2. Proyecciones DANE cabecera municipal Villavicencio (2018 – 2042). 48
Gráfica 6- 3. Proyección población cabecera municipal V/cio métodos matemáticos (2025 – 2051). 51
Gráfica 6- 4. Población de diseño. 54

1.INTRODUCCIÓN

La corporación ambiental para el desarrollo sostenible del área especial la macarena **CORMACARENA**, en desarrollo de sus funciones como máxima autoridad ambiental del departamento de meta, propende gestionar, proteger los recursos naturales renovables dentro del concepto de desarrollo sostenible. En ese sentido, la corporación ambiental cormacarena, dentro de un diagnóstico a la problemática de contaminación y baja disponibilidad del recurso hídrico, ha determinado que una de las dinámicas negativas que afectan es la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales de origen domestico sin tratamiento previo. Así las cosas, cormacarena en búsqueda de atender la problemática de contaminación del interceptor Ocoa sur tramo 1, decide invertir recursos en los proyectos de descontaminación de fuentes hídricas, específicamente lo que concierne a objeto del presente contrato.

Teniendo en cuenta lo anterior, consciente de las necesidades insatisfechas en las comunidades aferentes a su competencia y en su esfuerzo por implementar y ofrecer condiciones aptas de agua potable y saneamiento básico ambiental a las comunidades, La corporación ambiental "Cormacarena" ha optado por celebrar el CONTRATO DE CONSULTORÍA No. **PS-GCT 2.725-1371**, cuyo objeto es "**ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO** ", el cual fue adjudicado por medio de concurso de méritos No CMA-010-2025; al **CONSORCIO INTERCEPTOR OCOA SUR 2025** con NIT 901.990.414-0, representada legalmente por **GUILLERMO ANTONIO ROJAS BAQUERO**, identificado con cedula de ciudadanía No 1.121.837552 expedida en Villavicencio. esta decisión estuvo soportada en las condiciones técnico económicas presentadas, cuyos lineamientos fueron los idóneamente solicitadas por el ente encargado para encomendar tales fines. A continuación, se enumeran las actividades para cumplir el alcance técnico específicamente para la "**ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO**"; así:

FASE I: DIAGNOSTICO, ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS RECOLECCION Y ANALISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE.

1. Recolección y análisis de la información existente.
2. Diagnostico infraestructura existente.
3. Estudios topográficos
4. Estudios geológico y geotécnico

5. Estudios hidráulico y hidrológico
6. Análisis predial
7. Análisis de amenazas vulnerabilidad y riesgos
8. **Criterios de diseños, análisis y selección de alternativas.**

FASE II: INGENIERÍA DE DETALLE

9. Informe de puntos críticos
10. Diseño Hidráulico
11. Diseño Estructural
12. Otros aspectos de ingeniería - obras complementarias
13. Plan de manejo ambiental
14. Formulación de documentos técnicos finales
    a. Presupuesto
    b. APU
    c. Memorias de calculo
    d. Planos de localización de detalle y constructivos
    e. Especificaciones técnicas
    f. Programación
    g. Diagrama de flujo

El siguiente documento presenta el ítem. **8. Criterios de diseños, análisis y selección de alternativas**

2.OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

→ Realizar estudio de alternativas para la construcción y adecuación del interceptor Ocoa sur tramo 1 del municipio de Villavicencio.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

→ Elaborar un resumen del diagnóstico hidráulico de las condiciones actuales del interceptor Ocoa Sur tramo, en el que se evidencien los problemas encontrados.
→ Con base en estudios y diagnósticos previos, establecer y evaluar alternativas de solución al problema planteado con base en análisis de costo mínimo
→ Identificar los requerimientos de obras, con enfoque desde el punto de vista técnica, operativo, económico, ambiental institucional social y financiero Realizar cálculo de las demandas actuales y futuras acorde a la población calculada para proponer las diferentes alternativas de solución.
→ Evaluar los parámetros hidráulicos de las alternativas presentadas.
→ Presentar plan de obras y de inversiones para el sistema durante el horizonte de planeación asumido
→ Realizar los correspondientes análisis hidráulicos tomando como base los parámetros estipulados por la Resolución 0330 de junio de 2017 y las modificaciones presentadas en la Resolución 0799 de diciembre de 2021.



3.MARCO LEGAL

A partir de la expedición del código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente (Decreto-Ley 2811 de 1974) el avance de la legislación ambiental ha sido notable. La creación del Ministerio del Medio Ambiente (Ley 99 de 1993) con el Sistema Nacional Ambiental (SINA), la reestructuración de las Corporaciones Ambientales, el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS/2000), resolución 0330 de 2017 y resolución 0799 de 2021 y las unidades ambientales urbanas y todas aquellas acciones legales fundamentan los requisitos que deben cumplir las obras, equipos y procedimientos operativos que se utilicen en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y sus actividades complementarias.

Para una mejor descripción y comprensión del actual marco legal e institucional en el que se realizan las actividades de prestación de los servicios públicos domiciliarios en Colombia, en particular del estudio previo, diseños y formulación del proyecto de la construcción del interceptor Ocoa sur tramo 1 , en el municipio de Villavicencio, conviene mencionar previamente algunas de las tendencias que fueron determinantes para redefinir el marco de acción bajo el cual los distintos agentes económicos desarrollaban sus actividades y simultáneamente adoptar los cambios que permitieran superar las deficiencias anteriores y enfrentar con éxito las nuevas exigencias y necesidades del sector, ellas son:

Fortalecimiento de la democracia participativa, que otorga mayores poderes decisorios y de control, a los clientes (usuarios y consumidores) de servicios regidos por el principio de universalidad de acceso.

Replanteamiento de la acción estatal, enmarcado dentro de los procesos de reestructuración, descentralización y modernización, que pretende hacer que el Estado se margine cada vez más en su rol de empresario y oriente su accionar al establecimiento de condiciones propicias para la actuación libre de las fuerzas de mercado.

Fortalecimiento de los marcos de regulación y de control por parte del Estado, dotándolo de herramientas para proteger los intereses de los usuarios en un ambiente de libre competencia.

Apertura de los servicios públicos a la competencia, buscada mediante la eliminación de barreras de entrada a nuevos oferentes e incentivando la vinculación de nuevos capitales al sector.



En este nuevo entorno que el estado decidió adoptar un nuevo marco legislativo e institucional en el cual, sin abandonar las responsabilidades que a él le competen, se integraran todos aquellos mecanismos que le imprimieran un mayor dinamismo al sector y permitiera una mayor eficiencia en las entidades vinculadas con la provisión de los servicios públicos domiciliarios.

Los municipios colombianos como consecuencia de la descentralización administrativa tienen toda la responsabilidad en el desarrollo legal, administrativo, ambiental y socioeconómico, para realizar una labor eficiente y de calidad. Por ende, el desarrollo de los diseños y formulación del proyecto de la construcción del interceptor Ocoa sur tramo 1, debe acogerse a las leyes y normas que lo soportan, como:

a. Constitución política de Colombia

→ De la finalidad social del estado y de los servicios públicos domiciliarios: artículos 334, 365,367, 368, 369 y 370.

→ Conservación del medio ambiente: artículos 58, 63, 79, 80, 81, 82, 103, 244, 268, 277, 282, 300, 301, 333, 334, 339, 340, 360, 361.

→ Régimen territorial: artículos 285, 286, 288, 300, 306, 318, 319, 320, 321.

b. Servicios públicos domiciliarios

→ Ley 142 De 1994, "Por el cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios" y todos los decretos y resoluciones reglamentarios de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y la Comisión de Regulación de Agua Potable (CRA) en especial:

→ Resolución. CRA 287 de 2004, Metodología tarifaría para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.

En el Artículo 6º de la Resolución 1795 de la CRA, todos los sistemas de acueducto están comprometidos a realizar esfuerzos para disminuirlas al máximo pues el nivel máximo de agua no contabilizada que se aceptará para el cálculo de los costos de la prestación del servicio de acueducto será del 30%. De otro lado la Ley 373 de junio de 1997, por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua, invita a hacer esfuerzos ingentes para reducir las pérdidas de los sistemas de acueducto en el territorio nacional.

c. Planeación y ordenamiento territorial

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

→ Ley 617 de 2000 "Se dictan otras normas tendientes a fortalecer la descentralización, y la racionalización del gasto público nacional".

e. Gestión y conservación del medio ambiente

→ Ley 23 de 1973, "Facultades extraordinarias para la aprobación del Código Nacional De Los Recursos Naturales Renovables y de protección del medio ambiente".

→ Dec-Ley 2811 de 1974, "Código Nacional De Los Recursos Naturales Renovables y de protección del medio ambiente".

→ Decreto 1541 de 1978, Del dominio de las aguas, cauces y riberas; de la explotación y ocupación de playas cauces y lechos; de las obras hidráulicas.

→ Decreto 1594 de 1984, "Usos del agua y residuos líquidos".

→ Decreto 919 de 1989, "Por el cual se organiza el sistema nacional para la prevención y atención de desastres y se dictan otras disposiciones."

→ Ley 9 de 1979, "El Código Sanitario".

→ Ley 99 de 1993, "Por la cual se crea el ministerio del medio ambiente, se ordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones." y alguno de sus decretos reglamentarios son:

- Decreto 1729 de 2002, "por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 Código Nacional De Los Recursos Naturales Renovables y de protección del medio ambiente y se dictan otras disposiciones.

- Decreto 3100 de 2003 "Sobre tasas retributivas".

- Decreto 1180 de 2003, "Sobre Licencias ambientales".
- Resolución N° 541 de 1994, "Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales,

→ Ley 136 de 1994 "Por la cual se dictan normas tendientes a modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios".

→ Ley 152 de 1994 "Por la cual se establece la ley orgánica del plan de desarrollo."

→ Ley 128 de 1994 "Por la cual se expide la ley orgánica de las áreas Metropolitanas".

→ Ley 160 de 1994 "Por el cual se crea el sistema nacional de reforma agraria y desarrollo rural campesino, se establece un subsidio para la adquisición de tierras, se reforma agraria y se dictan otras disposiciones".

→ Ley 388 de 1997 "Por la cual se modifica la ley 9 de 1989, y la ley 3º de 1991 y se dictan otras disposiciones".

→ Decreto 1507 de 1998. "Por el cual se reglamenta las disposiciones referentes a los planes parciales y a las unidades de actuación urbanística contenidas en la ley 388 de 1997" fue derogado.

→ Ley 400 de 1997 "Por el cual se adoptan normas para construcciones sismo resistentes".

→ Ley 105 de 1993 "Por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, y se distribuyen competencias y recursos entre la nación y las entidades territoriales, se reglamenta la planeación del sector transporte y se dictan otras disposiciones".

d. Recursos y financiación

→ Ley 44 de 1990 "Por la cual se dictan normas sobre catastro e impuestos sobre propiedad raíz, se dictan otras disposiciones de carácter tributario, y se conceden unas facultades extraordinarias".

→ Ley 60 de 1994 "Por la cual se dictan normas orgánicas sobre la distribución de competencias de conformidad con los artículos 151 y 288 de la constitución política y se distribuyen recursos según los artículos 356 y 357 de la constitución política y se dictan otras disposiciones".

→ Ley 42 de 1993 "Sobre la organización del sistema de control fiscal financiero y los organismos que lo ejercen".

elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación".
- Ley 373 de 1997 "por la cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua, invita a hacer esfuerzos ingentes para reducir las pérdidas de los sistemas de acueducto en el territorio nacional".

- Resolución 1792 de 1990, "Por la cual se adoptan valores límites Permisibles para la exposición ocupacional al ruido".

- Decreto 475 de 1998, "Sobre calidad de agua".

f. Área Social

→ Ley 134 de 1994. "Por la cual se dictan normas sobre mecanismos de participación ciudadana."
→ Ley 505 de 1999 "Por medio del cual se fijan términos y competencia para la realización, adopción y aplicación de la estratificación a que se refieren las leyes 142 y 177 de 1994,188 de 1995 y 383 de 1997 y los decretos presidenciales 1538 y 2034 de 1996."
→ Ley 115 de 1994. "Por la cual se expide la ley general de educación

3.1. SOBRE LAS NORMAS TÉCNICAS

El Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico (RAS/2000) y las Resoluciones 0330 de 2017 y 0799 de 2021, determinan los requisitos técnicos mínimos que deben cumplir las obras y procedimientos que se utilicen para adelantar las actividades básicas y complementarias a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico y hace referencia a Normas Técnicas Colombianas y a Normas Técnicas Internacionales. En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en este Reglamento.

Sin embargo, existen otras normas emitidas por el ministerio de vivienda ciudad y territorio que deben ser aplicadas al presente proyecto entre ellas tenemos:

→ Res 0631 de 2015 norma de vertimientos
→ Res 2115 de 2007 calidad del agua para consumo humano
→ Documento 2667 de 2012 tasas retributivas por utilización de agua
→ 3930 de 2010 usos del agua y residuos líquidos
→

4.ASPECTOS GENERALES

4.1. GENERALIDADES

Villavicencio, capital del departamento del Meta, se localiza al piedemonte de la cordillera Oriental, en la transición entre la región Andina y la Orinoquía colombiana. Su posición estratégica la convierte en la principal puerta de entrada a los Llanos Orientales y en un centro administrativo, comercial y de servicios de gran relevancia regional.

La historia de Villavicencio se remonta a mediados del siglo XIX. Su origen está relacionado con los procesos de colonización provenientes del interior del país, especialmente desde Cundinamarca y Boyacá, que buscaban nuevas tierras para la ganadería y la agricultura. El asentamiento inicial se conoció como Gramalote, fundado alrededor de 1840, y posteriormente fue trasladado al sitio actual, adoptando el nombre de Villavicencio en honor al prócer de la independencia don Antonio Villavicencio.

Durante el siglo XX, la ciudad experimentó un notable crecimiento impulsado por la ganadería extensiva, la explotación forestal, el comercio y posteriormente la llegada de la infraestructura vial que la conectó con Bogotá a través de la carretera al Llano. Estos factores consolidaron su papel como centro logístico y de abastecimiento de la región oriental del país.

En las últimas décadas, Villavicencio ha presentado una expansión urbana significativa, acompañada de retos en materia de planeación territorial, saneamiento básico y manejo ambiental. El crecimiento poblacional y la ocupación de zonas cercanas a los cauces de los ríos Guatiquía, Ocoa y Negro han generado la necesidad de fortalecer los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, así como la construcción de interceptores y colectores principales, orientados a mejorar la calidad ambiental y la eficiencia en la conducción de las aguas residuales hacia los sistemas de tratamiento.

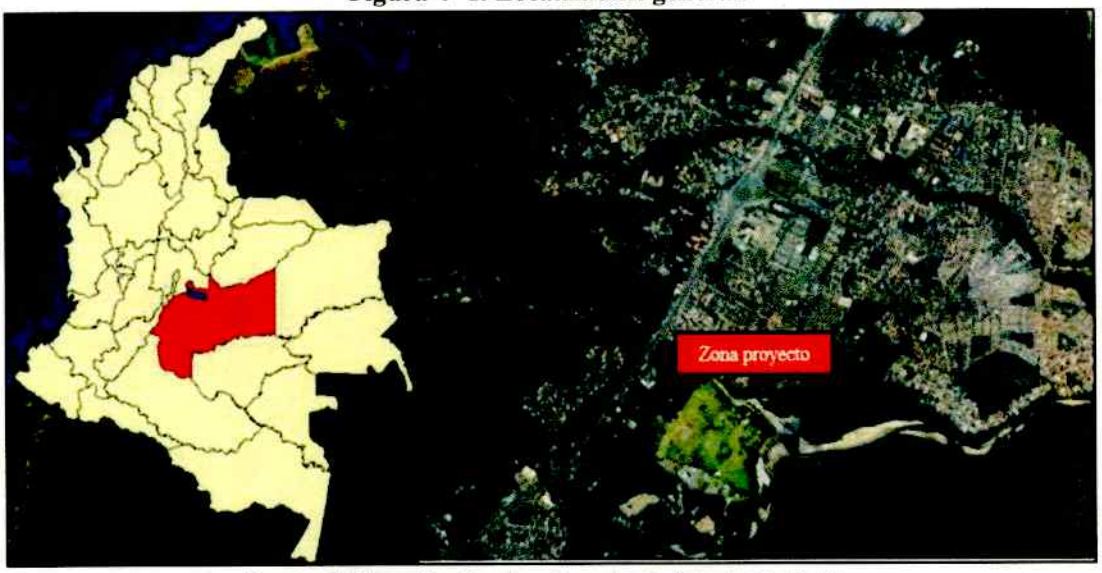
4.2. ASPECTOS FISICOS

4.2.1. Localización Geográfica del Municipio de Villavicencio

El municipio de Villavicencio es la capital del departamento del Meta y se localiza en el piedemonte de la cordillera Oriental, en la transición entre la región Andina y la Orinoquía colombiana. Sus coordenadas aproximadas son 4°09' de latitud norte

y 73°38' de longitud oeste, a una altitud media de 467 m s. n. m. Limita al norte con el municipio de Restrepo, al oriente con Cumaral, al sur con Acacías y al occidente con el departamento de Cundinamarca.

Figura 4- 1. Localización general.



Fuente: Elaboración Propia – Tomado de Google Earth Pro.

4.2.2. Geografía

El territorio municipal presenta dos unidades fisiográficas principales: la zona de piedemonte, de relieve ondulado y colinoso, donde se asienta la mayor parte de la zona urbana, y la llanura aluvial, de topografía plana y suelos de origen sedimentario. Estas características condicionan los procesos de drenaje natural y la disposición de la infraestructura urbana. El clima es cálido húmedo, con temperaturas promedio entre 24 y 27 °C y una precipitación anual que supera los 3.800 mm, concentrada principalmente entre los meses de abril y noviembre.

4.2.3. Economía

La economía de Villavicencio se fundamenta en el sector de servicios, que incluye comercio, transporte, educación y turismo, además de la ganadería y agricultura como actividades tradicionales. En los últimos años se ha consolidado como un centro logístico y financiero del oriente colombiano, impulsado por su cercanía con Bogotá y su posición estratégica en el corredor vial hacia los Llanos.

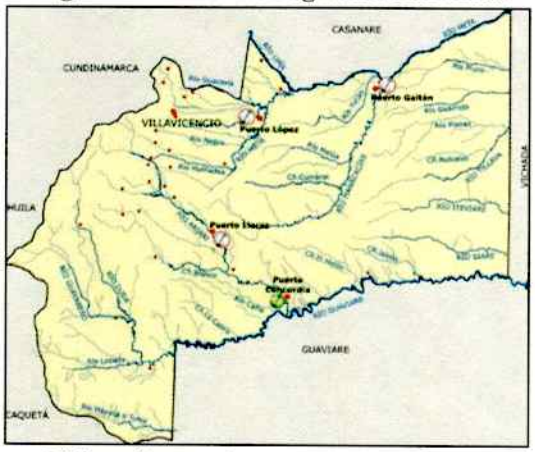
4.2.4. Vías de Comunicación

Villavicencio se conecta con el centro del país a través de la carretera Bogotá–Villavicencio, principal eje de comunicación con la capital. Internamente cuenta con una red vial urbana en expansión y vías secundarias que comunican con los municipios de Restrepo, Cumaral, Acacías y Puerto López. También posee un aeropuerto nacional, el Vanguardia, que facilita la conectividad aérea con diversas regiones del país.

4.2.5. Hidrología

El municipio está atravesado por una densa red hídrica perteneciente a la cuenca del río Guatiquía, principal fuente abastecedora de agua. Entre sus afluentes se destacan los ríos Ocoa, Negro y Guayuriba, además de múltiples quebradas como la Honda, Maizaro y Barzal. Estas corrientes juegan un papel determinante en el drenaje urbano y en el diseño de los sistemas de alcantarillado e interceptores sanitarios, dado que gran parte del crecimiento urbano se desarrolla en su zona de influencia.

Figura 4- 2. Red hidrográfica del Meta.



Fuente: Elaboración Propia – Tomado de Google Earth Pro.

La red hídrica que drena el Departamento del Meta pertenece a la cuenca del Rio Orinoco. Gran parte de los ríos que constituyen esta cuenca comienzan su recorrido en las partes altas de la cordillera Oriental y la serranía de la Macarena, continúan luego por las llanuras y altillanuras hasta tributar sus aguas a esta importante arteria fluvial. Una de las grandes vertientes hidrográficas de la Orinoquia es el Rio Vichada de la cual pertenecen las Subcuencas de los Ríos Tillavá y Planas que junto con los

Ríos Muco, Guarrojo evacuan las aguas de la altillanura disectada al occidente del Meta.

El componente hídrico del municipio de Villavicencio está conformado por la red hidrográfica de las cuencas de los ríos Guatiquía, Ocoa, Negrito y Guayuriba, así como por diversas microcuencas de menor orden. Estas últimas han sido identificadas y delimitadas en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA) de los ríos Guatiquía y Guayuriba, adoptados por CORMACARENA.

Rio Guatiquia

El río Guatiquía tiene su origen en el Páramo de Chingaza, a 3.500 msnm, en el municipio de Fómeque (Cundinamarca). Su cauce se alimenta de las aguas del río Chuza y del río La Playa, que a su vez recibe las aguas del río Frío, el cual actúa como desagüe de la Laguna de Chingaza. Desde su nacimiento en el páramo hasta su desembocadura en el río Meta, en los Llanos Orientales, recorre un trayecto de 137 km atravesando un cañón largo y profundo que abarca tanto el territorio cundinamarqués como el departamento del Meta, dentro de la jurisdicción de Villavicencio. En su recorrido, también atraviesa los municipios de San Juanito y El Calvario.

El río Guatiquía se divide en dos ramales:

- Ramal 1: Cambia su nombre a río Negrito hasta confluir con el río Meta. En su desembocadura, forma una cascada que se destaca como un atractivo turístico. Este ramal establece límites con el municipio de Restrepo y finalmente desemboca en el río Humea.

- Ramal 2: Adopta el nombre de Guayuriba (no debe confundirse con el río Guayuriba) y también fluye hacia el río Meta

Rio Ocoa

El río Ocoa nace en la vereda Samaria, ubicada al suroccidente de Villavicencio, a una altitud de 1.155 metros sobre el nivel del mar.

Desde su nacimiento, el río recorre aproximadamente 54,89 kilómetros hasta su desembocadura en el río Guatiquía, a una altitud estimada de 225 msnm.

En la cuenca alta, sus principales afluentes son la cascada Agua Linda y la quebrada Blanca. A medida que desciende, el río Ocoa incrementa el ancho de su

cauce y recibe aportes de varios caños, entre ellos La Unión, Colepato, Los Pendejos, Grande, Amoladero, Tigre, Buque y Maizaro. El caudal medio anual del río Ocoa, registrado en las cercanías de la desembocadura del caño Tigre, es de 8.2 m^3/s.

Es importante destacar que el río Ocoa atraviesa áreas urbanas de Villavicencio, lo que lo expone a diversas presiones antropogénicas, incluyendo vertimientos de aguas residuales e industriales.

Esta situación ha llevado a la implementación de planes de manejo ambiental para mitigar la contaminación y preservar la calidad del agua.

Además, el río Ocoa ha sido objeto de estudios sobre su dinámica fluvial, especialmente en sectores suburbanos de Villavicencio, donde se han observado transformaciones en su cauce debido a factores naturales y actividades humanas.

La conservación y el manejo adecuado del río Ocoa son fundamentales para garantizar su sostenibilidad y la de las comunidades que dependen de sus recursos hídricos.

Rio Guayuriba

El río Guayuriba se ubica en la subregión biogeográfica del piedemonte andino, en el flanco oriental de la cordillera Oriental de Colombia. Su cuenca abarca aproximadamente 760 km^2, extendiéndose por los departamentos de Cundinamarca y Meta, lo que lo convierte en una fuente hídrica esencial para los municipios circundantes.

El río nace a una altitud de 985 metros, en la confluencia de los ríos Blanco y Negro, y desciende hasta los 192 metros sobre el nivel del mar, donde desemboca en el río Metica.
Es importante destacar que el río Guayuriba forma parte de la cuenca del Orinoco, contribuyendo significativamente al sistema hidrográfico de la región.

Sin embargo, en los últimos años, el río ha enfrentado desafíos ambientales. En 2022, se reportó una posible contaminación atribuida a actividades mineras que excedieron los límites establecidos, lo que generó preocupación entre las autoridades y comunidades locales.

La conservación del río Guayuriba es esencial para mantener el equilibrio ecológico y garantizar el suministro de agua para las poblaciones aledañas. Por ello, se han

implementado planes de manejo ambiental y se promueve la participación comunitaria en su protección.

Caño Gramalote

El Caño Gramalote, un afluente hídrico emblemático de Villavicencio, nace en el barrio Los Libertadores y recorre aproximadamente 9.600 metros lineales dentro del perímetro urbano de la capital del Meta. Este cuerpo de agua, que en el pasado albergó una rica diversidad de especies, muchas de las cuales están hoy extintas, se destaca como el único caño canalizado en la ciudad.

El caño desemboca parte de sus aguas en el río Guatiquía, que luego fluye hacia el río Humea. Posteriormente, sus aguas continúan su curso hacia el río Metica, cerca de Puerto Porfía, donde confluyen con el río Meta. Este último, a su vez, atraviesa los departamentos del Meta, Casanare y Vichada, cerca de Puerto Carreño, antes de unirse al majestuoso río Orinoco.

A pesar de su importancia ambiental y cultural, el Caño Gramalote enfrenta desafíos significativos relacionados con la urbanización y la contaminación, lo que resalta la necesidad de implementar medidas de conservación y manejo sostenible para garantizar su preservación como patrimonio natural de la región.

Figura 4- 3. Fuentes hídricas municipio de Villavicencio.

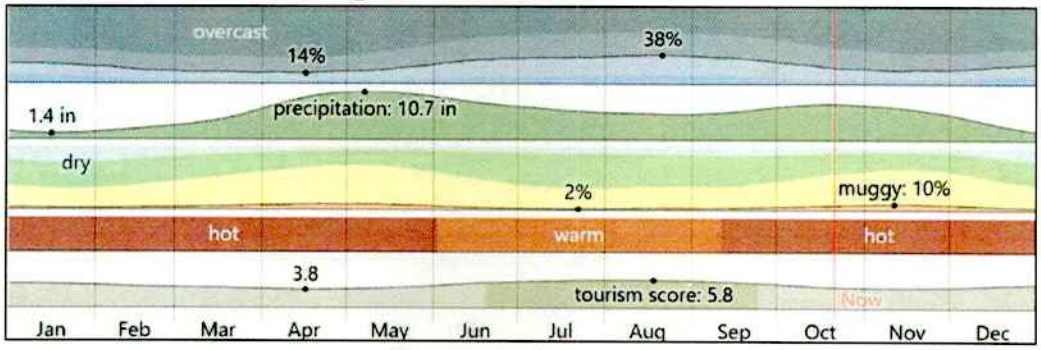


Fuente: IGAC.

4.2.6. Climatología

El clima en Villavicencio es caluroso y nublado. A lo largo del año, la temperatura suele variar entre 19 °C y 31 °C, y rara vez baja de 15 °C ni sube de 34 °C.

Figura 4- 4. Clima Villavicencio.

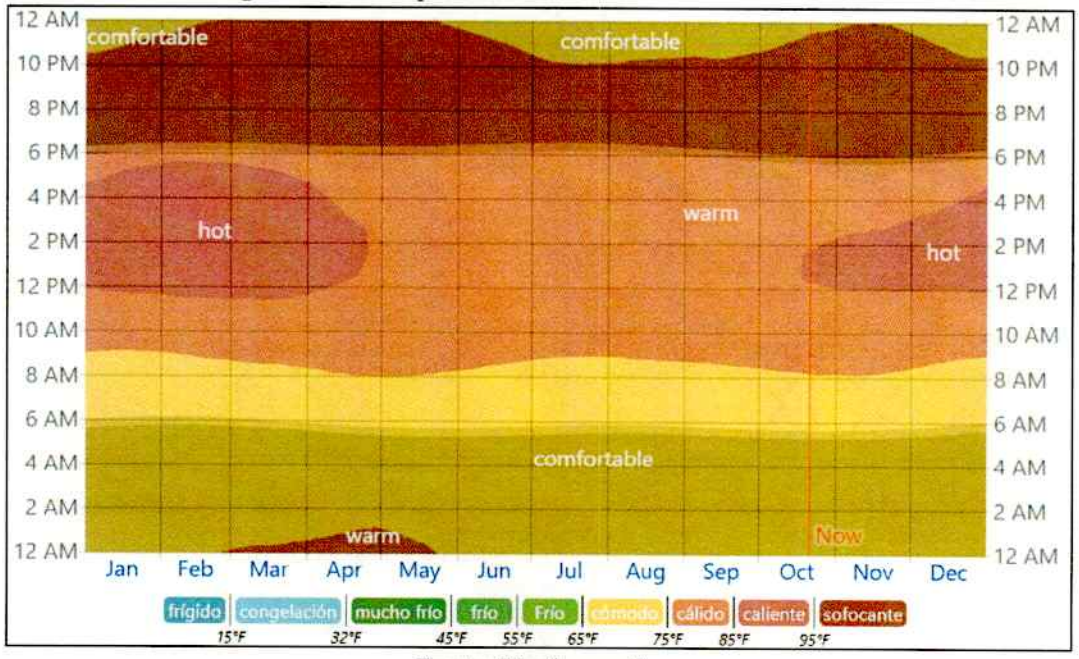


Fuente: Weather sparlk.

4.2.7. Temperatura Promedio

La temperatura en Villavicencio varía tan poco a lo largo del año que no tiene todo sentido hablar de estaciones cálidas y frías.

Figura 4- 5. Temperatura media horaria Villavicencio.



Fuente: Weather sparlk.

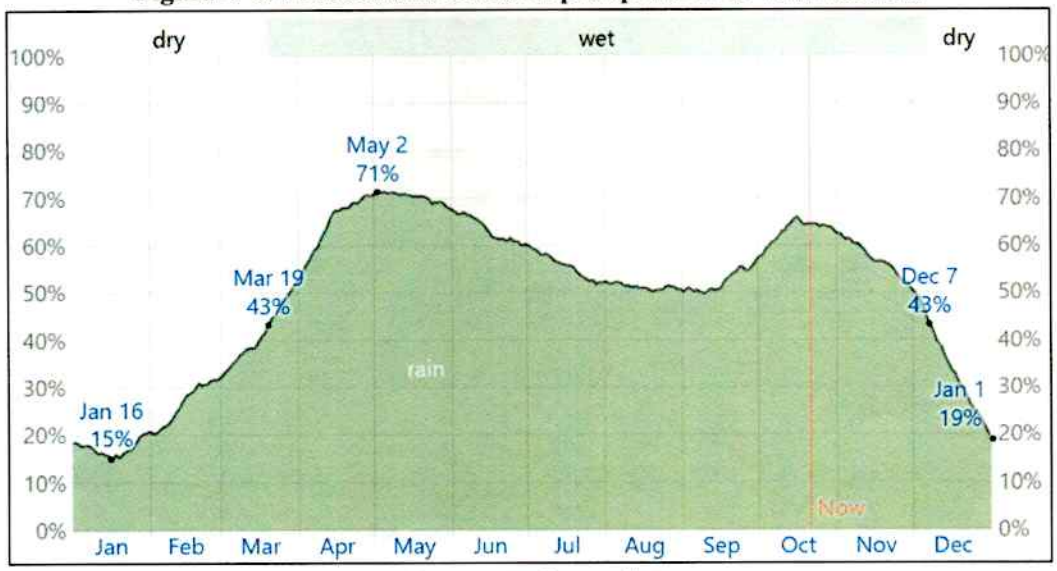
4.2.8. Precipitación

Un día lluvioso es aquel con al menos 0,04 pulgadas de precipitación líquida o equivalente líquido. La probabilidad de días lluviosos en Villavicencio varía considerablemente a lo largo del año.

La temporada de lluvias dura 8,6 meses, del 19 de marzo al 7 de diciembre, con una probabilidad superior al 43 % de que un día sea lluvioso. El mes con más días lluviosos en Villavicencio es mayo, con un promedio de 21,7 días con al menos 1 mm de precipitación.

La temporada seca dura 3,4 meses, del 7 de diciembre al 19 de marzo. El mes con menos días lluviosos en Villavicencio es enero, con un promedio de 5,4 días con al menos 0,04 pulgadas de precipitación.

Figura 4- 6. Probabilidad diaria de precipitación en Villavicencio.



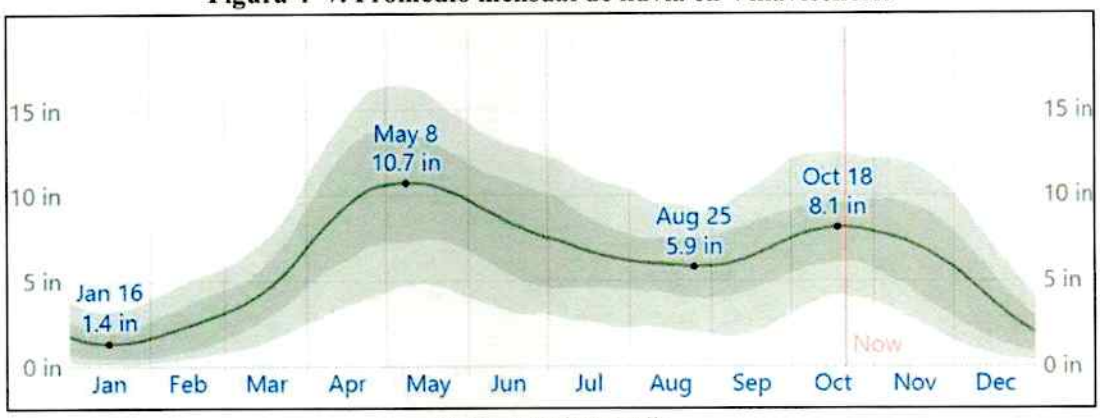
Fuente: Weather sparlk.

4.2.9. Lluvia

Para mostrar la variación mensual y no solo los totales mensuales, mostramos la precipitación acumulada durante un período móvil de 31 días, centrado en cada día del año. Villavicencio experimenta una variación estacional extrema en la precipitación mensual. En Villavicencio llueve durante todo el año. El mes con más

lluvia es mayo, con un promedio de 277 mm. El mes con menos lluvia en Villavicencio es enero, con una precipitación promedio de 1.4 pulgadas.

Figura 4- 7. Promedio mensual de lluvia en Villavicencio.



Fuente: Weather sparlk.

4.2.10. Geología

El municipio de Villavicencio se ubica en el piedemonte llanero, una zona de transición entre la cordillera Oriental y la llanura aluvial del Orinoco, caracterizada por una geología compleja producto de los procesos tectónicos, sedimentarios y erosivos que han actuado desde el Terciario hasta el Cuaternario.

Geológicamente, el área se encuentra dominada por formaciones sedimentarias del Neógeno y Cuaternario, compuestas principalmente por depósitos aluviales, coluviales y fluvio-lacustres. Estos materiales provienen de la erosión de las rocas metamórficas y sedimentarias de la cordillera Oriental, transportados y depositados por los ríos Guatiquía, Ocoa, Guayuriba y sus afluentes.

En la zona urbana y de expansión se identifican los siguientes tipos de materiales predominantes:

Depósitos Cuaternarios recientes: conformados por gravas, arenas, limos y arcillas, con niveles freáticos someros, asociados a las planicies de inundación y terrazas bajas de los ríos. Son suelos de alta permeabilidad y susceptibilidad a la erosión e inestabilidad en taludes no consolidados.

Depósitos coluviales: presentes en sectores de ladera del piedemonte, compuestos por mezclas de materiales heterogéneos, fragmentos de roca y matriz arcillosa, con comportamiento variable frente a la infiltración y drenaje.

Formaciones del Neógeno (Formación Guayuriba y Formación Mesa): afloran hacia las zonas más altas y corresponden a areniscas, limolitas y arcillolitas, moderadamente consolidadas, que sirven de soporte a la parte superior del relieve.

Desde el punto de vista geotécnico, los suelos presentan variaciones significativas en su capacidad portante y permeabilidad, aspectos determinantes para el diseño de estructuras de alcantarillado, interceptores y obras subterráneas. En sectores cercanos a cauces y terrazas bajas se recomienda especial atención a la estabilidad del terreno, control de infiltraciones y protección frente a socavación o saturación.

La zona se encuentra además dentro de una región sísmicamente activa, influenciada por la falla de Guaicaramo y otras estructuras asociadas al frente de deformación de la cordillera Oriental, lo que debe considerarse en el diseño estructural de las obras civiles.

4.2.11. Demografía

Según la ficha municipal 2023, la población total estimada para Villavicencio es de 577.875 habitantes. De acuerdo con proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para 2024, se estiman 585.858 habitantes, de los cuales aproximadamente 296.520 son mujeres y 289.338 hombres.

- → Para 2025 la estimación es de unos 593.273 habitantes.
- → En cuanto a empleo: en 2024 la tasa de desocupación en Villavicencio fue de 9,5 %, lo que la sitúa por debajo del promedio nacional.

Distribución por sexo y edad

- → En 2024, la población se distribuye casi igual entre mujeres (≈ 50,6 %) y hombres (≈ 49,4 %) en la estimación de 585.858 habitantes.
- → Por grupos de edad (2024 estimación):
  - Menores de 12 años: ~ 96.606 personas (~ 16,5 % del total).
  - 12 a 17 años: ~ 53.878 personas (y otros rangos mayores).
- → Los datos más antiguos (2018/2023) muestran también la pirámide poblacional con una base más ancha en edades tempranas y una reducción progresiva hacia edades mayores.

Implicaciones para un informe diagnóstico

El crecimiento poblacional moderado pero constante (por ejemplo, de ~577.875 en 2023 a ~585.858 en 2024) exige que la infraestructura proyectada (como interceptores, redes de alcantarillado, etc.) contemple capacidad para atender la demanda futura además de la actual.
El porcentaje significativo de población joven (por ejemplo ~16,5 % menores de 12 años) indica que los barrios residenciales con familias son una parte importante del municipio, lo cual puede determinar patrones de generación de aguas residuales, uso del suelo, necesidades de saneamiento, etc.
La tasa de desocupación relativamente baja (9,5 % en 2024) sugiere una dinámica económica favorable, lo cual puede implicar mayor consumo de servicios, densidad urbana creciente y por tanto, mayor presión sobre infraestructura básica.
La casi igualdad en la proporción de sexos y la distribución por edades permiten prever demanda residencial diversa (familias completas, personas mayores) lo que tiene impacto en tipología de vivienda, servicios domésticos, consumo y generación de aguas residuales.

4.3. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

4.3.1. Población Actual de Villavicencio

El comportamiento demográfico del municipio de Villavicencio se analiza con base en la información del Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (DANE), el cual evidencia una estructura poblacional predominantemente joven, con un peso significativo de los grupos en edad productiva.

La distribución por grupos etarios es la siguiente:

- → Primera infancia (0 a 4 años): 39.802 habitantes, que representan el 7,24 % de la población total. De este grupo, 20.641 son hombres (3,75 %) y 19.161 son mujeres (3,48 %).
- → Infancia (5 a 9 años): 41.065 personas (7,47 %), conformadas por 21.279 hombres (3,87 %) y 19.786 mujeres (3,60 %).
- → Adolescencia temprana (10 a 14 años): 42.425 habitantes (7,71 %), con 21.905 hombres (3,98 %) y 20.520 mujeres (3,73 %).
- → Adolescencia tardía (15 a 19 años): 45.689 personas (8,31 %), de las cuales 23.867 son hombres (4,34 %) y 21.822 mujeres (3,97 %).
- → Población adulta joven y media (20 a 44 años): 217.707 habitantes (39,59 %), distribuidos en 108.504 hombres (19,73 %) y 109.203 mujeres (19,86 %).



→ Población adulta mayor (45 años y más): 163.234 personas (29,68 %), de las cuales 75.297 son hombres (13,69 %) y 87.937 son mujeres (15,99 %).

En síntesis, casi el 55 % de los habitantes se concentra entre los 15 y 44 años, reflejando una estructura demográfica favorable para el desarrollo económico y la demanda de empleo, vivienda y servicios sociales.

4.3.2. Población y Grupos Etarios

De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (DANE), la población del municipio de Villavicencio asciende a 451.212 habitantes, de los cuales 222.448 son hombres (49,3%) y 228.764 son mujeres (50,7%).

La pirámide poblacional elaborada por el DANE refleja una estructura demográfica predominantemente joven, con una amplia base correspondiente a los grupos en edades infantiles y adolescentes, y una reducción progresiva hacia los rangos de mayor edad.

4.3.3. Estructura y Composición Poblacional

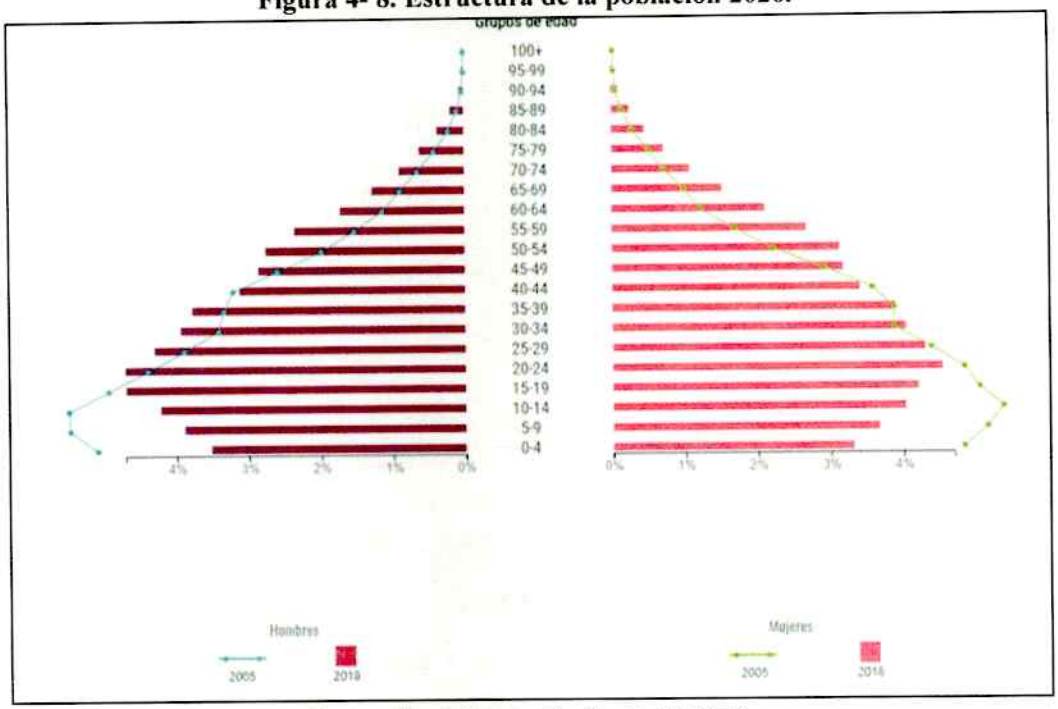
Según las proyecciones del Kit de Planeación Territorial 2020, elaboradas con base en el Censo DANE 2018, la estructura poblacional de Villavicencio mantiene una distribución equilibrada entre hombres y mujeres, especialmente en los grupos de edad comprendidos entre 20 y 29 años, donde se concentra una parte importante de la población económicamente activa.

En los grupos de mayores de 65 años, se observa una mayor participación femenina, lo cual evidencia un mayor índice de longevidad en mujeres. Esta tendencia es consistente con el patrón nacional y regional, donde la esperanza de vida de las mujeres supera la de los hombres.

En términos generales, la estructura demográfica de Villavicencio sugiere una población joven en proceso de madurez, con una base laboral activa que impulsa el crecimiento económico, pero que a su vez plantea desafíos en materia de empleo, educación, vivienda y servicios públicos.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Figura 4- 8. Estructura de la población 2020.



Fuente: Kit de Planeación Territorial 2020.

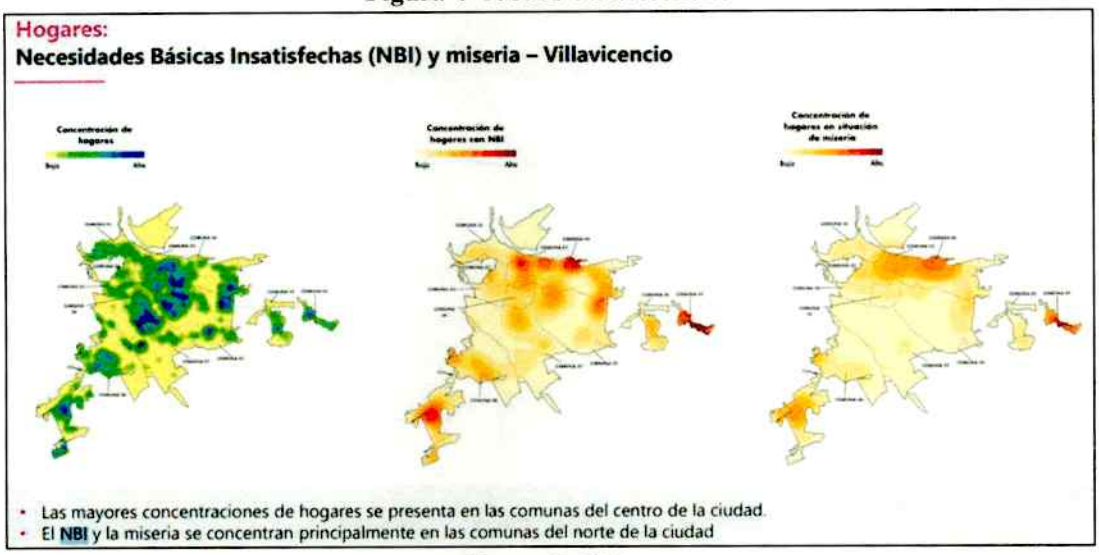
4.3.4. Índice NBI

El Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) mide las condiciones de pobreza estructural de los hogares y las personas, con base en cinco componentes.

De acuerdo con los indicadores del DANE (Censo Nacional 2018), en la cabecera municipal de Villavicencio el 6 % de la población presenta al menos una necesidad básica insatisfecha, lo que refleja una mejora significativa en las condiciones de vida respecto a periodos censales anteriores.

Este valor sitúa a Villavicencio por debajo del promedio nacional y departamental, evidenciando un avance en cobertura de servicios básicos, educación y vivienda, aunque aún persisten brechas en los sectores rurales y en algunas comunas periféricas donde las condiciones de acceso y calidad de los servicios son limitadas.

Figura 4- 9. NBI Villavicencio.



Fuente: DANE.

4.3.5. Educación

El artículo del Decreto 1851 de 2015 que mencionas describe el concepto de "análisis de la oferta" dentro del proceso de planeación educativa de las entidades territoriales certificadas como son las secretarías de educación municipales o departamentales.

En términos sencillos, este artículo establece que el análisis de la oferta educativa consiste en evaluar cuántos cupos están disponibles en las instituciones educativas oficiales, con el fin de:

- → Garantizar la continuidad de los estudiantes antiguos, es decir, asegurar que los alumnos que ya están matriculados puedan seguir cursando sus estudios sin interrupción.
- → Permitir el acceso de nuevos estudiantes al sistema educativo oficial.
- → Verificar la capacidad física de la infraestructura educativa —es decir, la cantidad de aulas, sedes y recursos disponibles— para atender esa demanda durante la siguiente vigencia del año escolar.

En resumen, el artículo define que el análisis de la oferta no solo cuenta los cupos disponibles, sino que también evalúa la capacidad instalada la infraestructura y los

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

recursos de las instituciones oficiales para prestar el servicio educativo en el año siguiente
En ese sentido a continuación se presentan unas tablas con la capacidad educativa de Villavicencio:

Tabla 4- 1. Establecimientos educativos por comunas – Villavicencio.

Comuna / Corregimiento	Oficiales	No Oficiales	Total
Comuna 1	10	12	22
Comuna 2	5	8	13
Comuna 3	8	10	18
Comuna 4	18	22	40
Comuna 5	20	24	44
Comuna 6	13	14	27
Comuna 7	14	16	30
Comuna 8	17	18	35
Corregimiento 1	10	2	12
Corregimiento 2	7	1	8
Corregimiento 3	6	1	7
Corregimiento 4	11	1	12
Corregimiento 5	5	0	5
Corregimiento 6	5	0	5
Corregimiento 7	10	1	11
TOTAL	159	130	289

Fuente: Secretaría de Educación de Villavicencio – Directorio de Instituciones Educativas Oficiales y No Oficiales, 2024 .

4.3.6. Turismo

Villavicencio, capital del departamento del Meta, se consolida como la puerta de entrada a los Llanos Orientales y uno de los principales destinos turísticos del oriente colombiano. Su ubicación estratégica, su oferta natural y cultural, y la mejora de la infraestructura vial y hotelera, la posicionan como un eje de desarrollo regional y un polo de atracción de visitantes nacionales y extranjeros.

De acuerdo con el Instituto de Turismo de Villavicencio (ITV) y la Alcaldía Municipal (2024), la ciudad registró durante el año 2024 una ocupación hotelera promedio del 92 %, con una derrama económica superior a $43.000 millones COP, evidenciando la recuperación y el fortalecimiento del sector turístico local.

Tabla 4- 2. Establecimientos turísticos Villavicencio.

Categoría	Principales atractivos	Localización aproximada

Naturaleza y aventura	Bioparque Los Ocarros, Caños Cristales del Güejar (acceso desde Villavicencio), Charco Azul, Mirador La Piedra del Amor	Vía Restrepo, Vda. Barcelona, Vda. El Carmen
Cultura y patrimonio	Catedral Nuestra Señora del Carmen, Parque Los Libertadores, Monumento a los Fundadores	Comuna 1 – Centro
Recreación y gastronomía	Parque Las Malocas, Parque Los Fundadores, restaurantes típicos de mamona y platos llaneros	Comunas 4, 5 y 7
Eventos y festivales	Festival Llanero de Villavicencio, Torneo Internacional del Joropo, Villavo Canta	Zonas urbana y rural

Fuente: Alcaldía de Villavicencio 2024 .

La ciudad dispone de más de 250 establecimientos de alojamiento, entre hoteles, fincas turísticas y hostales, así como tres Puntos de Información Turística (PIT) ubicados en:

→ Parque Los Libertadores.
→ Terminal de Transportes.
→ Aeropuerto Vanguardia.

La conectividad vial y aérea se ha fortalecido con la vía Bogotá – Villavicencio, la doble calzada Chirajara – Fundadores, y rutas aéreas diarias desde Bogotá y Medellín.

4.3.7. Cultura

Villavicencio es reconocida como el epicentro cultural de los Llanos Orientales, por su papel histórico en la preservación y difusión de las tradiciones llaneras. La ciudad concentra una diversidad de expresiones artísticas, festividades, gastronomía, música y danzas típicas que reflejan la identidad del pueblo llanero y fortalecen el sentido de pertenencia regional.

La cultura villavicense se caracteriza por la mezcla de influencias indígenas, mestizas y campesinas, que han configurado una identidad propia en torno a la vida llanera, la ganadería, la música y la relación con el territorio.

Entre los símbolos más representativos se encuentran:

→ El joropo, baile y género musical emblemático declarado Patrimonio Cultural Inmaterial de la Nación (Ley 908 de 2021).
→ La música llanera, con instrumentos tradicionales como el arpa, el cuatro y las maracas.

→ El coleo, deporte autóctono de los llanos, reconocido como manifestación cultural y deportiva del Meta.

Estas expresiones artísticas se transmiten de generación en generación y son eje central en la programación cultural y turística del municipio.

Tabla 4- 3. Eventos culturales Villavicencio.

Evento	Descripción	Fecha aproximada	Lugar principal
Festival Llanero de Villavicencio	Evento insignia del municipio, que celebra la música, danza, gastronomía y tradiciones del llano.	Diciembre	Parque Los Fundadores y escenarios urbanos
Torneo Internacional del Joropo	Competencia artística y cultural que reúne exponentes nacionales e internacionales del joropo.	Junio–Julio	Parque Las Malocas
Festival de Cuenteros y Narradores Orales	Espacio de promoción de la oralidad y la literatura llanera.	Agosto	Casa de la Cultura Jorge Eliécer Gaitán
Festival de la Canción Colombiana y del Arpa	Promueve el talento musical local y nacional.	Marzo	Teatro La Vorágine
Villavo Canta Gospel y eventos religiosos	Actividades de música cristiana y encuentro espiritual.	Octubre–Noviembre	Espacios públicos y parques

Fuente: Alcaldía de Villavicencio 2024 .

Villavicencio dispone de infraestructura cultural que fortalece la oferta educativa y artística local, entre ellos:

→ Casa de la Cultura Jorge Eliécer Gaitán
→ Teatro La Vorágine
→ Parque Las Malocas
→ Centro Cultural y Turístico de los Fundadores
→ Museo del Llanero (en proceso de consolidación)

En cuanto al patrimonio arquitectónico, se destacan:

→ Catedral Nuestra Señora del Carmen (Centro Histórico)
→ Antiguo Colegio Departamental
→ Parque Los Libertadores y su monumento central

4.3.8. Grupos Étnicos en la Ciudad de Villavicencio

Villavicencio presenta una diversidad étnica y cultural significativa, resultado de su papel como capital del departamento del Meta y punto de encuentro entre comunidades urbanas, campesinas, indígenas y afrodescendientes. Esta pluralidad ha contribuido a la riqueza cultural del municipio y al fortalecimiento del tejido social, especialmente en zonas rurales y de expansión urbana.
De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018, en Villavicencio el 4,1% de la población se reconoce como perteneciente a un grupo étnico.
La distribución es la siguiente:

Tabla 4- 4. Población estimada por grupos étnicos en Villavicencio.

Grupo Étnico	Población estimada	Porcentaje sobre el total municipal
Indígenas	17.845	3,3 %
Afrodescendientes (afrocolombianos, palenqueros, raizales)	3.65	0,7 %
Rom (pueblo gitano)	52	< 0,1 %
No se reconoce como perteneciente a grupo étnico	505.000 aprox.	95,9 %
Total estimado municipal (2018)	526.547	100%

Fuente: Alcaldía de Villavicencio 2024 .

Tabla 4- 5. Grupos étnicos desagregado por seco.

Población étnica	Mujeres	Hombres	Total
Indígena	651	833	1,484
ROM (gitana)	2	–	2
Raizal del archipiélago de San Andrés y Providencia	24	19	43
Negro(a), mulato(a), afrocolombiano(a) o afrodescendiente	4,850	4,317	9,167
Ninguno de los anteriores	181,272	191,138	372,410
Sin información	524	501	1,025
TOTAL	187,323	196,808	384,131

Fuente: Plan de salud territorial 2016 – 2019.

4.3.9. Definición Institucional de Responsabilidades

La definición institucional de responsabilidades establece la distribución de competencias, funciones y ámbitos de actuación entre las entidades públicas responsables de la planificación, ejecución, operación y control de las políticas y proyectos en el municipio de Villavicencio.

De acuerdo con la estructura administrativa del municipio y lo dispuesto en la Ley 136 de 1994, la Ley 715 de 2001 y el Decreto Municipal 068 de 2020, las responsabilidades se definen así:

Alcaldía de Villavicencio

- → Responsabilidad general: Dirección y coordinación de la administración municipal.
- → Funciones específicas:
  - Formular e implementar las políticas de desarrollo urbano y rural.
  - Coordinar la planeación y ejecución de proyectos de infraestructura, saneamiento básico, vivienda y servicios públicos.
  - Supervisar la correcta aplicación de los recursos públicos.
  - Liderar el Sistema Municipal de Planeación y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

Secretaría de Planeación Municipal

- → Coordina los procesos de planificación territorial y el seguimiento a los instrumentos de ordenamiento y desarrollo.
- → Responsable del componente técnico de proyectos de infraestructura urbana, equipamientos y redes de servicios públicos.
- → Administra el Sistema de Información Geográfica Municipal (SIG-Villavicencio).

Secretaría de Infraestructura

- → Responsable de la ejecución, mantenimiento y supervisión de obras públicas.
- → Formula los diseños y estudios técnicos relacionados con vías, drenajes, redes de alcantarillado pluvial y sanitario, y sistemas hidráulicos urbanos.
- → Coordina con empresas de servicios públicos y la Oficina de Gestión del Riesgo las obras de mitigación.

Secretaría de Medio Ambiente

- → Encargada de la gestión ambiental municipal y de la articulación con la Corporación Ambiental Cormacarena.
- → Evalúa los impactos ambientales de las obras de infraestructura.
- → Promueve programas de conservación de fuentes hídricas y control de vertimientos.

Secretaría de Educación

- → Administra el servicio educativo oficial en el municipio.

→ Supervisa los establecimientos educativos y promueve la formación ambiental y ciudadana.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio – EAAV ESP

→ Responsable de la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y saneamiento básico.
→ Desarrolla los proyectos de expansión, reposición y modernización de redes hidráulicas y sanitarias.
→ Realiza el control operativo, mantenimiento y tratamiento de aguas residuales.

Cormacarena (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Meta)

→ Autoridad ambiental regional.
→ Regula el uso del recurso hídrico, otorga permisos de captación y vertimiento, y ejerce control ambiental sobre las obras hidráulicas y sanitarias.

Gobernación del Meta

→ Apoya técnica y financieramente los proyectos de interés regional.
→ Coordina programas intermunicipales de saneamiento básico, educación y desarrollo sostenible.

La definición institucional de responsabilidades en Villavicencio permite garantizar una gestión articulada, eficiente y responsable del territorio, asegurando que cada entidad actúe dentro de su marco competencial y contribuya al desarrollo urbano sostenible, la prestación adecuada de los servicios públicos y la protección del medio ambiente.

5.DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

A continuación, se presenta una reseña de la infraestructura existente de Villavicencio, de acuerdo con la información secundaria recolectada, POT 2015 e información entregada por empresas públicas, EAAV ESP, EMSA, LLANOGAS, entre otras de servicios de telefonía e internet (Movistar y Comcel).

5.1. INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS PÚBLICOS

5.1.1. Acueducto y Alcantarillado

El servicio de acueducto y alcantarillado es prestado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio – EAAV E.S.P.

El sistema de acueducto se abastece principalmente de la quebrada la Honda, mediante la planta de tratamiento de agua potable La Esmeralda, con una capacidad aproximada de 2.000 L/s. La red de distribución cubre la totalidad del casco urbano y parte de los centros poblados periféricos, aunque se presentan zonas de intermitencia en sectores de expansión y zonas altas.

Actualmente, la mayor cobertura de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado en Villavicencio está a cargo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV), la cual atiende un total de 101.498 usuarios de acueducto y 104.867 usuarios de alcantarillado, principalmente del tipo residencial.

El servicio de alcantarillado presenta un número ligeramente superior de usuarios, debido a que las redes se extienden hacia áreas aún por desarrollar y, por sus características técnicas, resultan más viables de implementar.

Es importante resaltar que el 81% de los usuarios del servicio de acueducto pertenecen a los estratos 1, 2 y 3, lo que refleja el compromiso social de la empresa con los sectores más vulnerables de la población. En el caso del servicio de alcantarillado, los usuarios de estos mismos estratos representan el 79% del total.

Uno de los principales problemas que enfrenta el suelo urbano pendiente de urbanizar es la falta de un servicio continuo, derivada de las limitaciones técnicas existentes. Esta situación ha propiciado que algunos promotores y organizaciones privadas constituyan empresas de servicios públicos debidamente registradas ante

la Superintendencia correspondiente, con el fin de atender la demanda en dichas zonas.

5.1.2. Gas Natural Domiciliario

En Villavicencio, la empresa encargada de la distribución del gas natural domiciliario es Llanogas S.A. E.S.P.

Llanogas S.A. E.S.P. (Llanos Gas S.A. Empresa de Servicios Públicos) es una compañía regional que opera en el departamento del Meta y en otros municipios de los Llanos Orientales, prestando los servicios de distribución y comercialización de gas natural para usuarios residenciales, comerciales e industriales.

Su infraestructura incluye redes de distribución, estaciones de regulación y medición, así como sistemas de transporte que permiten garantizar la continuidad y seguridad del suministro.

5.1.3. Energía Eléctrica

El servicio de energía es prestado por la empresa Electrificadora del Meta S.A. E.S.P. (EMSA). La cobertura urbana es cercana al 99 %, con suministro proveniente del sistema interconectado nacional. Se cuenta con subestaciones principales en La Reforma, Catama y El Buque, que permiten la atención de la demanda residencial, comercial e industrial.

La infraestructura de media y baja tensión se encuentra en buen estado general, aunque en sectores de expansión urbana aún se requieren ampliaciones y normalizaciones de redes.

La ciudad de Villavicencio cuenta con alimentación directa del Sistema de Transmisión Nacional (STN) a través de la Subestación La Reforma, con una capacidad instalada de 300 MVA a niveles de tensión de 230/115/34.5 kV, además de 50 MVA adicionales provenientes de la línea Victoria–Barzal operada a 115 kV.

El servicio de energía eléctrica es prestado por la Electrificadora del Meta S.A. E.S.P. (EMSA), empresa responsable de la distribución y comercialización del suministro en el municipio. La infraestructura eléctrica de Villavicencio cuenta con nueve subestaciones: La Reforma, Barzal, Idema, Caños Negros, Esmeralda, Apiay, Ocoa, Catama y Suría, que garantizan la cobertura del servicio en las distintas zonas urbanas y rurales del territorio.

5.1.4. Telecomunicaciones

En Villavicencio ya está disponible la red de 5G de la operadora Claro. Esto representa un avance importante para velocidades muy superiores en el servicio móvil. La empresa Movistar ha informado que va a desplegar red de fibra óptica de hasta 900 Mbps en Villavicencio, apuntando a cubrir cerca del 63 % de los hogares al cierre de 2022. Telefónica Colombia

También existen proveedores locales de Internet y televisión por fibra óptica, por ejemplo, Satel Villavicencio, que ofrecen planes de 100 a 500 Mb. Satel Villavicencio En el segmento empresarial, se encuentran compañías como Intelcom Telecomunicaciones que ofrecen soluciones de fibra óptica, voz IP, redes estructuradas, para oficinas y corporativos.

El despliegue de fibra óptica por Movistar incluye una inversión significativa (más de 12 000 millones de pesos) para dotar de infraestructura moderna a empresas y hogares en Villavicencio. Telefónica Colombia

La existencia de proveedores locales que cubren tanto zonas urbanas como algunas rurales del departamento Meta indica que la expansión de redes se está extendiendo más allá de la ciudad principal. Por ejemplo, Link Networks S.A.S informa cobertura en Villavicencio, Restrepo, Cumaral, Acacías.

5.2. VÍAS DE ACCESO

Villavicencio constituye el principal centro de conexión entre los Llanos Orientales y el centro del país, desempeñando un papel estratégico en la red vial nacional. La vía Bogotá–Villavicencio (Autopista al Llano) representa el corredor más importante para el intercambio económico y logístico de la región, complementado por las rutas Villavicencio–Acacías–Granada y Villavicencio–Puerto López, que facilitan la comunicación con el sur y el oriente del departamento del Meta.

En el ámbito urbano, la estructura vial principal está conformada por los corredores Avenida 40, Avenida Catama, Avenida Circunvalar, Avenida del Llano y Calle 15, los cuales articulan el casco urbano con las comunas periféricas y soportan la mayor parte del tráfico vehicular de la ciudad.

El sistema de transporte urbano se sustenta en la Terminal de Transporte de Villavicencio y en una red de transporte público colectivo e individual, que permite la conexión entre los distintos barrios y sectores, incluyendo el área de influencia del interceptor Ocoa Sur.

5.3. DISPOSICIÓN URBANISTICA

El POT de Villavicencio —adoptado mediante el Acuerdo 287 de 2015— define la estructura urbanística del municipio, organizando su ámbito urbano en 12 comunas y su zona rural en 8 corregimientos. Actualmente, el área urbana presenta un proceso de expansión hacia el sur y el oriente, con nuevos desarrollos residenciales y equipamientos urbanos en las comunas 8, 9 y 10 —zonas que coinciden con la cuenca del río Ocoa. Esta dinámica de crecimiento genera presiones sobre los sistemas de drenaje y saneamiento, motivo por el cual el municipio proyecta obras tales como el "interceptor Ocoa Sur" para mejorar la recolección y conducción de aguas residuales en los nuevos sectores habitacionales.

Tradicionalmente, Villavicencio estaba dividida en 10 comunas para la zona urbana.

- → Comuna 1. Comprende los barrios Nueva Granada, Rondinela, Galán, Chapinerito Alto y Bajo, Los Cerezos, La Campiña, catalana, El Poblado, Doce de Octubre, Santa Josefa, El Recuerdo, Manaure, Panorama, San Felipe, El Triunfo, Caudal, El Prado, Virrey, La Grama, El Rosal, Emporio, Alcázares, La Esmeralda, San Pablo y La Victoria.
- → Comuna 2. Comprende los barrios Nueva Andalucía, Centro, La Salle, Las Colinas, Azotea, San Fernando, Barzal Alto y Bajo, Maizaro, Villaflores, Siete de Agosto, Buque, Trapiche, Villa María, Villacentro, Camoa, Balatá, Los Pinos, Bonanza, Villa Codem, La Isla, San José, Balcones de Toledo, Sansoucí, Libertadores, Pozo Veinte, Venecia, Alta Gracia y Torres de San Juan.
- → Comuna 3. Comprende los barrios Guayabal, Santa Fe, Brisas del Guatiquia, Las Delicias, Villa Julia, San Isidro, Santa Inés, El Porvenir, San Gregorio, Gaitán, Veinte de Julio, Las Ferias, Antonio Ricaurte, Industrial, La Vainilla, Santander y La Lambada.
- → Comuna 4. Comprende los barrios Villa Suárez, El Paraíso, Florencia, El Manantial, La Ceiba, Jordán, Santa Helena, El Bambú, Madrigal, La Bastilla, Seis de Abril, Urbanización El Consuelo, Santa Catalina, Antonio Villavicencio, Morichal, San Luis, El Recreo, La Desmotadora, Prados de Siberia, Cedritos, Bosques de Abajam, Covisán, Canaán, Calamar, El Cedral, Los Girasoles, Nueva Colombia 1 y 2, Portales del Llano, Villa Fabiola, El Milagro, Rosales, Pontevedra, San Felipe, San Carlos, El Rodeo, Villa Encanto, Marco A. Pinilla, Los Maracos, Ciudad Salitre, Los Caracoles, Camino Real, Parques de Castilla y Urbanización La Esmeralda.
- → Comuna 5. Comprende los barrios Popular, Dos Mil, Olímpico, Villa Ortiz, Camelias, Cataluña, Bello Horizonte, Cantarrana, Nueva Floresta, Estero, Bochica, Macunaima, Ariguaní, Vizcaya, Hacaritama, Kirpas, Villa Samper, Villa Mélida, Ciudadela San Antonio, El Brillante, Rincón de Las Marías,

Aguas Claras, Alameda del Bosque, Nueva Esperanza, Sindamanoy, Cerro Campestre, Toscana, Villa Alcaraván, Altos de Morelia, Danubio, Doña Luz, Remanso, Menegua, Buenos Aires, La Reliquia, Trece de Mayo, Gaviotas, Pacandé y La Rosita.

→ Comuna 6. Comprende los barrios Pastrana, Caney, Simón Bolívar, Macarena, Retiro, Amaral, Canaima, Nuevo Maizaro, Catatumbo, Nogal, San Benito, Guatiquia, Florida, Canta Rana, Nuevo Ricaute, El Embudo, Marsella, Henry García Bohórquez, San Francisco, Brisas del Caney, Sausalito y Cantarrana.

→ Comuna 7. Comprende los barrios: La Esperanza, Paraíso, Cooperativo, Jardín, Cámbulos, La Serranía, La Vega, La Coralina, Comuneros, La Alborada, Villa Bolívar, Rosa Blanca, Villa Humberto, Palmar, Santa Marta, Los Centauros, La Rosita, Villa Claudia, Sesquicentenario, Las Acacias, Piamonte, Rosa Linda, Plena Vida, Esperanza 2001, Balmoral, Los Cerezos, Villa Hermosa, Multifamiliares Los Centauros y Remansos de Rosa blanca.

→ Comuna 8. Comprende los barrios Urbanización Araguaney, Porfía, Las Américas, Playa Rica, Catumare, Rincón de las Margaritas, Guatapé, Álamos sur, Álamos Santa Rosa, Montecarlo Alto, La Rochela, Villa Marina, La Florida, Villa Carola ,Villa Lorena ,El Refugio, Guaicáramo, San Jorge, Villa del Río 1, Villa del Río 2, Caminos de Montecarlo, La Nora, Nueva Jerusalén, Villa Oriente, León XIII, Llano Lindo, Teusaquillo, Los Héroes, Semillas de Paz, Villa Juliana, Samán de la Rivera, Darién, Brasilia, La Madrid, Pinares de Oriente, Los Guayabos, La Maporita, Vilas del Carmen, Villas de San Agustín, San Cipriano, Villas del Ocoa, Bahía de Playa Rica, Loma Linda, Loma Azul, Palmar de Catumare, Maranatha, Villas del Alcaraván, La Playita, Los Cámbulos, La Pradera, Los Guaduales, El Ruby, Nuevo Amanecer, Santa Librada, Ciudad Cofrem, La Nueva Fundación, Villa Sonia, Villa Marina, Villa Milena, Sector de Montecarlo, Urbanización Divino Niño y Charrascal.

→ Comuna 9. Comprende los barrios Brasilia, Ciudad Porfía, Darién, Sector La Playa de Ciudad Porfía, Pinares de oriente, Alcaraván, Maporita, Rincón de las Lomas, Villas del Ocoa, Gramalote, Hábitat, Charrascal, Balcones de Brasilia, Samán de la Rivera, Ciudad Jardín, Piedemonte, Villa Juliana, Madrid, Villas del Lago, Ciudad Porfía Subnormal, San Agustín, San Cipriano, Villa de Paz, Villas del Alcaraván, Bosques de la Rivera, Miramar, La Aldea, San Bernardino, Riviera, Camelia I, Cucharón, Brisas del Ocoa, Atlántida, Mariana, Camelia III, Camelia IV y Cámbulos

5.4. ZONA DE RIESGO Y DE AMENAZAS NATURALES

El POT 2015 identifica zonas con amenaza alta y media por movimientos en masa, inundación y socavación, especialmente en los márgenes de los ríos Guatiquía, Ocoa y Guayuriba.

En el área sur y suroccidental, donde se localiza el corredor del interceptor, predominan zonas con amenaza media por inundación asociada al río Ocoa y al caño Gramalote.
La Oficina Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres ha priorizado intervenciones de mitigación mediante obras de protección de orilla, mejoramiento del drenaje y control de vertimientos.

Se recomienda considerar las zonas de amenaza en la planificación del trazado del interceptor y prever medidas de protección geotécnica y hidráulica.

El municipio de Villavicencio presenta cuatro principales riesgos: inundaciones, incendios, contaminación y sismos. Es importante señalar que la amenaza de inundación e incendios está asociada a fenómenos naturales, aunque el análisis de estos riesgos debe considerar también la intervención antrópica, la cual ha incrementado la amenaza de tipo socio-natural en el territorio.

Además, se identifican estructuras tectónicas activas en la región, lo que contribuye a la dinámica de estos riesgos, especialmente en lo que respecta a los sismos.

→ Estructuras Tectónicas Activas:

Según Cuellar et al. (1988) en el sector cercano a Villavicencio las principales fallas de oriente a occidente son: Villavicencio, Colepato, Mirador – Bavaria, Servitá, La Reforma, Blanca, Pipiral y Susumuco.

→ Estructuras Tectónicas Potenciales:

Según cortes y de la Espriella (1990) se reconocen 3 sistemas de fallamiento en la región estudiada; el sistema SE-NW, el sistema SW-NE y el sistema E-W.

- Falla Rio Negro
  El grupo de fallas del sistema SE-NW es muy evidente en la zona del macizo de Quetame y su principal elemento lo constituye la falla de Rio negro.
- Sistema SW-NE

Las principales fallas en esta zona son la falla de Servita (N40E/70E), de tipo normal, que podría ser la continuación de la falla de santa María (Ulloa y Rodríguez, 1979 e Ingetec,1980), la falla argentina (N45E/70E), y la falla el Mirador (N45E/60-70W).

- Sistema E-W

  Fallas que podrían incluirse en este sistema se observan en diferentes localidades, ejemplo la falla quebrada Honda, Susumuco, pero la más relevante por su longitud es la falla Pescado.

6.RESUMEN DE ESTUDIO DE POBLACIÓN Y DEMANDA

6.1. CENSOS HISTÓRICOS

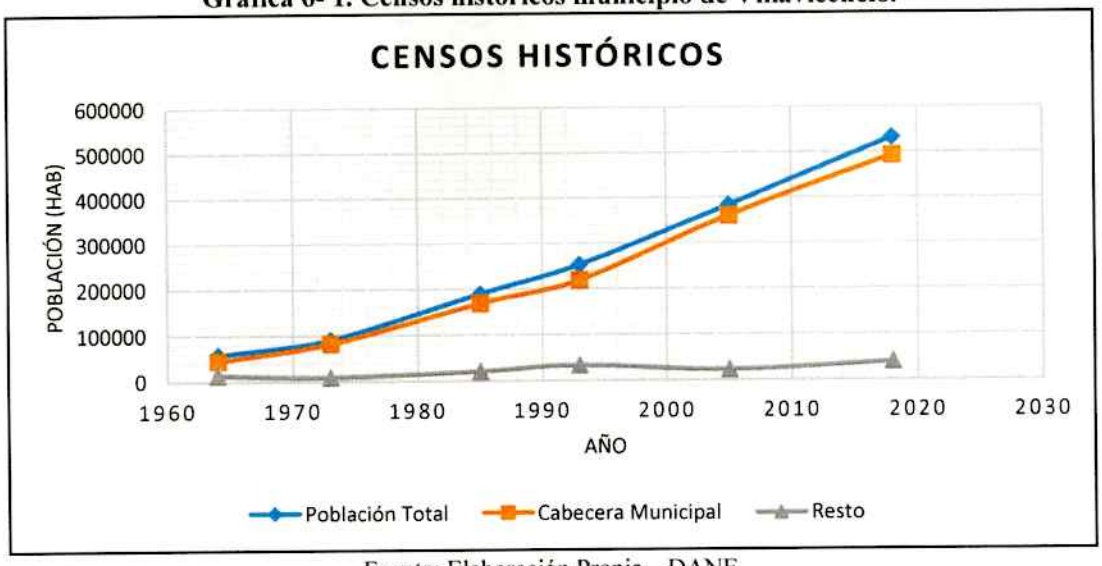
Para identificar la población total, porcentaje de crecimiento anual y cantidad de personas por vivienda del municipio de Villavicencio, se realizó una recopilación de la base de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y se indagó acerca del comportamiento poblacional que ha tenido el municipio de Villavicencio a lo largo de su historia acorde con la información registrada en los censos nacionales de población realizados, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6- 1. Censos históricos municipio de Villavicencio – DANE.

Año	Población Total	Cabecera Municipal	Resto
1964	58430	45277	13153
1973	91559	82553	9006
1985	191001	170176	20825
1993	253780	219976	33804
2005	384131	361058	23073
2018	531275	492052	39223

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Gráfica 6- 1. Censos históricos municipio de Villavicencio.



Fuente: Elaboración Propia – DANE.

→ **Población Total**



De acuerdo con la información recopilada, se observa que la población total del municipio de Villavicencio pasó de **58.430** habitantes en el año **1964** a **531.275** habitantes en **2018**, lo que representa un incremento absoluto de **472.845** habitantes (un crecimiento total del **809%** en **54 años**). El crecimiento medio anual ha sido del orden del **4%**, aunque con variaciones significativas entre períodos censales:

Tabla 6- 2. Crecimiento medio anual población total Villavicencio.

Periodo	N° Años	Población Inicial	Población Final	Tasa Media Anual (%)
1964–1973	9	58430	91559	5.12
1973–1985	12	91559	191001	6.32
1985–1993	8	191001	253780	3.62
1993–2005	12	253780	384131	3.51
2005–2018	13	384131	531275	2.53

Fuente: Elaboración Propia – DANE.

Se observa que las tasas de crecimiento más altas se presentaron entre **1973 y 1985**, periodo de fuerte expansión urbana asociado al auge petrolero y al desarrollo económico regional. A partir de **1990**, el crecimiento se estabiliza en valores medios del **2.5% – 3.5%** anual, reflejando una consolidación urbana más que un crecimiento explosivo.

6.2. PROYECCIONES DANE

Adicional a lo anterior, se recopilaron las proyecciones de población con la actualización post COVID-19 calculadas con base en los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV- 2018 por el DANE para el periodo **2018 – 2042.** Siendo así, se muestran a continuación el resumen de las estadísticas obtenidas para el municipio de Villavicencio específicamente para el casco urbano.

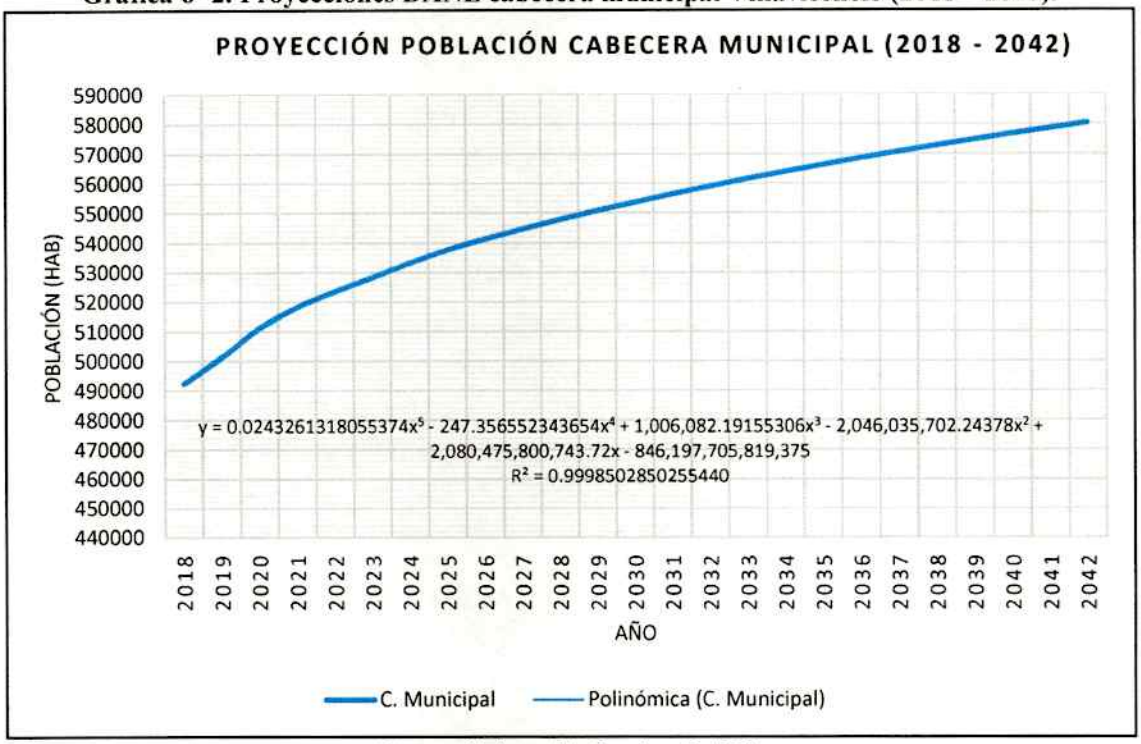
Tabla 6- 3. Proyecciones DANE cabecera municipal Villavicencio (2018 – 2042).

Año	Pob. Cabecera Municipal (Hab)	Año	Pob. Cabecera Municipal (Hab)
2018	492052	**2031**	556453
2019	500950	**2032**	559101
2020	510931	**2033**	561637
2021	518043	**2034**	564065
2022	523322	**2035**	566398
2023	528106	**2036**	568647
2024	533088	**2037**	570797
2025	537605	**2038**	572884
2026	541221	**2039**	574873
2027	544596	**2040**	576808
2028	547780	**2041**	578672
2029	550804	**2042**	580474
2030	553692		

Fuente: Elaboración Propia – DANE.

A partir de las proyecciones del DANE y con el fin de poder extrapolarlas a un horizonte de diseño de 25 años a partir del presente año se obtuvo la ecuación polinómica de la tendencia generada por el DANE la cual se ajustó a una línea de tendencia polinomial de quinto grado para la cual se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.9998.

Gráfica 6- 2. Proyecciones DANE cabecera municipal Villavicencio (2018 – 2042).



Fuente: Elaboración Propia – DANE.

La ecuación obtenida fue la siguiente:

$$Población = 0.0243261318055374x^5 - 247.356552343654x^4 + 1{,}006{,}082.19155306x^3 - 2{,}046{,}035{,}702.24378x^2 + 2{,}080{,}475{,}800{,}743.72x - 846{,}197{,}705{,}819{,}375$$

A partir de la ecuación obtenida, se realizó una extrapolación hacia el horizonte de diseño (25 años) con el fin de obtener la proyección de la población junto con sus variaciones a partir del presente año. De esta manera, fue posible obtener una población de **624060 habitantes** al horizonte de diseño.

Tabla 6- 4. Proyección población con regresión cabecera municipal V/cio (2018 – 2051).

Año	Proyección Población	Tasa Crecimiento (%)	Año	Proyección Población	Tasa Crecimiento (%)
2018	492052	1.81%	2035	566398	0.40%
2019	500950	1.99%	2036	568647	0.38%
2020	510931	1.39%	2037	570797	0.37%
2021	518043	1.02%	2038	572884	0.35%
2022	523322	0.91%	2039	574873	0.34%
2023	528106	0.94%	2040	576808	0.32%
2024	533088	0.85%	2041	578672	0.31%
2025	537605	0.67%	2042	580474	0.37%
2026	541221	0.62%	2043	582643	0.40%
2027	544596	0.58%	2044	584980	0.47%
2028	547780	0.55%	2045	587705	0.56%
2029	550804	0.52%	2046	590986	0.68%
2030	553692	0.50%	2047	595023	0.85%
2031	556453	0.48%	2048	600054	1.05%
2032	559101	0.45%	2049	606350	1.30%
2033	561637	0.43%	2050	614232	1.60%
2034	564065	0.41%	2051	624060	0.72%

Fuente: Elaboración Propia – DANE.

6.3. PROYECCIONES MATEMÁTICAS

El cálculo de la proyección de la población se desarrolló conforme a las metodologías sugeridas por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en la tabla B.2.1. el cual recomienda diferentes métodos para realizar la proyección de población. Los datos usados para realizar las proyecciones fueron los siguientes:

Siendo así, se realizó la proyección de la población por los cuatro métodos definidos previamente, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6- 5. Proyección población cabecera municipal Villavicencio métodos matemáticos.

Año	Aritmético (hab)	Geométrico (hab)	Wappus (hab)	Exponencial (hab)
2019	501669	509290	519496	533318
2020	511287	527157	550681	557778
2021	520904	545678	586725	583359
2022	530522	564877	629322	610114
2023	540139	584780	681203	638095
2024	549756	605415	747142	667360
2025	559374	626808	836462	697967
2026	568991	648988	970595	729978

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Año	Aritmético (hab)	Geométrico (hab)	Wappus (hab)	Exponencial (hab)
2027	578608	671987	1213784	763456
2028	588226	695834	1898151	798471
2029	597843	720562	-20647231	835091
2030	607461	746206	-341887	873390
2031	617078	772800	286655	913446
2032	626695	800380	593489	955340
2033	636313	828985	871936	999154
2034	645930	858653	1264188	1044978
2035	655547	889427	2180967	1092904
2036	665165	921348	14939591	1143027
2037	674782	954460	-1964775	1195450
2038	684400	988810	-600050	1250277
2039	694017	1024445	-152416	1307618
2040	703634	1061415	94188	1367589
2041	713252	1099773	267468	1430310
2042	722869	1139570	409304	1495908
2043	732487	1180865	538735	1564515
2044	742104	1223713	667128	1636268
2045	751721	1268177	803503	1711311
2046	761339	1314319	957382	1789797
2047	770956	1362204	1141532	1871882
2048	780573	1411900	1376564	1957732
2049	790191	1463478	1701607	2047519
2050	799808	1517012	2206219	2141424
2051	809426	1572578	3161864	2239635

Fuente: Elaboración Propia.

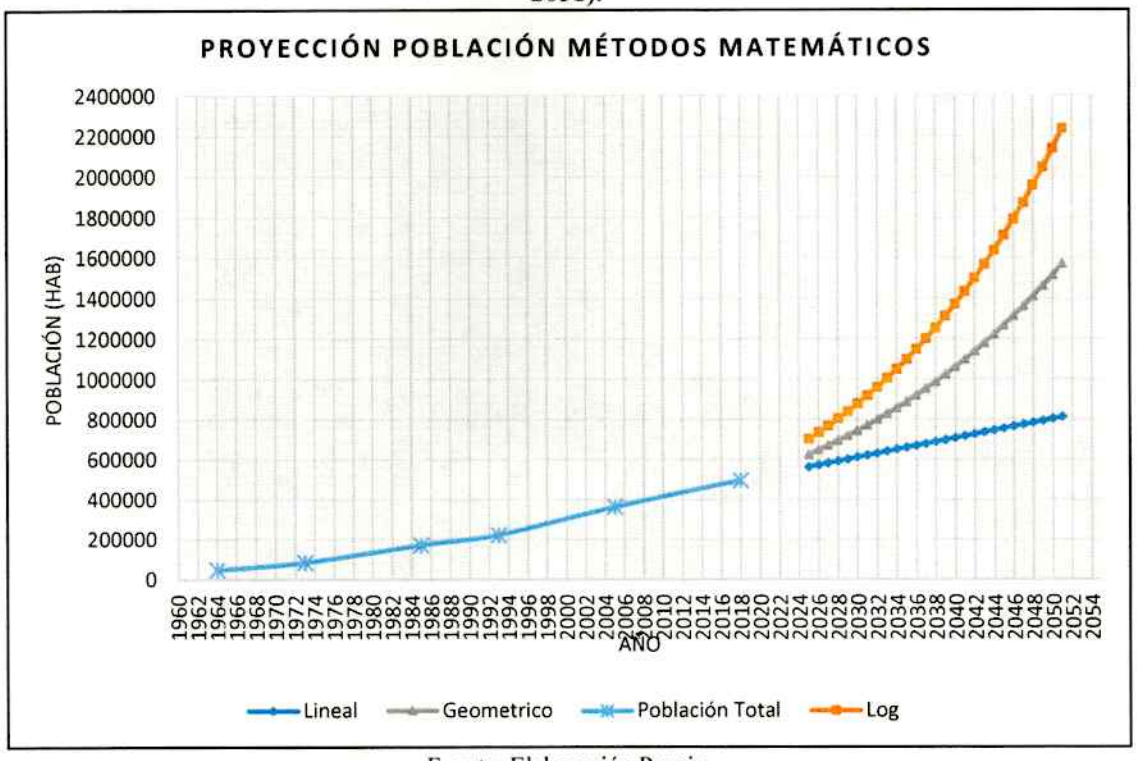
Al analizar las proyecciones obtenidas, se observa que los métodos lineal y geométrico presentan comportamientos consistentes, con un crecimiento progresivo y sostenido a lo largo del período de proyección. El método lineal mantiene un incremento estable de tipo aritmético, lo que implica una tasa constante de crecimiento absoluto; mientras que el geométrico muestra un crecimiento exponencial más acentuado, coherente con una tasa de crecimiento porcentual constante. Teniendo en cuenta que se trata de la capital departamental en continua expansión urbana, receptora de población migrante de municipios vecinos y con una dinámica económica regional en ascenso – ambos métodos podrían considerarse plausibles.

Por otro lado, el método logarítmico produce resultados crecientes, pero con un ritmo de crecimiento que tiende a estabilizarse gradualmente, lo cual puede ser interpretado como una aproximación a un escenario de saturación poblacional o madurez urbana. Este tipo de comportamiento resulta razonable en centros urbanos donde se espera una disminución progresiva en la tasa de crecimiento debido a

limitaciones físicas, económicas o de capacidad de servicios públicos. En el caso de Villavicencio, que, aunque sigue creciendo aún presenta espacio para expansión urbana y consolidación de periferias, este método podría representar un escenario conservador o moderado a mediano y largo plazo.

Finalmente, el método de Wappus arroja resultados inconsistentes, incluyendo valores negativos o no realistas en algunos años intermedios (por ejemplo, proyecciones negativas o fluctuantes en los años 2029 – 2036). Esto se debe a la naturaleza cuadrática de la ecuación que define el método, el cual tiende a comportarse inadecuadamente cuando la tasa de crecimiento utilizada es pequeña, negativa o cuando el periodo de proyección excede los límites razonables para los que fue concebido. En la práctica, el método de Wappus puede generar valores anómalos si el parámetro de crecimiento medio no es ajustado correctamente o si los censos base muestran comportamientos no homogéneos, como ocurre en ciudades con etapas de rápido crecimiento seguidas por estabilización.

Gráfica 6- 3. Proyección población cabecera municipal V/cio métodos matemáticos (2025 – 2051).



Fuente: Elaboración Propia.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el método geométrico supone que la tasa de crecimiento relativa (porcentual) se mantiene constante a lo largo del tiempo. Esto significa que cada año la población crece en una proporción del tamaño

actual, no en una cantidad fija. Entonces, si se toma una tasa basada en décadas de expansión rápida (como las de Villavicencio en la década de los 80s y 90s, cuando hubo fuerte migración por conflicto y auge económico regional), el modelo proyecta un crecimiento exponencial, que no suele sostenerse indefinidamente. Adicionalmente, se puede decir que, en la práctica el casco urbano de Villavicencio muestra signos de maduración demográfica por las siguientes razones:

- → El crecimiento entre 2005 y 2018 (36%) fue menor que entre 1993 y 2005 (64 %).
- → La ciudad está alcanzando límites urbanísticos naturales.
- → La expansión ahora es más densa que extensiva.

Estos factores indican que la tasa de crecimiento tenderá a disminuir, no a mantenerse constante y que el método geométrico genera valores de población significativamente superiores a los obtenidos mediante el método lineal, lo que sugiere una posible sobreestimación de la tendencia real, lo cual se explica por el supuesto de la tasa de crecimiento constante que caracteriza al modelo geométrico, condición que no se ajusta completamente al comportamiento demográfico actual de Villavicencio, donde se evidencia una reducción progresiva en las tasas de crecimiento intercensal. En consecuencia, el método geométrico se conserva únicamente como escenario de crecimiento máximo o de diseño, por lo que el método lineal representa de forma más realista y se acerca más al comportamiento proyectado por el DANE en las proyecciones de crecimiento expuestas previamente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha seleccionado el método aritmético (lineal) para ser promediado con las proyecciones realizadas por el DANE y obtener un valor más acertado para la proyección de la población del casco urbano del municipio de Villavicencio al horizonte de diseño.

De igual manera, vale la pena mencionar que teniendo en cuenta las características las características funcionales de Villavicencio como capital departamental y centro regional de servicios: alta concentración de actividades administrativas, comerciales y de salud; presencia de mercados mayoristas y unidades educativas con afluencias diarias; tránsito significativo de trabajadores y usuarios provenientes de diferentes municipios del Meta y de zonas rurales circundantes; y un dinamismo estacional asociado a eventos religiosos, ferias y al turismo de naturaleza en el piedemonte llanero, se ha seleccionado un valor del **10%** para la estimación de la población flotante del municipio.

Tabla 6- 6. Proyección de población cabecera municipal Villavicencio.

Año	Proyección			Proyección DANE			Pob. Diseño	Tasa Crecimiento
	Lineal	Pob.	Pob.	DANE	Pob.	Pob.		

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11



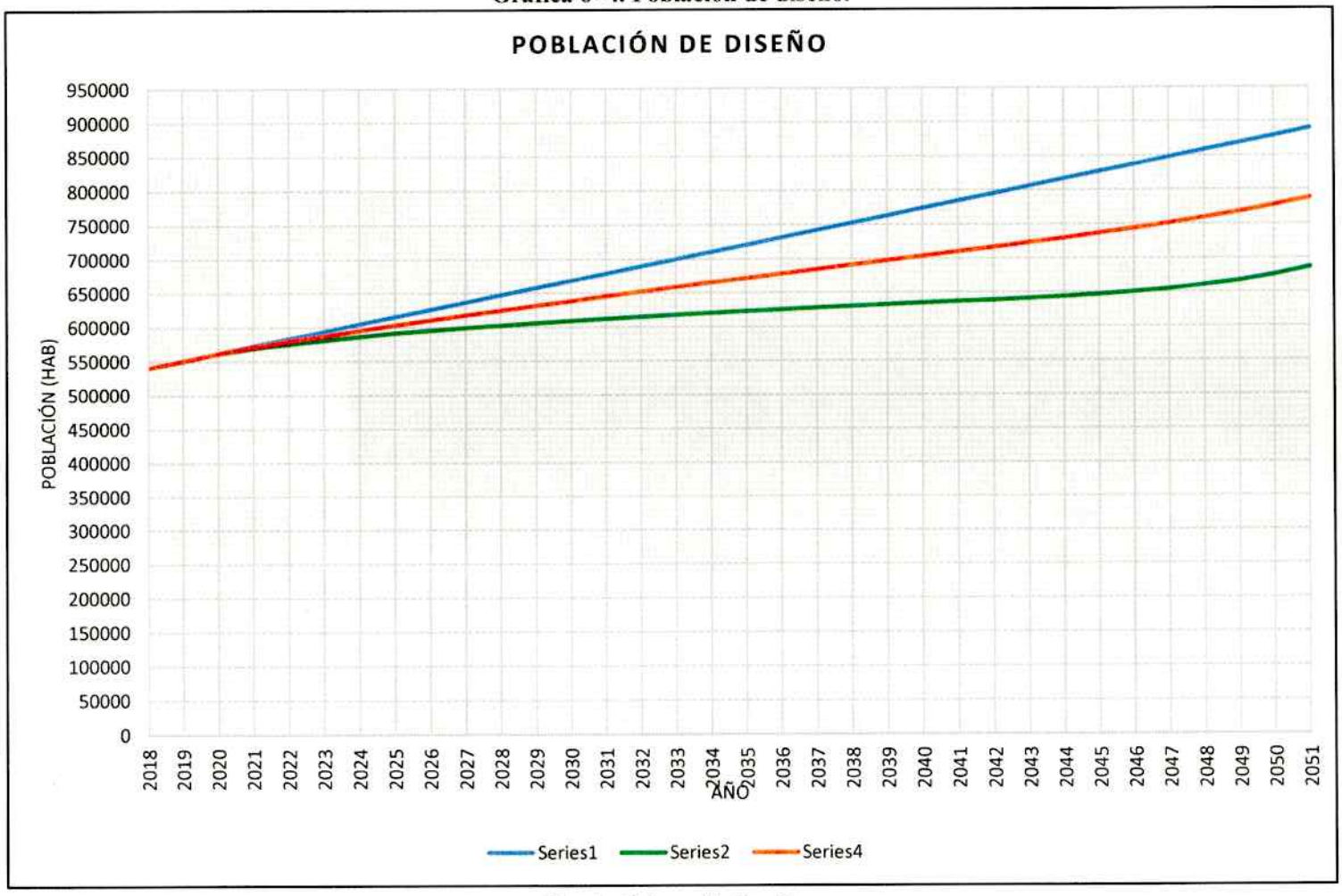
	(hab)	Flotante (hab)	Total (hab)	Regresión (hab)	Flotante (hab)	Total (hab)	(hab)	(%)
2019	501669	50167	551836	500950	50095	551045	551441	1.95%
2020	511287	51129	562415	510931	51093	562024	562220	1.64%
2021	520904	52090	572995	518043	51804	569847	571421	1.43%
2022	530522	53052	583574	523322	52332	575654	579614	1.37%
2023	540139	54014	594153	528106	52811	580917	587535	1.37%
2024	549756	54976	604732	533088	53309	586397	595564	1.31%
2025	559374	55937	615311	537605	53761	591366	603338	1.21%
2026	568991	56899	625890	541221	54122	595343	610617	1.17%
2027	578608	57861	636469	544596	54460	599056	617762	1.14%
2028	588226	58823	647048	547780	54778	602558	624803	1.11%
2029	597843	59784	657628	550804	55080	605884	631756	1.09%
2030	607461	60746	668207	553692	55369	609061	638634	1.07%
2031	617078	61708	678786	556453	55645	612098	645442	1.05%
2032	626695	62670	689365	559101	55910	615011	652188	1.02%
2033	636313	63631	699944	561637	56164	617801	658872	1.01%
2034	645930	64593	710523	564065	56407	620472	665497	0.99%
2035	655547	65555	721102	566398	56640	623038	672070	0.97%
2036	665165	66516	731681	568647	56865	625512	678597	0.95%
2037	674782	67478	742260	570797	57080	627877	685069	0.94%
2038	684400	68440	752840	572884	57288	630172	691506	0.92%
2039	694017	69402	763419	574873	57487	632360	697890	0.91%
2040	703634	70363	773998	576808	57681	634489	704243	0.90%
2041	713252	71325	784577	578672	57867	636539	710558	0.88%
2042	722869	72287	795156	580474	58047	638521	716839	0.90%
2043	732487	73249	805735	582643	58264	640907	723321	0.91%
2044	742104	74210	816314	584980	58498	643477	729896	0.93%
2045	751721	75172	826893	587705	58770	646475	736684	0.96%
2046	761339	76134	837473	590986	59099	650085	743779	1.01%
2047	770956	77096	848052	595023	59502	654525	751288	1.07%
2048	780573	78057	858631	600054	60005	660059	759345	1.15%
2049	790191	79019	869210	606350	60635	666985	768097	1.25%
2050	799808	79981	879789	614232	61423	675655	777722	1.38%
2051	809426	80943	890368	624060	62406	686465	788417	1.15%

Fuente: Elaboración Propia.

Con base en la tabla anterior se puede estimar una población actual de **603338 habitantes** para el casco urbano del municipio de Villavicencio y una población de **788417 habitantes** hacia el horizonte de diseño para el casco urbano del municipio de Villavicencio. Así mismo, teniendo en cuenta el crecimiento medio anual obtenido, se define una tasa de crecimiento promedio de **1.15%** para ser aplicada en la población especifica del proyecto a desarrollar en la zona de estudio.

CONSULTORIASOCOA2025@GMAIL.COM 3102754092 CALLE41B No. 30-11

Gráfica 6- 4. Población de diseño.



Fuente: Elaboración Propia.

6.4. DEFINICIÓN POBLACIÓN PROYECTO

Para realizar la definición de la población objetivo del presente proyecto se solicitó y recopiló la información necesaria y disponible de los entes públicos como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio – EAAV, la Alcaldía Municipal de Villavicencio y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La información recopilada y procesada se centró en las siguientes características:

- → Clasificación del suelo.
- → Usos del suelo.
- → Área de servicio.
- → Suscriptores acueducto y alcantarillado.

6.4.1. Estimación Población Actual

La estimación de la población actual asociada al área de estudio fue realizada a partir de una relación definida entre los consumos y dotaciones requeridos para la población actual de la cabecera municipal de Villavicencio y la población actual del área de interés de la siguiente manera:

- → Inicialmente se seleccionaron únicamente los registros asociados a los suscriptores con uso residencial (**128337**) expuestos previamente y se promediaron los consumos anuales de cada suscriptor.

- → A partir de la teoría del método estadístico del diagrama de cajas, se calculó el Q3 (valor representativo del **75%** de la muestra) de los promedios de consumo de los suscriptores obteniendo un valor de **11.42 m^3/suscriptor*mes – 380.56 L/suscriptor*día.**

- → Con base en el número de habitantes/hogar evidenciado en el último censo realizado por el DANE (2018), se tienen los siguientes resultados:

Tabla 6- 7. Número de habitantes por vivienda cabecera municipal Villavicencio.

N/hab.hogar	%	Ponderado
1	22.1	0.221
2	20.4	0.408
3	22.6	0.678
4	19.6	0.784
5	9.3	0.465
6	6.1	0.366

N°Habitantes/Hogar	2.92

Fuente: Elaboración Propia – DANE.

→ Tomando el valor de 2.92 y aproximándolo a **3 habitantes/hogar** para la cabecera municipal de Villavicencio, se tiene una dotación neta de **127 L/hab.día.**

→ Para la estimación de la población actual en la zona de interés fue fundamental contar con los resultados del informe de gestión del tercer trimestre de la EEAV E.S.P. para el año 2024. De allí se derivan dos factores importantes a la hora de evaluar el consumo y la dotación para la cabecera urbana del municipio de Villavicencio:

- La cabecera urbana del municipio de Villavicencio cuenta con una cobertura del sistema de acueducto y alcantarillado del **79.66%**.
- El Índice de Agua No Contabilizada (IANC) se midió en un **59.69%.** Dicho índice hace referencia a las pérdidas técnicas existentes en el sistema de acueducto.

→ A partir del IANC definido en los informes de gestión de la EAAV y de la ecuación que define la dotación bruta, se obtuvo una dotación bruta de **315.06 L/hab.dia.**

→ Considerando la población estimada actualmente para la cabecera municipal de Villavicencio **(603338 habitantes)** y la dotación bruta calculada, se calculó un caudal medio diario de **2200 L/s** para la zona urbana del municipio de Villavicencio, el cual afectado por la cobertura registrada por la EAAV se estima en **1752.6 L/s.**

→ Finalmente, como se mencionó inicialmente se generó una relación entre el caudal medio diario estimado para la población del casco urbano del municipio de Villavicencio y el caudal medio total registrado en los consumos recopilados para los **128337** suscriptores. A partir de dicha relación y aplicándola únicamente a los **8176** suscriptores asociados al uso residencial en el área de interés, fue posible estimar la población actual en una magnitud de **40139 habitantes**.

$$Población\ actual\ proyecto = 40139\ habitantes$$

6.4.2. Estimación Población Futura

La estimación de la población futura se realizó a partir de la población actual obtenida para el área de interés, afectada por la tasa de crecimiento promedio definida previamente en el cálculo de la proyección de la población municipal para la cabecera urbana del municipio de Villavicencio, la cual se estimó en **1.15% anual**. De esta manera, se presenta a continuación la población beneficiaria del proyecto en cuestión año tras año hasta llegar al horizonte de diseño:

Tabla 6- 8. Proyección de población zona de interés proyecto.

Año	Pob. Diseño (hab)
2025	40139
2026	40599
2027	41065
2028	41536
2029	42012
2030	42494
2031	42981
2032	43474
2033	43972
2034	44477
2035	44987
2036	45502
2037	46024
2038	46552
2039	47086
2040	47626
2041	48172
2042	48724
2043	49283
2044	49848
2045	50419
2046	50998
2047	51582
2048	52174
2049	52772
2050	53377
2051	53989

Fuente: Elaboración Propia.

Con base en la tabla anterior se puede estimar una población actual de **40139 habitantes** para el casco urbano del municipio de Villavicencio y una población de **53989 habitantes** hacia el horizonte de diseño para el casco urbano del municipio de Villavicencio

7.CAUDALES DE DISEÑO

7.1. PERIODO DE DISEÑO

La Resolución 0330 de 2017 estable en el Artículo 40: "*Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño* ***25 años***".

7.2. DOTACIÓN NETA

La Resolución 0330 de 2017 establece en el Artículo 43 "*La dotación neta debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto… En todo caso, se deberá utilizar un valor que no supere los máximos establecidos en la Tabla 1*".

Tabla 7- 1. Dotación neta máxima.

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Resolución Número 0330 del 08 de junio de 2017 Tabla 1.

Para el desarrollo de la presente consultoría, teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar de la cabecera municipal de Condoto y contemplando condiciones de gasto excesivas, se ha definido una dotación neta de **140 L/hab.día**.

7.3. CÁLCULO DE CAUDALES

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 134 – Caudal de Aguas Residuales: "*Los aportes de aguas residuales deben determinarse con base en información de consumos y/o mediciones recientes registrados en la localidad, y considerando las densidades previstas para el periodo de diseño con base en el Plan de Ordenamiento Territorial o Plan Básico de Ordenamiento Territorial o Esquema de Ordenamiento Territorial y Plan de Desarrollo del municipio a través de zonificación del uso de la tierras*

- ✓ Caudal de aguas residuales domésticas.
- ✓ Caudal de aguas residuales no domésticas.
- ✓ Caudal medio diario.
- ✓ Caudal máximo horario.
- ✓ Caudal de conexiones erradas.



- ✓ Caudal de infiltración.

7.3.1. Caudal de Aguas Residuales Domesticas

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 134.1 – Caudal de Aguas Residuales Domesticas: *"Cuando se utilice proyección de población, se debe calcular con la siguiente ecuación"*:

$$QD = \frac{CR * P * Dneta}{86400}$$

Donde

- ✓ **QD** = Caudal de aguas residuales domésticas.
- ✓ **CR** = Coeficiente de retorno (0.85).
- ✓ **P** = Número de habitantes proyectado.
- ✓ **Dneta** = Dotación neta de agua potable proyectada por habitante.

7.3.2. Caudal de Aguas Residuales No Domesticas

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 134.2 – Caudal de Aguas Residuales no Domesticas: "*Para zonas netamente industriales, comerciales e institucionales…*". Por lo anterior, para el presente caso no aplica.

7.3.3. Caudal Medio Diario

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 134.3 – Caudal Medio Diario: "*Se debe calcular el caudal medio diario de aguas residuales como la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales*". Para el presente diseño, donde en el área de estudio no existe industria considerable, ni grandes locales comerciales, se asume el 10% sobre el consumo residencial como la demanda media de otros usos; Por lo tanto, el caudal medio diario de aguas residuales (Qmd) fue calculado de la siguiente manera:

$$Qmd = 1.1 * QD$$

7.3.4. Caudal Máximo Horario

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 134.4 – Caudal máximo horario: "*El factor de mayoración*



utilizado en la estimación del caudal máximo horario debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo, en las cuales se tengan en cuenta los patrones de consumo de población. En ausencia de datos de campo, se debe estimar con las ecuaciones aproximadas, teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en su aplicabilidad. Este valor deberá estar entre 1.4 y 3.8". Por lo tanto, para el presente caso, dada la ausencia de dicha información se hizo uso de la Ecuación de Flores, la cual es comúnmente usada en estos casos.

$$QMH_{COLECTOR} = Qmd * F = Qmd * \left(\frac{3.5}{P^{0.1}}\right)$$

- ✓ **QMH =** Caudal máximo horario.
- ✓ **Qmd =** Caudal medio diario.
- ✓ **F =** Factor de mayoración.
- ✓ **P =** Población servida (en miles de habitantes).

7.3.5. Caudal Infiltración

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 134.6 – Caudal de Infiltración "*El caudal de infiltración debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las tuberías, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su calidad constructiva. Ante la ausencia de información, se debe utilizar un factor entre 0.1 y 0.3 L/s*ha*". Se adopta un valor de 0.3 L/s.ha para el caudal de infiltración.

$$Qinf = 0.3 * A$$

7.3.6. Caudal Conexiones Erradas

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 134.5 – Caudal de Conexiones Erradas: "*Los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0.2 L/s.ha*". Se adopta un valor de 0.2 L/s.ha para el caudal de infiltración.

$$Qcerr = 0.2 * A$$

Finalmente, el caudal de diseño de cada tramo, ha sido obtenido con la suma de todos los aportes mencionados previamente.

7.4. AREAS AFERENTES

Teniendo en cuenta la planimetría y la distribución de las viviendas hoy día de la cabecera municipal de Condoto y considerando las zonas que no cuentan actualmente con servicio de alcantarillado se proyectan las siguientes áreas aferentes.

8. RESUMEN EJECUTIVO DE DIAGNOSTICO

8.1 UBICACIÓN DE TRAMO EN ESTUDIO.

De acuerdo con los estudios previos referentes del contrato en desarrollo, la ubicación del tramo de evaluación se localiza entre los siguientes puntos:

→ 73°39'30.11" O – 4°5'37.20" N.
→ 73°39'26.81" O – 4°5'41.48" N.

Figura 8- 1. Localizaciones coordenadas de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta las coordenadas de localización de los puntos "Inicio" y "Final" expuestos en los estudios previos, se desarrolló el levantamiento topográfico en la zona de estudio y se realizó una implantación entre las coordenadas teóricas y las obtenidas en campo. Vale la pena mencionar, que se tomaron puntos adicionales aguas arriba y aguas debajo de los puntos de inicio y final para poder realizar un análisis más preciso y eficiente del comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado sanitario en la zona de interés.

Figura 8- 2. Topología según levantamiento topográfico.

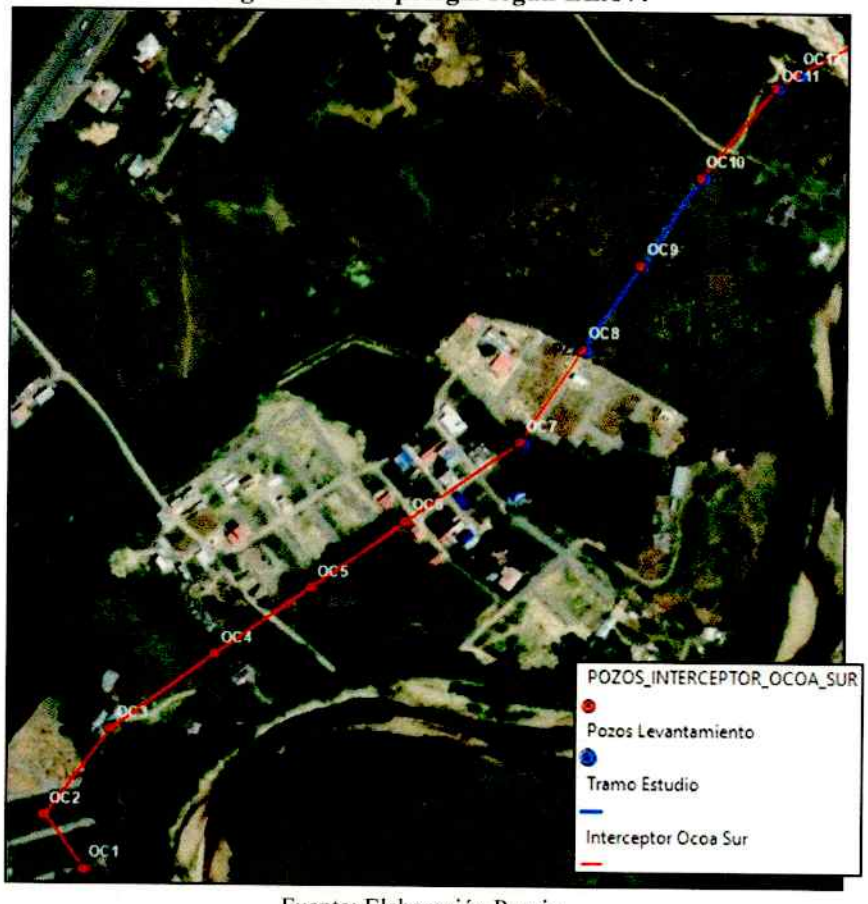


Fuente: Elaboración Propia.

En la figura previa se presenta la localización de los pozos de inspección y la red de alcantarillado evidenciada en el levantamiento topográfico. Allí se observó, que en efecto el tramo de interés se encuentra delimitado por los pozos **PZ2** a **PZ4,** y por los tramos de tubería o colectores **PZ2 – PZ3** y **PZ3 – PZ4, denominados** de esta manera para efectos del levantamiento topográfico. Sin embargo, como se mencionó previamente, con el fin de obtener una modelación más precisa del comportamiento hidráulico en la zona de estudio, se ha extendido el análisis un pozo aguas arriba (**PZ1**) del inicio del tramo de evaluación y dos pozos aguas abajo (**PZ5, PZ6**) del final del tramo de evaluación.

Adicionalmente, para contrastar la información levantada en campo se plasmó la información proporcionada por la EAAV, en la cual se consignan los pozos de inspección y los colectores de alcantarillado pertenecientes al Interceptor Ocoa Sur. Allí se pudo observar que el tramo de interés se encuentra localizado entre los pozos denominados **OC8** a **OC10** y por los tramos **OC8 – OC9** y **OC9 – OC10.**

Figura 8- 3. Topología según EEAV.



Fuente: Elaboración Propia.

8.2 ESTADO DE POZOS DE INSPECCIÓN

Se realizó un levantamiento topográfico de manera detallada en donde se pudo establecer la existencia de **seis (6)** pozos de inspección en la zona de interés, los cuales se encuentran denominados en función del levantamiento desarrollado por la presente consultoría y en función de la información proporcionada por la EAAV y su informe administrativo.

Tabla 8- 1. Localización pozos de inspección – Levantamiento topográfico.

Id Pozos Levantamiento	Id Pozos EAAV	X	Y	Z
PZ1	OC7	1046485.99430	944354.57530	422.36
PZ2	OC8	1046538.98930	944434.73530	422.04
PZ3	OC9	1046588.02396	944506.17330	421.82
PZ4	OC10	1046639.18730	944581.68930	423.95
PZ5	OC11	1046702.00430	944658.73030	422.92
PZ6	OC12	1046719.90656	944670.54918	423.2

Fuente: Elaboración Propia.

8.2.1 Estado Actual

A partir de la información proporcionada por el informe administrativo realizado por la EAAV en la que se realizó la inspección de redes y estructuras de conexión, fue posible evidenciar diferentes características de los pozos asociados a la zona de estudio. De esta manera se presenta a continuación una tabla resumen en donde se exponen los siguientes parámetros para los pozos **OC7, OC8, OC9, OC10, OC11 y OC12.**

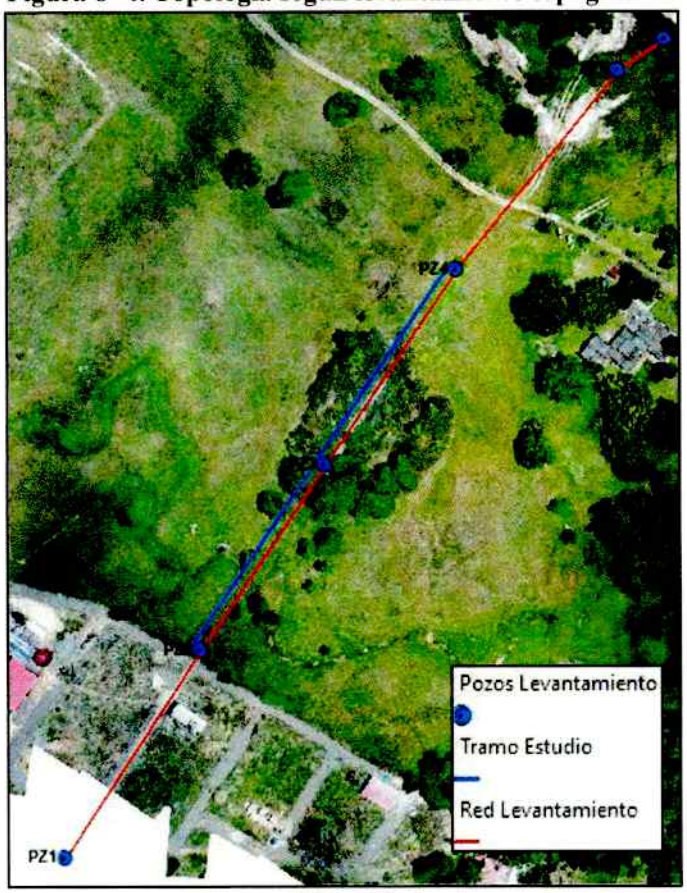
Tabla 8- 2. Características pozos de inspección área de interés.

Id Pozo	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6
	OC7	OC8	OC9	OC10	OC11	OC12
Cota Superficie (msnm)	423.847	423.519	423.577	425.436	424.404	424.724
Diámetro Pozo (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Altura Pozo (m)	5.4	5.32	5.695	7.58	6.98	7.24
Oculto por	N/A	N/A	Césped	N/A	N/A	N/A
Tipo de Tapa	Sin Tapa	Ferrocemento	Ferrocemento	Ferrocemento	Ferrocemento	Ferrocemento
Estado Tapa	Cambiar Tapa	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Cargue	Bueno	Bueno	Bueno	Grietas	Bueno	Bueno
Cono	Sin Cono	Sin Cono	Sin Cono	Sin Cono	Sin Cono	Sin Cono
Cañuela	No se aprecia	No se aprecia	Buena - Sedimentada	No se aprecia - Sedimentada	No se aprecia	No se aprecia
Escalones	Hierro	Hierro - Buenos	Hierro - Buenos	Hierro - Buenos	Hierro - Buenos	Hierro - Buenos
Tipo de Estructura	Cámara de Inspección	Cámara de Inspección	Cámara de Inspección	Cámara de Inspección	Cámara de Inspección	Cámara de Inspección
Material Estructura	Concreto - Prefabricado	Concreto - Prefabricado	Concreto - Prefabricado	Concreto - Prefabricado	Concreto - Prefabricado	Concreto - Prefabricado
Estado Estructura	Grietas	Buena	Grietas - Huecos	Grietas	Grietas	Grietas
Caudal	Abundante	Abundante	Abundante	Abundante	Abundante	Abundante
Sentido Flujo	Se Aprecia bien	Se Aprecia bien	Se Aprecia bien	Se Aprecia bien	Se Aprecia bien	Se Aprecia bien
Sedimentos	Menos de 1/2 Tubo	Menos de 1/2 Tubo	Menos de 1/2 Tubo	Menos de 1/2 Tubo	Menos de 1/2 Tubo	Menos de 1/2 Tubo
Colmatado	No	No	No	No	No	No
Inundado	No	No	No	No	No	No
Observaciones	Bastante sedimentado con	Bastante sedimentos	Filtraciones en el	Pozo con sedimento al	Taponamiento debido a la	Sedimentos en el fondo del pozo

	piedras y escombro		cilindro del cono	fondo de casi 50 cm	disminución del caudal	

Fuente: Elaboración EAAV

Figura 8- 4. Topología según levantamiento topográfico.



Fuente Elaboración propia

El sistema de redes de alcantarillado de la zona de estudio se encuentra conformado por tuberías de Rib loc de diámetro 52" (acorde a información proporcionada por la EAAV). Con base en el levantamiento topográfico realizado se pudo evidenciar la existencia de 5 tramos de tubería reales, con diferentes características.

Tabla 8- 3. Identificación tramos.

Pozo Inicial	Pozo Final	L (m)	Red
PZ1	PZ2	94.805	Sanitario
PZ2	PZ3	85.358	
PZ3	PZ4	89.927	
PZ4	PZ5	98.115	
PZ5	PZ6	20.162	



		388.367	

Fuente: Elaboración Propia.

Como se pudo observar, en la zona de estudio existen aproximadamente **389 m** de tubería de los cuales **175 m** (Tramo **PZ2 – PZ4**) corresponden al tramo de evaluación y de estudio específico del presente proyecto.

Como conclusión general, se puede mencionar que el tramo evaluado y sus estructuras complementarias evidencia que el sistema posee un desempeño hidráulico mayoritariamente adecuado frente a los lineamientos exigidos por la Resolución 330 de 2017, destacándose el cumplimiento de los criterios asociados al diámetro mínimo, velocidades máximas, capacidad hidráulica y profundidad de instalación en la totalidad de los tramos evaluados. Estos resultados indican que el conducto principal conserva su funcionalidad para el transporte de los caudales actuales y que las condiciones geométricas y de pendiente continúan ofreciendo un comportamiento hidráulico estable. No obstante, se identificaron aspectos críticos que requieren intervención prioritaria, especialmente relacionados con la infraestructura de inspección. El 100% de los pozos existentes presenta incumplimiento en el diámetro interno mínimo establecido para redes de gran tamaño (D=1300 mm), lo que limita la accesibilidad, dificulta las maniobras de mantenimiento y representa un riesgo operativo. Adicionalmente, se detectó un tramo que no cumple con el esfuerzo cortante mínimo requerido, lo cual podría favorecer procesos de sedimentación y pérdida de capacidad útil en condiciones de caudal bajo.

Es fundamental recordar que el origen del proyecto, así como la necesidad de desarrollar y ejecutar la presente consultoría, se debe al colapso estructural de uno de los colectores que conforman el interceptor, específicamente en el tramo OC9 – OC10. Este colapso generó el desprendimiento del colector respecto a su cámara de entrega, provocando que el sistema opere actualmente por rebose y que los caudales se canalicen de forma no controlada.

Este hallazgo convierte el tramo afectado en un componente crítico que requiere su reemplazo estructural inmediato, independientemente del grado de cumplimiento normativo que presente el resto de la red. En este contexto, a continuación, se expone la metodología empleada para el desarrollo de la formulación análisis y selección de alternativas para el tramo afectado.

9. FORMULACIÓN, ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1.

En el presente capítulo se realizará formulación, análisis, comparación y selección de alternativas para solucionar la problemática presentada en el interceptor Ocoa Sur tramo 1; todas las alternativas son técnicamente viables desde el punto de vista técnico y económico, sin embargo, existirán algunas que exigirán mucho más que otras desde el punto de vista operacional.

A continuación, se formulan y analizan las alternativas viables para el interceptor Ocoa Sur tramo 1; teniendo en cuenta lo descrito en el artículo 13 de la resolución 0330 de 2017 el cual dice. "*Formulación y análisis de alternativas de proyectos. Se deberán formular las alternativas de proyectos, que permitan dar solución a los problemas, objetivos y metas identificados en el artículo anterior, desde el punto de vista técnico, a nivel de predimensionamiento. El análisis debe tener en cuenta la gestión de riesgos y la gestión ambiental, revisar los aspectos financieros, económicos y sociales que permitan determinar la viabilidad del respectivo proyecto. Como resultado se obtendrá como mínimo el documento de prediseño acompañado de los planos y memorias respectivas de los proyectos de infraestructura*". Además de lo plasmado en el artículo 5 de la resolución 0799 de 2021 la cual dice … "La comparación de alternativas deberá considerar los aspectos económicos, técnicos, sociales, ambientales, financieros, de riesgo y permisos. La selección de alternativas deberá estar soportada como mínimo en los siguientes criterios:

- → Criterios de sostenibilidad económica
- → Criterios de sostenibilidad técnica
- → Criterios de sostenibilidad ambiental
- → Criterios de gestión de riesgos
- → Criterios de sostenibilidad social

Respecto a la metodología de selección de la alternativa más favorable; el artículo 5 de la resolución 0799 de 2021 exige que el planificador o diseñador *seleccione la mejor alternativa con base en criterios de sostenibilidad, a partir de la evaluación de los aspectos económicos, técnicos, ambientales y sociales; para lo cual deberá emplear metodologías que impliquen la mínima subjetividad de valoración y el menor costo de inversión, operación y mantenimiento, en donde la definición de variables y los valores de ponderación en la selección de la alternativa más favorable deberá evaluarse mediante el empleo de matrices de selección multicriterio*." Así las cosas, a continuación, establecemos la metodología de matrices de selección Multi- criterio.

La metodología desarrollada por el consultor para el desarrollo de este producto y en atención a los requerimientos de los términos de condiciones es la siguiente:

- → Formulación de las alternativas del proyecto que permitan dar solución de acuerdo con los resultados del informe de diagnóstico hidráulico y sus complementos que concluye en identificar las necesidades o problemas de o los componentes objeto del alcance según proyecto en estudio.
- → Comparación de las alternativas, considerando criterios de sostenibilidad económica, técnica, ambiental, social y de gestión de riesgo.
- → Selección de la alternativa solución. Proceso que lo acompañará la supervisión delegada por la corporación ambiental.

9.1 FORMULACIÓN DEL ALCANCE DE LAS ALTERNATIVAS

La formulación de alternativas para el proyecto "Renovación del interceptor Ocoa Sur – Tramo 1" se fundamenta en la necesidad de restablecer la continuidad hidráulica y funcional del sistema de alcantarillado sanitario del sector sur de la ciudad, el cual actualmente se encuentra afectado por la pérdida del tramo en el sector 1

La afectación se originó por procesos de pérdida de cimentación asociados a deflexiones excesivas en la tubería, superiores a los límites admisibles de diseño. Dichas deflexiones generaron exfiltraciones e infiltraciones hacia el subsuelo, ocasionando la pérdida progresiva del soporte lateral y del atraque estructural, lo que conllevó a la desestabilización de la cimentación. Como consecuencia, se presentó la ruptura y colapso total de la estructura existente, generando descargas directas de aguas residuales sobre terrenos aledaños potreros y ocasionando impactos ambientales y sanitarios negativos en el entorno inmediato.

En consecuencia, se requiere evaluar y seleccionar una alternativa técnica viable que permita:

- → Restituir la continuidad del sistema interceptor.
- → Minimizar los impactos ambientales y riesgos de falla estructural.
- → Garantizar la sostenibilidad y operación adecuada del sistema en el largo plazo.

9.1.1 Definición del alcance de las alternativas

El alcance de las alternativas considera las acciones necesarias para la rehabilitación del tramo 1 afectado del interceptor Ocoa Sur, mediante métodos técnico-constructivos que aseguren la estabilidad, durabilidad y funcionalidad hidráulica.

Tabla 9- 1. Aplicabilidad del proyecto

Problemas o necesidades generales	Aplicabilidad en el proyecto
Carencia de servicios de agua potable o manejo de residuos sólidos	No

Prestación insuficiente del servicio objeto del sistema (cobertura, continuidad, calidad)	X
Deficiencia en la prestación del servicio por malas condiciones de infraestructura existente	X
Problemas de salud pública por fallas del sistema de saneamiento	X
Deterioro del medio ambiente y recursos hídricos por vertimientos inadecuados	X
Riesgos que comprometen la prestación del servicio	X
Carencia o necesidad de control de drenajes o inundaciones	No

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

9.1.2 Objetivos de las alternativas

Las alternativas propuestas buscan dar cumplimiento a los objetivos específicos del proyecto de saneamiento básico, en correspondencia con las metas del Plan Maestro de Alcantarillado y las políticas sectoriales de prestación eficiente del servicio. En la siguiente tabla se relaciona la aplicabilidad de los objetivos frente al proyecto:

Tabla 9- 2. Objetivos de la intervención del tramo

Objetivos de la intervención	Aplicabilidad en el proyecto
Mejorar la salud pública y el medio ambiente	X
Mejorar la continuidad y condiciones técnicas del servicio	X
Incrementar la cobertura del servicio de alcantarillado	X
Rehabilitar o reponer infraestructura existente	X
Mitigar riesgos relacionados con la prestación del servicio	X
Otros objetivos (agua potable, residuos sólidos, drenajes, etc.)	No aplica

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

9.2 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS

El análisis de alternativas para el Sistema Interceptor Ocoa Sur – Tramo 1 se fundamenta en criterios técnicos, ambientales y socioeconómicos, considerando la ubicación del proyecto y las condiciones particulares del área de influencia. Dicho análisis se desarrolla de manera interdisciplinaria, con la participación de las especialidades hidráulica, estructural, geotécnica y ambiental, las cuales permiten plantear soluciones integrales orientadas a resolver las problemáticas identificadas y cumplir los objetivos establecidos en el numeral anterior.

Desde el punto de vista técnico, el estudio se apoya en el predimensionamiento de los componentes del sistema, los análisis hidrológicos y geomorfológicos, así como en la definición de los trazados de las tuberías, considerando las condiciones geológicas y geotécnicas presentes en el área de intervención.

No obstante, en el presente capítulo se expone un análisis preliminar de las posibles alternativas de solución, enfocado en los componentes técnico–económicos, financieros, ambientales y sociales del sistema, con el propósito de sustentar la

formulación y evaluación comparativa de las opciones propuestas, que permitan definir la alternativa más viable desde el punto de vista integral.

Este análisis se desarrolla en concordancia con los lineamientos técnicos establecidos en la Resolución 0330 de 2017 y la Resolución 0799 de diciembre de 2021, normas que definen los criterios mínimos para el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario.

De esta manera, el presente capítulo tiene como objetivo proporcionar a la entidad contratante las herramientas técnicas y económicas necesarias para seleccionar la alternativa más viable para la construcción del Sistema Interceptor Ocoa Sur Tramo 1, bajo un enfoque integral que garantice la sostenibilidad, eficiencia y funcionalidad del proyecto.

A continuación, se presenta el desarrollo de las alternativas consideradas para el sistema, formuladas en atención a las observaciones y recomendaciones derivadas del diagnóstico hidráulico y geotécnico, así como a los cálculos de demanda del sistema. En concordancia con los objetivos y el alcance planteado, se definen dos alternativas principales para la renovación del Tramo 1 del Interceptor Ocoa Sur, comprendido entre los pozos de inspección específicamente en el tramo OC9 – OC10

9.2.1 Formulación de alternativas por material

Utilizando como base la Resolución 0799 de 2021 se evalúan distintos materiales de tubería de alcantarillado para su aplicación en el diseño y de acuerdo con el planeamiento dado del sistema sanitario según alternativas por método técnico-constructivo.

De acuerdo con la disponibilidad comercial de diversos materiales para el sistema de alcantarillado, se lleva a cabo la evaluación de estas alternativas, el cual se establece que las opciones más apropiadas para la red de alcantarillado en diseño son el PVC, Concreto o Polietileno, conforme a la disposición técnica del proyecto y condiciones propias del terreno.

A fin de verificar los aspectos técnicos y constructivos en la instalación de tuberías de alcantarillado, se tendrán en cuenta los manuales técnicos correspondientes a los distintos materiales según los proveedores, de esta forma se podrán seguir las recomendaciones y especificaciones técnicas del material que se utilizará para la ejecución final del desarrollo de cada alternativa.

Si adoptamos la clasificación de tuberías de acuerdo con la norma NS-035 de la EAAB, se tienen tres tipos de tubería:

→ Tubería Flexible, es un conducto cuyos cambios por efecto de cargas externas puede hacer variar sus dimensiones vertical y horizontalmente en



más de 3.0% sin causar al material grietas o roturas. Hacen parte en esta categoría las tuberías fabricadas en PVC, acero, GRP y HDPE.

→ Tuberías semirrígidas, al igual que las flexibles las cargas externas pueden hacer variar sus dimensiones vertical y horizontal hasta un 3% si causar grietas o roturas. Hacen parte de esta categoría las tuberías fabricadas en HD, CCP y WCP.

→ Tubos rígidos, son conductos cuyos cambios por efecto de cargas externas en cualquier sección transversal no puede generar variaciones en sus dimensiones vertical y horizontales mayores de 0.1% sin causar grietas o roturas. Hacen parte de esta categoría las tuberías fabricadas en concreto y gres.

En particular se evaluarán dos tipos de tubería para el proyecto en referencia, las cuales corresponden a tubería flexible de PVC, tubería rígida en concreto reforzado.

9.2.2 Alternativa 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible + Obras de cimentación y atraque de tubería.

Esta alternativa contempla la renovación del tramo OC9 – OC10 mediante la instalación de nueva tubería en PVC sanitario, complementada con obras de cimentación y estabilización para garantizar la durabilidad estructural del sistema.

Las principales actividades incluyen:

→ Excavación mecánica controlada mediante table estacados
→ Mejoramiento del suelo mediante cambio de material granular y colocación de nuevo material.
→ Cimentación para tubería en concreto autonivelante fc 2500 psi.
→ Instalación de tubería flexible.
→ Atraque inicial de tubería a D/2, mediante concreto fc 2500 psi
→ Atraque superior mediante colocación de material granular tipo gravilla TM>=1/2" compactadas al 85 % a D/2 superior.
→ Relleno de material seleccionado de excavación.
→ Requiere la utilización de equipos especializados y la aplicación de un estricto control geotécnico durante la ejecución.

9.2.3 Alternativa 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida + Obras de cimentación y atraque de tubería.

La segunda alternativa plantea la renovación del tramo OC09–OC10 mediante la instalación de tubería de concreto reforzada clase IV (TCR), complementada con

obras de cimentación y estabilización que aseguren la durabilidad estructural del sistema.

Las principales actividades contempladas son

- → Excavación mecánica controlada mediante table estacados
- → Mejoramiento del suelo mediante cambio de material granular y colocación de nuevo material.
- → Cimentación para tubería, placa en concreto reforzado fc 4000 psi.
- → Instalación de tubería rígida.
- → Atraque inicial de tubería a D/2, mediante concreto reforzado fc 4000 psi
- → Relleno de material seleccionado de excavación.
- → Requiere la utilización de equipos especializados y la aplicación de un estricto control geotécnico durante la ejecución

9.3 CRITERIOS DE DISEÑO

9.3.1 Localización Redes de Alcantarillado

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 138 y modificado por la resolución 0791 de diciembre 2021 en el artículo 42, el cual dice Localización de Redes de Alcantarillado: "*Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones*:

- → *Para sistemas nuevos, las redes de alcantarillado pluvial y combinado deben localizarse cerca del eje de la calzada, mientras que las redes de alcantarillado sanitario deben ubicarse hacia uno de los costados, a una distancia aproximada de un cuarto del ancho de la calzada, respetando la distancia libre con respecto a otras redes.*
- → *Las tuberías de alcantarillado deben estar a una distancia mínima de 0.5 m de la acera y 1.5 m del paramento, medida entre las superficies externas del conducto, y del sardinel y el paramento, según corresponda.*
- → *Las tuberías de alcantarillado no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de acueducto, y su cota clave siempre debe estar por debajo de la cota batea de la tubería de acueducto.*
- → *En aquellos casos en los cuales existan vías con separador central se deben diseñar redes independientes en cada calzada. Cuando por el costado de una vía se vaya a construir un alcantarillado sanitario y por otro costado uno de aguas lluvias, este último deberá estar más cerca al centro de la vía.*
- → *Las distancias mínimas libres entre los colectores que conforman la red del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, y las tuberías de otras redes de servicios públicos deben ser 1,0 m en la dirección*



horizontal y 0,3 m en la dirección vertical, medidas entre las superficies externas de los dos conductos.

- → *Los cruces de redes deben analizarse de manera individual, para establecer la necesidad de diseños especiales, en particular en aquellos casos donde sea imposible cumplir la distancia mínima vertical definida.*
- → *Los cruces aéreos de cauces de agua deben proyectarse en puntos no susceptibles de socavación. Igualmente, deben ubicarse a 0,50 m por encima de la cota de aguas máximas generada por el caudal máximo instantáneo anual, calculado para un período de retorno de 100 años. En todo caso, es indispensable cumplir los requerimientos que la autoridad ambiental competente determine.*

Tabla 9- 3. Períodos de Retorno para estudios de Cota de aguas máximas para cruces

Longitud del cruce (L)	Período de retorno (años)
L < 10 m	25
10 m ≤ L ≤ 50 m	50
L > 50 m	100

Fuente: Articulo 42 de resolución 0799 de 2021.tabla 17

- → *Para los cruces subterráneos de cauces naturales se debe hacer un análisis de socavación para el caudal máximo instantáneo anual calculado para el período de retorno de la Tabla 17 y con la granulometría del lecho de la corriente en el punto de cruce; la tubería se instalará mínimo 0,50 m por debajo de la cota de socavación máxima, con el fin de garantizar que no se presentará flotación del tubo. En todo caso, deberán cumplirse los requerimientos que la autoridad ambiental competente determine.*
- → *De ser necesaria la ubicación de tuberías en zonas de riesgo, se debe realizar un análisis en el cual se indique la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo a los que se encuentra expuesto el tramo de tubería, y las obras necesarias para la mitigación del mismo. En este evento, no se aceptarán conexiones domiciliarias en el tramo aludido.*
- → *Para cruces con infraestructura como vías férreas, líneas de media y alta tensión, vías nacionales, entre otras, la localización de las redes debe cumplir las exigencias previstas por las entidades correspondientes.*
- → *Los cauces naturales que crucen las zonas urbanas y expansión no deben entrar a los sistemas de alcantarillado pluvial o combinado.*
- → *Cuando se haga uso de tecnologías sin zanja para la instalación de tramos nuevos en sistemas de alcantarillado, es obligatorio respetar todo lo anteriormente establecido.*
- → *Solo se podrán construir tramos de alcantarillados pluviales en zonas no pavimentadas cuando este asegurado el respectivo proyecto de pavimentación o empedrado.*

Parágrafo 1°. En callejones donde se demuestre que no se puede cumplir con las

distancias horizontales establecidas anteriormente, se deben ubicar las tuberías sobre el eje del callejón.
Parágrafo 2°. Cuando se construyan redes nuevas en vías con infraestructura existente y de no ser posible el cumplimiento de uno o varios de los anteriores requisitos, se deberán hacer las consideraciones y diseños especiales que deberán quedar documentados en las memorias correspondientes."

9.3.2 Profundidad de la Tubería

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 139 – Profundidad de instalación de la tubería de alcantarillados: "*La profundidad de instalación de los colectores debe estar sustentada por estudios geotécnicos y de estabilidad…Los valores mínimos permisibles de recubrimiento de los colectores que no requieren protección a cargas vivas, con relación a la rasante definitiva, se definen en la Tabla 18*".

Tabla 9- 4. Profundidades a las cotas clave del colector.

Servidumbre	Profundidad a la clave del colector (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0.75
Vías vehiculares	1.20

Fuente: Resolución Número 0330 del 08 de junio de 2017 Tabla 18.

9.3.3 Diámetros

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 140 – Diámetro interno real mínimo en los alcantarillados sanitarios: "*El diámetro interno real mínimo permitido en redes de alcantarillado sanitario es 170 mm. Para poblaciones menores de 2500 habitantes el diámetro interno real permitido es 140 mm.*

Para redes de alcantarillado de aguas pluviales y combinadas el Artículo 148. de la resolución 0330 de 2017, Dice "*Diámetro interno real mínimo en los alcantarillados pluviales y combinados. El diámetro interno real mínimo permitido en redes de alcantarillado pluvial y combinado es 260 mm.*"

9.3.4 Velocidad Mínima

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 141 – Criterios de autolimpieza en los alcantarillados: "*La velocidad*



*mínima real permitida en el colector de alcantarillado sanitario es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de **1 Pa**".*

Para un sistema pluvial y combinado: de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 en su artículo 149, sin modificación de este articulo por la Resolución 0799 de 2021, *la velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado pluvial o combinado es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 2.0 Pa. Los criterios de velocidad y esfuerzo cortante se deben determinar para el caudal de diseño en las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño.*

9.3.5 Velocidad Máxima

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 142 – Velocidad máxima en los alcantarillados: "*La velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar los **5 m/s** determinada para el caudal de diseño*".

En condiciones hidráulicas especiales y complejas como es el caso de topografías con pendientes superiores al 30%, colectores de gran diámetro iguales o superiores a 600 mm o caudales de flujo superiores a 500 l/s, se permitirán velocidades de flujo superiores a 5 m/s; sin embargo, la velocidad máxima no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto y/o de los accesorios a emplear y no deberá superar los 10 m/s. Las tuberías con velocidad de flujo superior a 5 m/s deben seleccionarse con revestimientos internos especiales que permitan soportar el fenómeno de abrasión a largo plazo. El diseño deberá prever las protecciones del sistema y plantear las soluciones de disipación de energía necesarias.

Par un sistema pluvial y combinado: de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 en su artículo 150, sin modificación de este articulo por la Resolución 0799 de 2021, la velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar 5.0 m/s, determinada para el caudal de diseño.

En condiciones hidráulicas especiales y complejas como es el caso de topografías con pendientes superiores al 30%, colectores de gran diámetro iguales o superiores a 600 mm o caudales de flujo superiores a 500 l/s, se permitirán velocidades de flujo superiores a 5 m/s; sin embargo, la velocidad máxima no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto y/o de los accesorios a emplear y no deberá superar los 10 m/s. Las tuberías con velocidad de flujo superior a 5 m/s deben seleccionarse con revestimientos internos especiales que permitan soportar el fenómeno de abrasión a largo plazo. El diseño deberá prever las protecciones del sistema y plantear las soluciones de disipación de energía necesarias.

9.3.6 Relación Máxima Entre Profundidad de Flujo y Diámetro

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 143 – Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios: "*Para permitir la aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de* ***85%*** *del diámetro interno real de este*".

Para un sistema pluvial y combinado: de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 en su artículo 151, sin modificación de este articulo por la Resolución 0799 de 2021, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector pluvial y combinado es de 93% del diámetro interno real de éste, correspondiente a flujo lleno.

9.3.7 Estructuras de conexión o pozos de inspección.

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 154, modificado por el artículo 45 de la Resolución 0799 de 2021 respecto a las estructuras de conexión, las cuales pueden ser pozos o cámaras de inspección que deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- → Las estructuras de conexión deben ubicarse como mínimo en los siguientes puntos de la red de alcantarillado: al inicio de la red; en los cambios de dirección del flujo; en los cambios de diámetro, material y pendiente del colector; en la confluencia de más de dos tuberías; y a distancia máxima de 120 m para tramos con aportes de caudal y 300 m en interceptores y emisarios finales sin aportes de caudal.
- → En el trazado de las redes de alcantarillado y en la localización de las estructuras de conexión deberán tenerse en cuenta los siguientes lineamientos: minimizar los cambios de velocidad en las cámaras o estructuras de conexión, minimizar los cambios de dirección, evitar que las entradas de flujo sean opuestas entre sí, evitar deflexiones entre las tuberías de entrada y salida mayores a 90°, dirigir los flujos hacia la tubería de salida y realizar acabados hidrodinámicos en la confluencia de las uniones.
- → El diámetro interno de la estructura de conexión debe definirse con las condiciones hidráulicas y geométricas del empalme de las tuberías, garantizando que las tuberías que se conecten a la estructura caben sin cruzarse entre sí y que las pérdidas hidráulicas debido al radio de curvatura de conexión sean mínimas. Adicionalmente, se debe considerar la disponibilidad de equipos para el mantenimiento. Las estructuras de conexión para inspección, limpieza e ingreso del personal de mantenimiento deben diseñarse con los diámetros mínimos estipulados en la siguiente tabla

Tabla 9- 5. Diámetro interno mínimo de estructuras de conexión.

Diámetro de las tuberías conectadas (mm)	Diámetro interno de la estructura (m)
De 200 a 500	1.20
De 500 a 750	1.50
De 750 a 900	1.80

Fuente: Resolución Número 0330 del 08 de junio de 2017 Tabla 19.

Las estructuras de conexión en las cuales la limpieza y mantenimiento se realice con equipo especializado y se prevé el ingreso excepcional de personal deben tener un diámetro mínimo de 0.6 m. En caso de que no esté previsto el ingreso de personal, estas estructuras podrán tener un diámetro menor; en todo caso la estructura de conexión debe contar con tapa.

→ Para tuberías de diámetros mayores de 900 mm o profundidades mayores a 7.0 m, medidos entre la cota rasante hasta la cota batea de la tubería más baja, se debe realizar un diseño hidráulico y estructural de acuerdo con las condiciones particulares de la conexión. Adicionalmente se debe proveer escalera de acceso anticorrosiva, la cual podrá ser permanente o móvil.

→ Para tramos iniciales se podrán prever bocas de inspección y limpieza con diámetros mínimos de 200 mm.

→ Para instalar una tubería se debe adoptar un sistema que absorba los movimientos diferenciales entre la tubería y la estructura, y los esfuerzos que se generen por esta causa. Para ello, el diseño debe ser especifico teniendo en cuenta el tipo de material de la tubería, las características del suelo de soporte y las recomendaciones del fabricante.

→ Todas las estructuras de conexión deben tener cañuela en el fondo o sistemas en forma de U con el fin de disminuir las pérdidas de energía.

→ Si la conexión es en cañuela, el ancho de esta debe ser el correspondiente al cálculo del diámetro de la mínima sección para transportar el caudal de diseño.

→ Si la conexión es en U, se debe garantizar que esta sección geométrica transporte el caudal de diseño y confine totalmente el diámetro de la tubería a la entrada de la estructura de conexión.

→ Las estructuras de conexión deberán contar con una diferencia entre las cotas bateas de los colectores de entrada y salida, definida mediante un análisis hidráulico, considerando el régimen de flujo de los colectores y las pérdidas de energía generadas por la geometría de la estructura.

→ Para velocidades superiores a 5 m/s en los tramos de entrada, se deben diseñar estructuras de disipación de energía y/o elementos de protección de las cámaras de conexión.

→ El diseño estructural debe considerar las cargas a las que estará expuesta la estructura de conexión, de conformidad con el tipo de vía donde será instalada.

→ Las estructuras deben tener impermeabilización interna y externa.



9.3.8 Cámaras de caída

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 155. Requisitos de diseño de las cámaras de caída. Deben cumplir con los siguientes requisitos:

- → El colector que llegue a una estructura de conexión con una diferencia de nivel entre las cotas bateas mayor a 0,75 m, respecto del colector de salida, debe entregar mediante una cámara de caída. Para desniveles mayores a 7,0 m, se deben diseñar estructuras de disipación de energía.
- → El diámetro interno real de la tubería de la cámara de caída debe ser el indicado en la Tabla 20. Si la tubería de entrada tiene un diámetro interno real mayor que 900 mm, debe diseñarse una transición entre el colector y la estructura de conexión que garantice la reducción de energía.

Tabla 9- 6. Diámetro de la Cámara de caída en función del diámetro de la Tubería de entrada

Diámetro interno real tubería de entrada (D)	Diámetro interno real mínimo de la tubería de la cámara de caída
D ≤ 300 mm	170 mm
300 mm > D ≤ 450 mm	280 mm
450 mm > D ≤ 900 mm	360 mm

Fuente: Resolución Número 0330 del 08 de junio de 2017 Tabla 20 Artículo 155.

Y si la tubería de entrada tiene un diámetro mayor que 900 mm, en lugar de tubo de caída se diseñará una transición escalonada entre el tubo y la cámara.

9.3.9 Estructura de descarga

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 159. Requisitos de diseño de estructuras de descarga y disipación de energía. *Todas las redes de alcantarillado que descarguen a canales, cuerpos de agua o a cielo abierto deben contar con una estructura de descarga que garantice la estabilidad del conducto, y una estructura de disipación de energía que evite la socavación del terreno, reduciendo la velocidad del flujo hasta un régimen subcrítico*

9.3.10 Conexiones domiciliarias

La Resolución N° 0330 de 2017 Capitulo 4 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES establece en el Artículo 144, la conexión domiciliaria a la red de alcantarillado sanitario debe cumplir los siguientes parámetros:

- → El diámetro interno real mínimo de la tubería es 140 mm.
- → La pendiente mínima de la tubería es 2%.
- → La entrega a la red de alcantarillado se debe realizar por gravedad y por la parte media superior del colector de alcantarillado, como mínimo las cotas claves de las tuberías deben quedar al mismo nivel.
- → Se debe proveer una caja de inspección al inicio de la tubería de la conexión domiciliaria, la cual podrá ser utilizada como punto de control para monitorear vertimientos.
- → Para colectores con diámetro superiores a 600 mm no se permitirán conexiones directas para lo cual se tiene que implementar una manija de acometida múltiple que va hasta el pozo de inspección.

9.4 PREDIMENSIONAMIENTO DE ALTERNATIVAS

9.4.1 Predimensionamiento de alternativa No 1

Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible + Obras de cimentación y atraque de tubería.

9.4.1.1 Predimensionamiento hidráulico

Figura 9- 1. Topología según levantamiento topográfico.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura previa se presenta la localización de los pozos de inspección y la red de alcantarillado evidenciada en el levantamiento topográfico. Allí se puede observar que en efecto el tramo de interés se encuentra delimitado por los pozos **PZ2** a **PZ4,** y por los tramos de tubería o colectores **PZ2 – PZ3** y **PZ3 – PZ4, denominados** de esta manera para efectos del levantamiento topográfico desarrollado en esta consultoría. Sin embargo, como se mencionó previamente, con el fin de obtener una modelación más precisa del comportamiento hidráulico en la zona de estudio, se ha extendido el análisis un pozo aguas arriba (**PZ1**) del inicio del tramo de evaluación y dos pozos aguas abajo (**PZ5, PZ6**) del final del tramo de evaluación.

Adicionalmente, para contrastar la información levantada en campo se plasmó la información proporcionada por la EAAV, en la cual se consignan los pozos de inspección y los colectores de alcantarillado pertenecientes al Interceptor Ocoa Sur. Allí se pudo observar que el tramo de interés se encuentra localizado entre los pozos denominados **OC8** a **OC10** y por los tramos **OC8 – OC9** y **OC9 – OC10.**

Figura 9- 2. Topología según EEAV.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9- 7. Parámetros de diseño

Coeficiente de Retorno	0.85
Caudal de Infiltración (L/s*ha)	**0.20**
Caudal de Conexiones Erradas (L/s*ha)	**0.20**
Coeficiente de Manning PVC	**0.010**
Población Actual (hab)	**40139**
Tasa de crecimiento (%)	**0.00%**
Población Proyectada (Hab)	**40139**
Qmd (L/s*Ha)	**0.0449**
Densidad Poblacional (Hab/ha)	**35.93**
Dotación Neta (L/hab*dia)	**127**
Area (ha)	**1117.203**
Qmd (L/s)	**50.151**

Fuente: Elaboración propia consultoría

Tabla 9- 8. Prediseño hidráulico alternativa No 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pozo		Tramo	Area(Ha)							
			Parcial (Ha)			Total(Ha)	Población (Hab)	Población Acum (Hab)	Densidad (Hab/Ha)	Densidad (Hab/Ha)
Inicial	Final		Ai	Ai (ha)						
PZ1	PZ2	PZ1-PZ2	Atotal	1117.203	1117.203	1117.203	40139	40139	35.93	35.93
PZ2	PZ3	PZ2-PZ3			0.000	1117.203	0.000	40139		35.93
PZ3	PZ4	PZ3-PZ4	tramo proyectado		0.000	1117.203	0.000	40139		35.93
PZ4	PZ5	PZ4-PZ5			0.000	1117.203	0.000	40139		35.93
PZ5	PZ6	PZ5-PZ6			0.000	1117.203	0.000	40139		35.93

1	2	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Pozo		Factor de Mayoracion				Caudal A. R.						
Inicial	Final	Poblacion (miles de hab.)	Flores	Factor	Qdom(L/s)	Qdom Acum(L/s)	Qcom(L/s)	Qind(L/s)	Qinst(L/s)	Qmd(L/s)	Qmd(L/s)	QMAXH (L/s)
PZ1	PZ2	40.139	2.419	2.4	50.151	50.151	0.209	0.001	0.177	50.538	50.538	122.273
PZ2	PZ3	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273
PZ3	PZ4	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273
PZ4	PZ5	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273
PZ5	PZ6	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273

1	2	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Pozo		Caudal Conexiones Erradas (L/s)	Caudal de Infiltracion (L/s)	Caudal de Diseño (L/s)		Material	L(m)	Cota Terreno		Δ(m)	S(%)
Inicial	Final			Calculado	Adoptado			Cota Inicial	Cota Final		
PZ1	PZ2	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	94.805	422.360	422.040	0.320	0.34%
PZ2	PZ3	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	85.358	422.040	421.820	0.220	0.26%
PZ3	PZ4	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	89.927	421.820	423.950	-2.130	-2.37%
PZ4	PZ5	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	98.115	423.950	422.920	1.030	1.05%
PZ5	PZ6	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	20.162	422.920	423.200	-0.280	-1.39%

1	2	3	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Pozo		Tramo	Profundidad a la Cota Clave (m)		Cota Clave (m)		Δ(m)	S(%)	D(m)	D(")	Diametro Adoptado (")	D I Comercial (m)	t (m)	D E Comercial (m)
Inicial	Final		C. Inicial	C. Final	Cota Inicial	Cota Final								
PZ1	PZ2	PZ1-PZ2	4.21	3.91	418.145	418.135	0.010	0.011%	1.241	48.843	51	1.295	0.000	1.295
PZ2	PZ3	PZ2-PZ3	3.91	3.75	418.135	418.075	0.060	0.070%	0.869	34.226	51	1.295	0.000	1.295
PZ3	PZ4	PZ3-PZ4	3.75	5.92	418.075	418.025	0.050	0.056%	0.908	35.764	51	1.295	0.000	1.295
PZ4	PZ5	PZ4-PZ5	5.92	5.21	418.025	417.715	0.310	0.316%	0.656	25.821	51	1.295	0.000	1.295
PZ5	PZ6	PZ5-PZ6	5.21	5.59	417.715	417.605	0.110	0.546%	0.592	23.307	51	1.295	0.000	1.295

1	2	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Pozo		Qo (L/s)	Vo (m/s)	Q/Qo		V/Vo	d/D	R/Ro	H/D		V(m/s)	$V^2/2g(m)$
Inicial	Final											
PZ1	PZ2	638.448	0.485	0.891	OK	1.015	0.820	1.214	0.892	NO	0.492	0.012
PZ2	PZ3	1648.139	1.251	0.345	OK	0.755	0.452	0.938	0.348	OK	0.945	0.045
PZ3	PZ4	1465.823	1.113	0.388	OK	0.781	0.482	0.983	0.374	OK	0.869	0.039
PZ4	PZ5	3494.243	2.653	0.163	OK	0.613	0.308	0.704	0.221	OK	1.626	0.135
PZ5	PZ6	4591.619	3.486	0.124	OK	0.570	0.270	0.630	0.188	OK	1.987	0.201

1	2	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Pozo		R(m)	τ(Pa)		d(m)	Energia Especifica (m)	H(m)	Cota Batea		Cota Lamina	
Inicial	Final							Cota Inicial	Cota Final	Cota Inicial	Cota Final
PZ1	PZ2	0.393	0.407	NO	1.062	1.074	1.155	416.850	416.840	417.912	417.902
PZ2	PZ3	0.304	2.094	OK	0.585	0.631	0.451	416.840	416.780	417.425	417.365
PZ3	PZ4	0.318	1.736	OK	0.624	0.663	0.484	416.780	416.730	417.404	417.354
PZ4	PZ5	0.228	7.064	OK	0.399	0.534	0.286	416.730	416.420	417.129	416.819
PZ5	PZ6	0.204	10.916	OK	0.350	0.551	0.243	416.420	416.310	416.770	416.660

1	2	66	67	68	69	70	71
Pozo		Cota Energia		Profundidad		Excavacion(m^3)	
Inicial	Final	Cota Inicial	Cota Final	Pozo Inicial	Pozo Final	Tuberia	Relleno
PZ1	PZ2	417.924	417.914	5.510	5.200	1314.892	1190.021
PZ2	PZ3	417.471	417.411	5.200	5.040	1131.917	1019.489
PZ3	PZ4	417.443	417.393	5.040	7.220	1427.738	1309.292
PZ4	PZ5	417.264	416.954	7.220	6.500	1743.254	1614.023
PZ5	PZ6	416.971	416.861	6.500	6.890	349.617	323.060

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

Con base en los cálculos realizados, se evidencia que el tramo proyectado, correspondiente a OC9–OC10 (PZ3–PZ4), requiere un diámetro de tubería de PVC de 51 pulgadas.

9.4.1.2 Prediseño geotécnico para cimentación

Verificaciones en Tubería flexible:

- → Verificación de la deflexión máxima que pueda ocurrir en las tuberías, siguiendo la metodología de Spangler y aceptada por las normas vigentes para Colombia, para cargas muertas y cargas vivas (Camión de diseño C40).
- → Verificación del pandeo que pueda ocurrir en las paredes del tubo ante las mismas solicitaciones de carga muerta y carga viva
- → Verificación de rotura en la pared, que corresponde a la más crítica para este tipo de tuberías.

Con base en las revisiones anteriores, se verificarán y predimensionarán las cimentaciones adecuadas, considerando el tipo de cimentación y el relleno más apropiado para la tubería y su profundidad de instalación. Asimismo, se evaluará la necesidad de incorporar cárcamos de protección u obras similares que eviten posibles daños a las tuberías durante su vida útil.

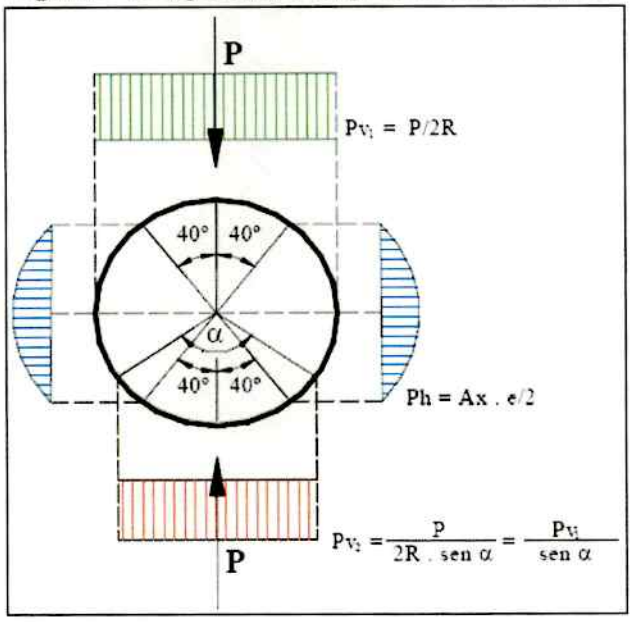
9.4.2.1.1 Verificación de la deflexión

Los siguientes son los criterios de verificación que deben ser complementados para este tipo de tuberías, fundamentados en la Teoría de Spangler.

Para las verificaciones de referencia y a partir del análisis racional complementado con la experimentación, Spangler y autores posteriores llegaron a considerar como estado de cargas adecuado el dado por el esquema de la siguiente figura.

En la figura se observa que la carga del relleno se distribuye en todo el diámetro, mientras que el apoyo reacciona con una fuerza que lo equilibra abarcando una cuerda que subtiende el "ángulo de apoyo α", el que es variable en función de la calidad del tipo de apoyo.

Figura 9- 3. Hipótesis de carga en tuberías flexibles



Fuente: Bibliografía

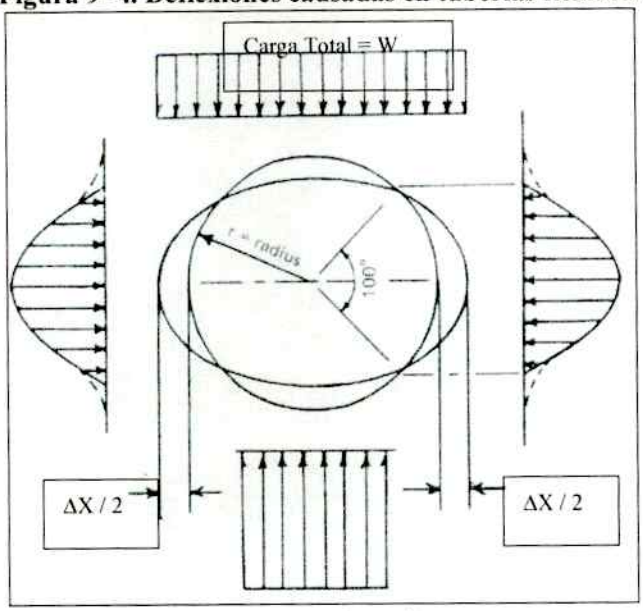
Por otra parte, las tuberías flexibles se ovalan, indicando una distribución de deformaciones proporcional a las presiones. Cuando la tubería se ovala, esta deformación deberá ser contenida por los rellenos laterales de la zanja.

Los diagramas laterales implican las presiones que la tubería transmite a los laterales de la zanja al estar ovalada y que deben ser contrarrestados por el relleno lateral para evitar la deformación excesiva y que ésta continúe en el tiempo.

Por lo tanto, las cargas verticales sobre tuberías flexibles enterradas generan una disminución en su diámetro vertical y un incremento en el horizontal. El movimiento horizontal desarrolla la resistencia pasiva del suelo que ayuda a soportar las cargas sobre la tubería, ver figura siguiente

La resistencia pasiva del suelo varía dependiendo del tipo de suelo natural, del grado de compactación del relleno que conforma la cama y atraque de la tubería, la altura de recubrimiento y el ancho de la zanja.

Figura 9- 4. Deflexiones causadas en tuberías flexibles



Fuente: Bibliografía

La expresión de Spangler para la deformación horizontal es:
Donde:

$$\Delta x = \frac{k Q r^3}{EI + 0{,}061 e r^4}$$

- Δx = Deflexión horizontal en el plano que contiene al eje.
- Q = Carga vertical por unidad de longitud.
- r = Radio medio de la tubería.
- E = Módulo de Elasticidad del material de la tubería.
- I = Momento de inercia de la sección transversal de la tubería



por unidad de longitud.

e = "Módulo de presión pasiva del material de relleno".

k = Constante de apoyo, que constituye una compleja función del ángulo de la cama de apoyo al centro α y que puede variar entre 0,11 y 0,083 cuando éste pasa de "0º" a "90º.

Si se tiene en cuenta que las deflexiones continúan con el tiempo, la ecuación anterior se transforma en:
Donde aparece un nuevo factor:

$$\Delta x = \frac{D_L k Q r^3}{EI + 0{,}061 e r^4}$$

DL = Factor de retardo de deflexión

En tuberías nacionales de PVC, la ecuación de Spangler puede escribirse como:
Donde:

$$\Delta X = \frac{K D_L W_T}{8 \cdot Sp + 0.061 E'}$$

K = Angulo de encamado o cama de soporte de la tubería
D_L = Factor de retardo de la deflexión
E' = Modulo de elasticidad combinado de la cimentación
Sp = Rigidez Tubería
ΔX = Deflexión tubería

El módulo de reacción del suelo (E´) de una tubería enterrada se determina como una combinación del módulo del suelo in situ y el módulo del relleno de base y atraque de la tubería, es una medida de la rigidez del material donde se entierra la tubería.

E' = Sc*E'n (0.15 < Sc < 1.0)

E' = Modulo del material de la cimentación
E'n = Modulo suelo natural

Las deflexiones máximas tolerables para distintos materiales de tubería son, ver

Tabla 9- 9. Deflexiones máximas permitidas

Material de tubería	Delta máxima deflexión (%)
Cloruro de polivinilo PVC	7.5
Poliéster reforzado con fibra de vidrio, GRP	5

Polietileno, PE	7.5
Acero con revestimiento en mortero	2
Hierro Ductil , DIP	3

Fuente: Bibliografía

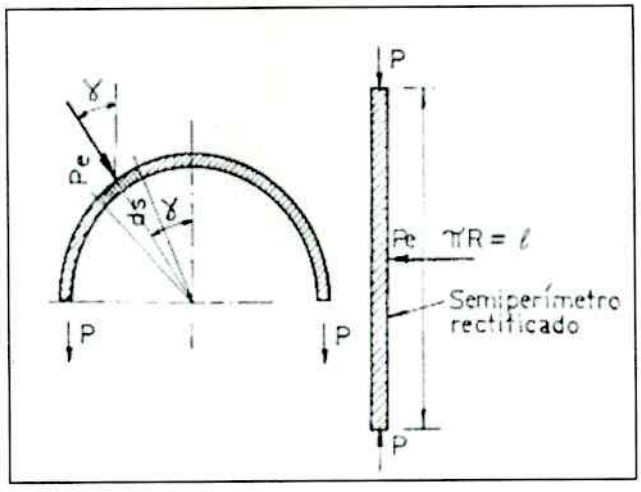
9.4.2.1.2 Verificación de pandeo

Al ser las tuberías instaladas en zanja, de comportamiento flexible frente al estado de cargas, su característica distintiva de pequeño espesor frente al diámetro hace que sean susceptibles a deformarse por el efecto de pandeo.

En efecto, si se tiene en cuenta la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**, se aprecia que el concepto es asimilable al que habitualmente se considera en el estudio del pandeo en la bibliografía especializada. Es decir, una figura esbelta sometida a carga vertical P y a otra solicitación horizontal Pe, se intuye que es deformable por inestabilidad del equilibrio.

El efecto del abombamiento de sectores de tuberías obedece al mismo concepto expuesto. Para ello basta con considerar un semi-perímetro (por razones de simetría) sometido a las fuerzas de compresión interna debidas a estado de cargas especiales (incluso por la depresión originada por ondas negativas del golpe de ariete) y la presión ovalizante que ejerce el relleno.

Figura 9- 5. Efecto de pandeo sobre tuberías



Fuente: Bibliografía

En otras palabras, la tubería enterrada está sujeta a cargas radiales externas, compuestas por cargas verticales y posiblemente la presión del agua subterránea y el vacío interno. La tubería embebida en el suelo puede colapsar o doblarse por una inestabilidad elástica a partir de cargas y deformaciones.

La presión admisible de pandeo en Pa = qa, se evalúa según la siguiente expresión:
Donde:

$$q_a = \left(\frac{1}{FS_q}\right)(32\,R_w\,B'E'\,Sp)^{1/2}$$

$$\gamma_w h_w + R_w \frac{W_D}{B_c} + \frac{W_L}{B_c} \le q_a$$

FSq = Factor de seguridad
Rw = Factor de flotación del agua
B´ = Coeficiente empírico de soporte elástico
E' = Modulo de reacción de la sub-rasante (Pa)
Sp = EI/D3
D = Diámetro nominal de la tubería (m)
EI = Rigidez de la tubería
Wd = Carga muerta sobre la tubería (KN/m)
WL = Carga viva sobre la tubería (KN/m)
Bc = Diámetro interno de la tubería (m)

9.5.2.1.3 Verificación de rotura de pared

Se debe verificar que los esfuerzos en la pared no superen los admisibles:

$$\sigma_c = \frac{W_T\,B_c}{2\,A}$$

Donde:

WT = Carga total sobre la tubería [kN/m].
Bc = Diámetro exterior de la tubería [m].
A = Área de la sección transversal [m²]
σc = Esfuerzo de compresión actuante

Se debe garantizar que:

σc máx > σc

Se tendrá en cuenta un FS = 2.5 a 3.0, para la evaluación de estos efectos de rotura en la pared del tubo.

El PVC alcanza un esfuerzo máximo de compresión:

σc max = 65000 kN/m2

9.5.2.1.4 Tipo de cimentación

Dadas las condiciones del subsuelo donde se cimentará la tubería, que corresponde a gravas mal gradades con nivel freático y teniendo en cuenta las cargas que se transmitirán a la tubería y el tipo de tubería a utilizar, se adopta el siguiente tipo de cimentación y relleno sobre la tubería:

a. Suelos granulares: gravas finas o arenas gruesas, que requieren menor esfuerzo de compactación con bordes redondeados, GW, SW
b. Suelos con baja sensibilidad a la humedad: igual al anterior punto, gravas finas y arenas gruesas, GW, SW
c. Suelos con un porcentaje de finos < 10%, sobre el tamiz 200

Se deberá garantizar para los suelos de relleno lo siguiente:

a. Densidad Proctor modificada mínima: 90%
b. Esfuerzo de compactación requerido para alcanzar la densidad Proctor mínima: Moderado
c. Método de compactación: Vibración, impacto, varillado o riego con agua

Estas características de los materiales para la cimentación de la tubería cumplen las normas ASTM Clase II (AWWA), y en particular corresponden a suelos de granos gruesos redondeados y muy limpios: Pasa tamiz 200 <10%, GW, GP, SW, SP.

Sin embargo, por el alto nivel freático llegar a los niveles de compactación normalizados se hace complejo lo que nos obliga a remplazarlos por morteros o concreto autonivelantes que dada su alta fluidez ocupen los espacios que a los materiales granulares se les dificulta. Este mortero o concreto autonivelante remplazará los granulares de base y atraque y permitirá y mejor efecto de atraque en las tuberías flexibles.

En estas condiciones la cimentación de la tubería estará formada por los siguientes materiales:

Tabla 9- 10. Materiales para la cimentación de tuberías

Cama	Concreto autonivelante f'c=2500psi	e=20cm
Atraque Inferior	Concreto autonivelante f'c=2500psi	e=diámetro del tubo/2 De/2
Relleno hasta cota clave	Material granular tipo gravilla TM>=1/2"o GW (Gravas bien gradadas), compactadas al 85% del PM	e=diámetro del tubo/2 De/2
Relleno Sobre cota clave	Relleno en material seleccionado de excavación	Variable, con espesor igual a la altura de la cota clave del tubo, hasta el nivel superficial del terreno

Fuente: Bibliografía

9.4.2.1.5 Verificación de cimentación

En la siguiente tabla se evalúa los requerimientos mínimos de acuerdo con lo expuesto anteriormente, para el tipo de cimentación propuesto. Se da claridad que se ha adoptado en el cálculo de la cimentación materiales granulares en remplazo del concreto autonivelante, condición que está del lado de la seguridad para el tipo de cimentación de la tubería.

De acuerdo con los resultados obtenidos, para el tipo de cimentación seleccionado, se observa que se cumplen los esfuerzos para la altura de relleno del proyecto, tanto desde el punto de vista deflexión, pandeo y rotura.

Tabla 9- 11. Revisión de prediseño de cimentación

REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN

Información de entrada: tubería, tramos y suelo

Tramo		DIÁMETRO DE LA TUBERÍA	ANCHO DE LA ZANJA Bd=b	ANCHO DE LA TUBERÍA Bc	ALTURA DEL RELLENO A LA CLAVE DE LA TUBERÍA H=h,"	PESO UNITARIO DEL RELLENO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL RELLENO	k ACTIVO DE RANKINE	COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE EL RELLENO Y PAREDES DE LA ZANJA	COEFICIENTE DE RANKINE Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN	RAZÓN DE PROYECCIÓN PARA ZANJA EN TERRAPLÉN
De	A	"	m	m	m	kg/m3	ϕ	k	μ'	$\lambda.\mu'$	η'
1	2	51	1.70	1.363	3.25	2.24	25°	0.406	0.47	0.19	1.912

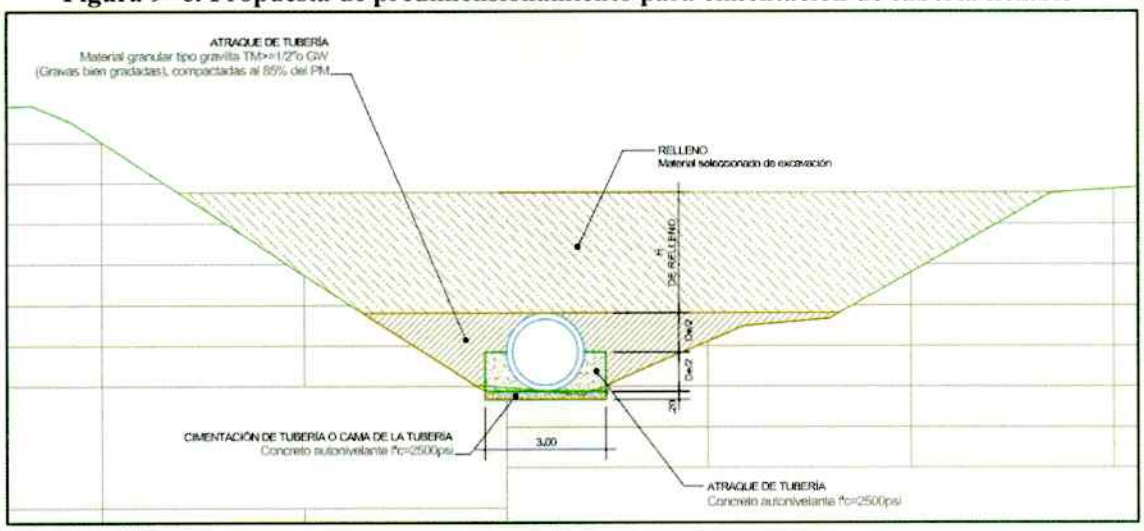
				carga muerta					carga viva		
RAZÓN DE ASENTAMIENTO EN ZANJA EN TERRAPLÉN	ALTURA DESDE LA CLAVE DEL TUBO HASTA EL PLANO DE IGUAL ASENTAMIENTO ho			COEFICIENTE DE CARGA MUERTA PARA LA CONDICIÓN DE LA ZANJA	CARGA VERTICAL DEL RELLENO Wc	CARGA VERTICAL DEL RELLENO ASUMIENDO PRISMA DE CARGA Wc	Camión de Diseño CC-14 P	Carga vibr. P	Factor de Impacto If	Coeficiente de Carga Viva C_L	Carga Viva en la tubería W_L
δ'		ho (definitivo)		Czt	Kg/m	Kg/m	Kg	kg	V. Pav	1/m	Kg/m
-0.441	1.3193	1.3188	4.33	1.36	7.05	9.9	12000	2400	1.09	0.217	2.845.73

Factor de retardo de la deflexión D_L	Tipo de tubería	Factor de soporte s/cimentación K α = 180° 180	Rigidez de la tubería PS	Tipo de suelo de fundación	Módulo de reacción del suelo natural/ subrasante E'n	Tipo de suelo de Relleno	Módulo de reacción del suelo de relleno E'b	Relación E'n / E'b	Relación Bd / D	Factor combinado de soporte del suelo Sc	Modulo compuesto de deformación E'
			psi		psi		psi				psi
1.50	Novafort	0.083	10.00	Grava densidad media	9.971.5	GW	2900.8	3.438	1.2	1.80	5.221

Longitud equivalente Leq	Presiones total CM+CV Pt	Deflexión	Verificación Pandeo (Wall Bucking)					Verificación Rotura (Wall Crushing)		ALTURA DEL RELLENO A LA CLAVE DE LA TUBERÍA H=hr"
			Factor de seguridad	Rw	B'	qa	Pandeo'	Revisión pandeo	σ_o	Estado de rotura < 6.75E8Kg/m2	
m	Kg/m	%<7.5				kg/m2	kg/m2		kg/m2		m
6.19	2.852.8	0.03%	2.5	0.67	0.33	23.428	5.343.2	O.K.	33777.52249	O.K.	3.25

Fuente. Elaboración propia consultoría 2025.

Figura 9- 6. Propuesta de predimensionamiento para cimentación de tubería flexible



Fuente. Elaboración propia consultor 2025

En conclusión, para esta alternativa se proyecta lo siguiente:

→ Tubería PVC flexible de 51 "
→ Cimentación placa en concreto de fc 2500 psi
→ Atraque lateral inicial a D/2 en concreto autonivelante de 2500 psi
→ Atraque de tubería en material tipo gravilla TM 182" o GW.
→ Material de relleno seleccionado o producto de la excavación o traído

9.4.2 Predimensionamiento de alternativa No 2

Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida + Obras de cimentación y atraque de tubería.

9.4.2.1 Predimensionamiento hidráulico

Tabla 9- 12. Prediseño hidráulico tramo en tubería de concreta clase IV

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pozo		Tramo	Area(Ha)							
			Parcial (Ha)			Total(Ha)	Población (Hab)	Población Acum (Hab)	Densidad (Hab/Ha)	Densidad (Hab/Ha)
Inicial	Final		Ai	Ai (ha)						
PZ1	PZ2	PZ1-PZ2	Atotal	1117.203	1117.203	1117.203	40139	40139	35.93	35.93
PZ2	PZ3	PZ2-PZ3			0.000	1117.203	0.000	40139		35.93
PZ3	PZ4	PZ3-PZ4	tramo proyectado		0.000	1117.203	0.000	40139		35.93
PZ4	PZ5	PZ4-PZ5			0.000	1117.203	0.000	40139		35.93
PZ5	PZ6	PZ5-PZ6			0.000	1117.203	0.000	40139		35.93



1	2	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Pozo		Factor de Mayoracion				Caudal A. R.						
Inicial	Final	Poblacion (miles de hab.)	Flores	Factor	Qdom(L/s)	Qdom Acum(L/s)	Qcom(L/s)	Qind(L/s)	Qinst(L/s)	Qmd(L/s)	Qmd(L/s)	QMAXH (L/s)
PZ1	PZ2	40.139	2.419	2.4	50.151	50.151	0.209	0.001	0.177	50.538	50.538	122.273
PZ2	PZ3	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273
PZ3	PZ4	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273
PZ4	PZ5	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273
PZ5	PZ6	40.139	2.419	2.4	0.000	50.151				0.000	50.538	122.273

1	2	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Pozo		Caudal Conexiones Erradas (L/s)	Caudal de Infiltracion (L/s)	Caudal de Diseño (L/s)		Material	L(m)	Cota Terreno		Δ(m)	S(%)
Inicial	Final			Calculado	Adoptado			Cota Inicial	Cota Final		
PZ1	PZ2	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	94.805	422.360	422.040	0.320	0.34%
PZ2	PZ3	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	85.358	422.040	421.820	0.220	0.26%
PZ3	PZ4	223.441	223.441	569.154	569.154	CONCRETO IV	89.927	421.820	423.950	-2.130	-2.37%
PZ4	PZ5	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	98.115	423.950	422.920	1.030	1.05%
PZ5	PZ6	223.441	223.441	569.154	569.154	PVC	20.162	422.920	423.200	-0.280	-1.39%

1	2	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Pozo		Profundidad a la Cota Clave (m)		Cota Clave (m)		Δ(m)	S(%)	D(m)	D(")	Diametro Adoptado (")	D I Comercial (m)	t (m)	D E Comercial (m)
Inicial	Final	C. Inicial	C. Final	Cota Inicial	Cota Final								
PZ1	PZ2	4.21	3.90	418.150	418.140	0.010	0.011%	1.241	48.843	52	1.300	0.000	1.300
PZ2	PZ3	3.90	3.74	418.140	418.080	0.060	0.070%	0.869	34.226	52	1.300	0.000	1.300
PZ3	PZ4	3.74	5.92	418.080	418.030	0.050	0.056%	1.031	40.574	52	1.300	0.000	1.300
PZ4	PZ5	5.92	5.20	418.030	417.720	0.310	0.316%	0.656	25.821	52	1.300	0.000	1.300
PZ5	PZ6	5.20	5.59	417.720	417.610	0.110	0.546%	0.592	23.307	52	1.300	0.000	1.300

1	2	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Pozo		Qo (L/s)	Vo (m/s)	Q/Qo		V/Vo	d/D	R/Ro	H/D		V(m/s)	$V^2/2g$(m)
Inicial	Final											
PZ1	PZ2	645.042	0.486	0.882	OK	1.011	0.813	1.215	0.871	NO	0.491	0.012
PZ2	PZ3	1665.163	1.255	0.342	OK	0.755	0.452	0.938	0.348	OK	0.947	0.046
PZ3	PZ4	1057.831	0.797	0.538	OK	0.865	0.582	1.100	0.479	OK	0.689	0.024
PZ4	PZ5	3530.336	2.660	0.161	OK	0.613	0.308	0.704	0.221	OK	1.630	0.135
PZ5	PZ6	4639.047	3.495	0.123	OK	0.570	0.270	0.630	0.188	OK	1.992	0.202

1	2	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Pozo		R(m)	τ(Pa)		d(m)	Energia Especifica (m)	H(m)	Cota Batea		Cota Lamina	
Inicial	Final							Cota Inicial	Cota Final	Cota Inicial	Cota Final
PZ1	PZ2	0.395	0.409	NO	1.057	1.069	1.132	416.850	416.840	417.907	417.897
PZ2	PZ3	0.305	2.102	OK	0.588	0.633	0.452	416.840	416.780	417.428	417.368
PZ3	PZ4	0.358	1.950	OK	0.757	0.781	0.623	416.780	416.730	417.537	417.487
PZ4	PZ5	0.229	7.092	OK	0.400	0.536	0.287	416.730	416.420	417.130	416.820
PZ5	PZ6	0.205	10.958	OK	0.351	0.553	0.244	416.420	416.310	416.771	416.661

1	2	66	67	68	69	70	71
Pozo		**Cota Energia**		**Profundidad**		**Excavacion(m^3)**	
Inicial	**Final**	**Cota Inicial**	**Cota Final**	**Pozo Inicial**	**Pozo Final**	**Tuberia**	**Relleno**
PZ1	PZ2	417.919	417.909	5.510	5.200	1319.969	1194.132
PZ2	PZ3	417.473	417.413	5.200	5.040	1136.287	1022.989
PZ3	PZ4	417.561	417.511	5.040	7.220	1433.250	1313.889
PZ4	PZ5	417.266	416.956	7.220	6.500	1749.984	1619.754
PZ5	PZ6	416.973	416.863	6.500	6.890	350.967	324.205

Fuente Elaboración propia consultoría 2025

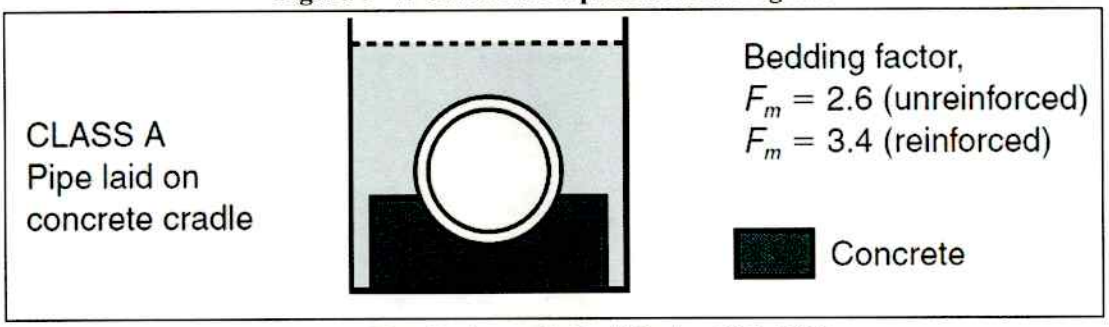
Con base en los cálculos realizados, se evidencia que el tramo proyectado, correspondiente a OC9–OC10 (PZ3–PZ4), requiere un diámetro de tubería de CONCRETO CLASE IV de 52 pulgadas.

9.4.2.2 Prediseño geotécnico para cimentación

Esta alternativa considera el uso de tubería de concreto reforzado de diámetro 52".

Para tubería rígidas sometidas a altos esfuerzos, se tiene un nuevo tipo de cimentación, que de acuerdo con "Urban Drainage, de David Butler, CRC, 2018", tiene las siguientes características:

Figura 9- 7. Cimentación para tuberías rígidas



Fuente: Urban Drainage, de David Butler, CRC, 2018

Este tipo de cimentación basa su diseño en el "factor de cama", que está en función del tipo de material utilizado como base y atraque de la tubería. Como se observa la tubería reposa sobre una cama de material granular y posee un atraque, igualmente, de material granular.

Para estas condiciones se tiene un factor de soporte de cama (Fm), igual a 3.40.

9.4.2.2.1 Cargas debidas al relleno

Para una condición de "Terraplén en proyección positiva", la carga debida al suelo y/o relleno está dada por la ecuación de Marston's:

$$W_c = C_d \gamma D_e^2$$

Donde:

W_n Carga del relleno en proyección negativa, kN/m m
D_e Diámetro externo de la tubería, m
C_n Coeficiente de carga para tuberías en proyección positiva
w Peso unitario del material de relleno, kN/m3, 22.4 kN/m3 para nuestro proyecto

El coeficiente de carga *Cd*, está dado por:

$$C_d = \frac{e^{2K\mu' \frac{H}{D_e}} - 1}{2K\mu'}$$

Donde:

C_d Coeficiente de carga para tuberías en trinchera
K Coeficiente de presión de tierras activo de Rankine
μ Coeficiente de fricción interna del relleno y el suelo de la zanja
H Altura del relleno sobre la tubería, m
B_d Ancho de la zanja sobre la tubería, m

Tabla 9- 13. Valore de K"u y Ku

Table 15.4 Values of $K\mu'$ and $K\mu$

Soil	$K\mu'$ *or* $K\mu$
Granular, cohesionless materials	0.19
Maximum for sand and gravel	0.165
Maximum for saturated topsoil	0.15
Ordinary maximum for clay	0.13
Maximum for saturated clay	0.11

Fuente: Urban Drainage, de David Butler, CRC, 2018

Tabla 9- 14. Carga por relleno sobre las tuberías

H	De	H/De	Kμ'	Cd	γ	Wc
3.25 m	1.87 m	1.74	0.19	2.47	22.4 kN/M3	193.48 kN/m

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

9.4.2.2.2 Carga por sobrecarga de cargas vivas

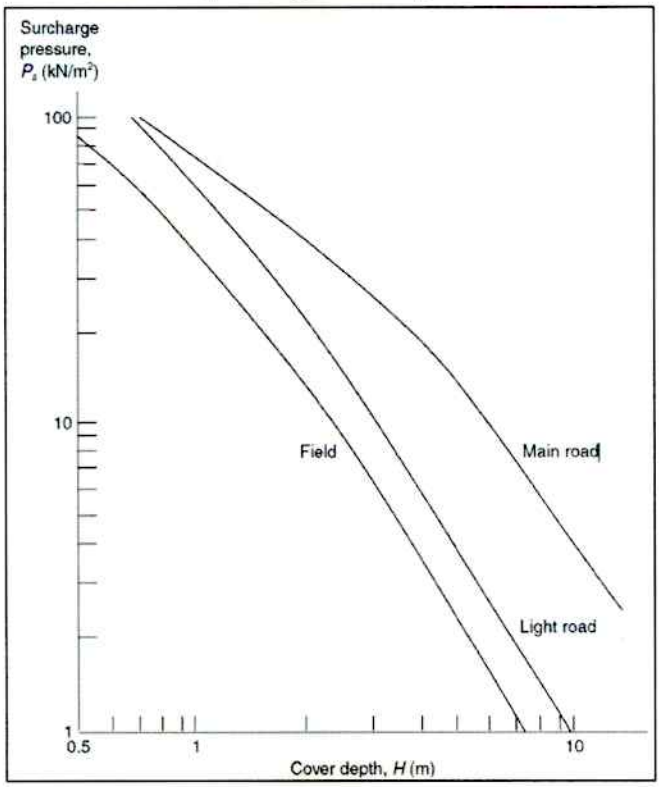
A partir de las ecuaciones de Boussinesq para cargas puntuales se obtiene la distribución de esfuerzos sobre la tubería de forma simplificada, como:

$$W_{csu} = P_s D_e$$

Donde:

Wcsu Carga concentrada
Ps Esfuerzo o presión de sobrecarga (kN/m2)
De Diámetro exterior de la tubería (m).

Figura 9- 8. Esfuerzo por carga viva vs profundidad de la tubería



Fuente: Urban Drainage, de David Butler, CRC, 2018

Tabla 9- 15. Carga viva sobre la tubería

H	De	Ps	Wcsu
3.25 m	1.87 m	26 kN/m2	48.62 kN/m

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

9.4.2.2.3 Resistencia requerida de la tubería

La evaluación de la resistencia de la tubería se halla verificando las cargas externas evaluadas previamente, multiplicadas por un factor de seguridad *vs* la resistencia de la tubería teniendo en cuenta el factor de cama. Este factor de cama le proporciona una resistencia adicional a la tubería de acuerdo con el tipo de cimentación seleccionado.

Se debe cumplir:

$$W_t F_m \geq W_e F_{se}$$

Donde:

W_t = Resistencia al aplastamiento de la tubería, proporcionada por el fabricante, kN/m
F_m = Factor de cama
F_{se} = Factor de seguridad, normalmente 1,25 para tuberías de concreto
W_e = Cargas externas en la tubería, kN/m.

Para el proyecto en estudio:

F_m = 3.40
F_{se} = 1.25 (Se adopta el valor recomendado)

Tabla 9- 16. Resistencia requerida mínima por la tubería

We	*Fm*	*Fse*	*Wt*
242.1 kN/m	3.40	1.25	89 kN/m

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

Donde *Wt* corresponde a la resistencia mínima que debe tener la tubería al inicio de la fisura.

9.4.2.2.4 Tipo de tubería a utilizar

A partir de los resultados obtenidos se deberá utilizar tubería de concreto reforzado que cumpla las siguientes especificaciones:

Según la Norma Técnica Colombiana, NTC-401:

Tubería de concreto:	Clase IV (concreto reforzado)
Resistencia fisurada:	100 kN/m
Resistencia a la rotura:	150 kN/m
f´c del concreto:	27.6 MPa
Absorción %:	5.4 %
Presión de trabajo, psi:	13 psi

Para la instalación de la tubería se recomienda seguir la norma INV-661.

9.4.2.2.5 Estructura de cimentación

Para todos los tramos

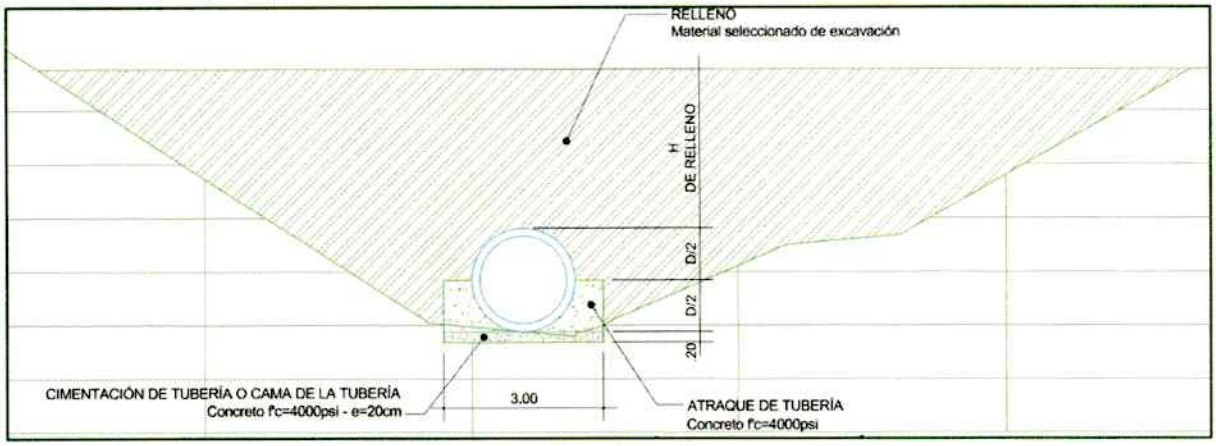
Tabla 9- 17. Estructura de cimentación para tubería en concreto clase IV

Cama	Concreto reforzado f'c=4000psi	e=20cm
Atraque	Concreto reforzado f'c=4000psi	De/2
Relleno	Material seleccionado proveniente de excavación	Variable, con espesor igual a la altura de la cota clave del tubo, hasta el nivel superficial del terreno

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el esquema típico de esta cimentación:

Figura 9- 9. Cimentación tipo con tubería de concreto reforzado Clase IV



Fuente: Elaboración propia consultor 2025

En conclusión, para esta alternativa se proyecta lo siguiente:

→ Tubería rígida de concreta clase IV de 52"
→ Cimentación placa en concreto de fc 4000 psi
→ Atraque lateral inicial a D/2 en concreto autonivelante de fc 4000 psi
→ Relleno con material seleccionado de excavación o material traído

9.5 COSTOS E INVERSION DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

9.5.1 Análisis económico de cada alternativa

En este capítulo se calcula de forma general los costos directos de inversión inicial para cada una de las alternativas previstas, estos costos no constituyen presupuesto definitivo, toda vez que son calculados con base en los predimensionamiento y no en diseños de ingeniería de detalle. Es decir, el costo de cada una de las alternativas se construye con la suma presupuestal de actividades representativas de la obra civil, estimado con predimensionamiento a la solución de los problemas o necesidades identificadas.

Se han contemplado los ítems más representativos para cada alternativa, de manera que permita realmente poder comparar las inversiones necesarias para cada una de las alternativas.

A partir de estos resultados, se procede con la aplicación de matrices de selección multicriterio, las cuales permitirán identificar la alternativa más adecuada para el desarrollo del objeto del proyecto, considerando no solo aspectos económicos, sino también técnicos, ambientales, sociales y de gestión del riesgo. La alternativa seleccionada servirá como punto de partida para avanzar hacia la fase final de la consultoría, correspondiente al desarrollo de la ingeniería de detalle de cada componente de interceptor Ocoa sur tramo 1.

9.5.1.1 Costos directos de inversión asociados a la construcción alternativa No 1

En la valoración de costos de las alternativas por material, se desarrolla el siguiente análisis con uso de la información de precios del mercado local de la ciudad de Villavicencio y lista de análisis de precios unitarios oficiales de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio – EAAV E.S.P

Tabla 9- 18. Costos directos asociados a construcción alternativa No 1.

Actividad	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario ($)	Vr. Total ($)
OBRA CIVIL ALCANTARILLADO SANITARIO				
PRELIMINARES				
LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO PARA REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	M	109	6,545	713,405
			SUBTOTAL PRELIMINARES	**713,405**
EXCAVACIONES				
EXCAVACIÓN MECÁNICA EN MATERIAL CONGLOMERADO SECO H ≤ 4.0M	M3	1,383	37,324	51,601,736
EXCAVACIÓN MECÁNICA EN MATERIAL CONGLOMERADO SECO 4.0 < H < 8.0M	M3	3,226	73,703	237,759,613
ENTIBADO TIPO DESLIZANTE PARALELO H MAX=7,0 M	M2	630	28,473	17,937,990
RETIRO DE MATERIAL SOBRANTE CON CARGUE MECANICO	M3	1,405	56,120	78,842,988
MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RCD EN ESCOMBRERA AUTORIZADA, 811 A 2000 TONELADAS	TN	2,107	26,801	56,479,087



MANEJO DE AGUAS EN EXCAVACIONES, (INCLUYE 2 MOTOBOMBAS 2", Y 2 MOTOBOMBAS 3")	MES	2	15,759,914	31,519,828
			SUBTOTAL EXCAVACIONES	**474,141,242**
RELLENOS				
RELLENO CON MATERIAL GRANULAR TRITURADO PARA BASE, ATRAQUE Y/O RELLENO INICIAL. TAM. 1/2" (INCLUYE ACARREO Y CONFORMACIÓN)	M3	967	126,657	122,483,652
RELLENO MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE LA EXCAVACIÓN (INCLUYE COMPACTACIÓN C/0.20M)	M3	3,204	27,257	87,319,162
			SUBTOTAL RELLENOS	**209,802,814**
DEMOLICIONES				
DEMOLICIÓN DE CONCRETO REFORZADO (INCLUYE RETIRO DE ESCOMBROS)	M3	20	281,924	5,561,881
			SUBTOTAL DEMOLICIONES	**5,561,881**
TUBERIA Y ACCESORIOS ALCANTARILLADO				
INSTALACION DE TUBERIA PVC 51" (INC. NIVELACION DE PRECISION Y TRANSPORTE)	M	105	475,390	49,915,950
			SUBTOTAL TUBERIA Y ACCESORIOS	**49,915,950**
CAMARAS DE INSPECCIÓN				
CONCRETO 2000 PSI PARA SOLADOS, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	1	861,956	899,882
CONCRETO IMPERMEAB. 4000 PSI PARA PLACA PISO, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	6	1,236,996	7,748,543
CONCRETO IMPERMEAB. 4000 PSI PARA MUROS, ELAB. EN OBRA, ELEVACIONES H<3.0M (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	43	1,764,499	75,442,919
CONCRETO IMPERMEAB. 4000PSI PARA PLACA ENTREPISO, ELAB. OBRA, ELEVACIONES H<3.0 (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	1	1,736,831	2,136,840
ACERO DE REFUERZO 60.000 PSI (INCLUYE AMARRE Y FIGURACIÓN)	KG	5,523	7,542	41,650,763
CINTA PVC O-22CM (INCLUYE INSTALACIÓN)	M	58	95,320	5,528,560
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TAPA MANHOLE DE SEGURIDAD, D=60CM, CON BISAGRA	UN	2	1,845,284	3,690,568
CAÑUELA POZO DE INSPECCIÓN PARA TUBERÍAS ENTRE 52" (CONCRETO F'C = 28MPA ELAB. EN OBRA)	UN	2	867,562	1,735,124
			SUBTOTAL CAMARAS	**138,833,199**
CIMENTACION TUBERIA				
CONCRETO 2000 PSI PARA SOLADOS, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	16	861,956	13,575,807
CONCRETO IMPERMEAB. 2500 PSI PARA PLACA PISO, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	63	1,094,635	68,962,005
CONCRETO 2500 PSI PARA MUROS, ELAB. EN OBRA, ELEVACIONES H<3.0M (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	228	1,468,506	334,599,092
			SUBTOTAL CIMENTACION	**417,136,904**
SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRA CIVIL ALCANTARILLADO SANITARIO				1,296,105,395



			TOTAL, COSTO DIRECTO OBRA	1,296,105,395
			ADMINISTRACION 29%	375,870,565
			IMPREVISTOS 1%	12,961,054
			UTILIDAD 4%	51,844,216
			TOTAL, OBRA	1,736,781,229
SUMINISTRO DE TUBERIA				
TUBERIA PVC SANITARIA DE 51"	M	105	4,569,006	479,745,630
			SUBTOTAL SUMINISTRO	479,745,630
			TOTAL, COSTO DIRECTO SUMINISTRO DE TUBERIA	479,745,630
			TOTAL, COSTO DIRECTO SUMINISTRO	479,745,630
			ADMINISTRACION 29%	139,126,233
			TOTAL, SUMINISTRO	618,871,863
			TOTAL, COSTOS DIRECTOS	**1,775,851,025**
			AIU	579,802,067
			TOTAL (OBRA + SUMINISTRO)	**2,355,653,092**

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

Tabla 9- 19. Costos directos asociados a alternativa No 2.

Actividad	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario ($)	Vr. Total ($)
OBRA CIVIL ALCANTARILLADO SANITARIO				
PRELIMINARES				
LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO PARA REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	M	109	6,545	713,405
			SUBTOTAL PRELIMINARES	**713,405**
EXCAVACIONES				
EXCAVACIÓN MECÁNICA EN MATERIAL CONGLOMERADO SECO H ≤ 4.0M	M3	1,383	37,324	51,601,736
EXCAVACIÓN MECÁNICA EN MATERIAL CONGLOMERADO SECO 4.0 < H < 8.0M	M3	3,226	73,703	237,759,613
ENTIBADO TIPO DESLIZANTE PARALELO H MAX=7,0 M	M2	630	28,473	17,937,990
RETIRO DE MATERIAL SOBRANTE CON CARGUE MECANICO	M3	470	56,120	26,398,848
MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RCD EN ESCOMBRERA AUTORIZADA, 811 A 2000 TONELADAS	TN	706	26,801	18,910,786
MANEJO DE AGUAS EN EXCAVACIONES, (INCLUYE 2 MOTOBOMBAS 2", Y 2 MOTOBOMBAS 3")	MES	2	15,759,914	31,519,828
			SUBTOTAL EXCAVACIONES	**384,128,801**
RELLENOS				
RELLENO MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE LA EXCAVACIÓN (INCLUYE COMPACTACIÓN C/0.20M)	M3	4,138	27,257	112,790,829
			SUBTOTAL RELLENOS	**112,790,829**
DEMOLICIONES				
DEMOLICIÓN DE CONCRETO REFORZADO (INCLUYE RETIRO DE ESCOMBROS)	M3	20	281,924	5,561,881
			SUBTOTAL DEMOLICIONES	**5,561,881**
TUBERIA Y ACCESORIOS ALCANTARILLADO				
INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO PARA ALCANTARILLADOS CLASE IV D=1.30M (52") (INC. NIVELACION DE PRECISION Y TRANSPORTE)	M	105	855,702	89,848,710
			SUBTOTAL TUBERIA Y ACCESORIOS	**89,848,710**
CAMARAS DE INSPECCIÓN				



CONCRETO 2000 PSI PARA SOLADOS, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	1	861,956	899,882
CONCRETO IMPERMEAB. 4000 PSI PARA PLACA PISO, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	6	1,236,996	7,748,543
CONCRETO IMPERMEAB. 4000 PSI PARA MUROS, ELAB. EN OBRA, ELEVACIONES H<3.0M (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	43	1,764,499	75,442,919
CONCRETO IMPERMEAB. 4000PSI PARA PLACA ENTREPISO, ELAB. OBRA, ELEVACIONES H<3.0 (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	1	1,736,831	2,136,840
ACERO DE REFUERZO 60.000 PSI (INCLUYE AMARRE Y FIGURACIÓN)	KG	5,523	7,542	41,650,763
CINTA PVC O-22CM (INCLUYE INSTALACIÓN)	M	58	95,320	5,528,560
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TAPA MANHOLE DE SEGURIDAD, D=60CM, CON BISAGRA	UN	2	1,845,284	3,690,568
CAÑUELA POZO DE INSPECCIÓN PARA TUBERÍAS ENTRE 52" (CONCRETO F'C = 28MPA ELAB. EN OBRA)	UN	2	867,562	1,735,124
			SUBTOTAL CAMARAS DE INSPECCIÓN	**138,833,199**
CIMENTACION TUBERIA				
CONCRETO 2000 PSI PARA SOLADOS, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	16	861,956	13,575,807
CONCRETO IMPERMEAB. 4000 PSI PARA PLACA PISO, ELAB. EN OBRA (INC. FORMALETA 1/4 USOS Y COLOCACIÓN)	M3	63	1,236,996	77,930,748
ACERO DE REFUERZO 60.000 PSI (INCLUYE AMARRE Y FIGURACIÓN)	KG	23,447	7,542	176,833,503
CONCRETO 4000 PSI PARA ATRAQUE DE TUBERÍA (FORMALETA 1/3 USOS)	M3	150	1,736,831	260,785,175
			SUBTOTAL CIMENTACION TUBERIA	**529,125,233**
SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRA CIVIL ALCANTARILLADO SANITARIO				1,261,002,058
			TOTAL, COSTO DIRECTO OBRA	1,261,002,058
			ADMINISTRACION 29%	365,690,597
			IMPREVISTOS 1%	12,610,021
			UTILIDAD 4%	50,440,082
			TOTAL, OBRA	1,689,742,758
SUMINISTRO DE TUBERIA				
SUMINISTRO DE TUBERIA EN CONCRETO REFORZADO CLASE IV 52" LONGITUD 2.50 M INLCUYE RECUBRIMIENTO INTERNO EN HPDE DE 1.5 MM	M	105	6,172,000	648,060,000
			SUBTOTAL SUMINISTRO	648,060,000
			TOTAL, COSTO DIRECTO SUMINISTRO DE TUBERIA	648,060,000
			TOTAL, COSTO DIRECTO SUMINISTRO	648,060,000
			ADMINISTRACION 29%	187,937,400
			TOTAL, SUMINISTRO	835,997,400
			TOTAL, COSTOS DIRECTOS	**1,909,062,058**
			AIU	616,678,100
			TOTAL (OBRA + SUMINISTRO)	**2,525,740,158**

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

Tabla 9- 20. Resumen costos directos alternativas.

DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS	COSTO DIRECTO
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	**$ 2.355.653.092**
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	**$ 2.525.740.158**

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

9.5.1.2 Análisis de costos de operación y mantenimiento

Actualmente, no existe una aproximación real a los costos asociados a los tipos de obras de interceptores sanitarios; sin embargo, a continuación, se desarrollará una metodología que permita simular, para cada tipo, el comportamiento de sus diferentes costos asociados (inversión inicial, operación y mantenimiento).

Por operación se entiende las acciones que garantizan el funcionamiento adecuado del sistema hidráulico y del proceso de la misma. La operación de tramo contempla tanto el trabajo rutinario con frecuencia diaria, semanal o mensual, como el trabajo ocasional.

El trabajo rutinario consiste en la operación o limpieza que determinan el funcionamiento hidráulico de interceptor, en los muestreos y observaciones al afluente y efluente necesarios para la evaluación del funcionamiento del sistema y además en la limpieza y mantenimiento de las partes que componen el tramo. El trabajo ocasional se refiere a la evaluación del comportamiento del interceptor y de otros aspectos como la generación de arenas, resultante de los procesos.

Es importante tener claro que los costos de operación y mantenimiento fueron determinados acorde a la necesidad de cada alternativa, buscando el buen funcionamiento, además fueron elaborados tomando como base proyectos similares con procesos similares, en los que ha habido la inclusión de estructuras similares,

A continuación, se exponen los costos básicos, en los que se debe incurrir para lograr la correcta operación y mantenimiento de las estructuras que componen cada alternativa. Para el cálculo de los costos de operación se ha tenido en cuenta el costo de personal, mantenimiento preventivo y uso de equipos.

Tabla 9- 21. Costos de operación y mantenimiento anual Alternativas

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL					
ALTERNATIVA I					
MANO DE OBRA DIRECTA -OPERARIOS LINEA DE CONDUCCIÓN					
TRABAJADOR	JORNAL	F PREST	V. PRESTAC	V. TOTAL	V ANUAL
Operador	55000	80%	$ 36,000	$ 91,000	$ 33,215,000

Ayudante	45000	80%	$ 40,000	$ 85,000	$ 31,025,000
					$ 64,240,000
			Dedicación	10%	$ 6,424,000
COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL					
Visita técnica		Jornal	FP	Total	
Técnico	5	$ 200,000	160000	$ 1,800,000	$ 1,800,000
Ayudante	5	$ 50,000	40000	$ 450,000	$ 450,000
					$ 2,250,000
Materiales	7,066,959				
Herramienta y Equipo	$ 706,696				
Transportes	$ 1,413,392				
			Valor visita		$ 17,861,047
			1 INTERVENCION AÑO		**$ 17,861,047**
ALTERNATIVA II					
MANO DE OBRA DIRECTA -OPERARIOS LINEA DE CONDUCCIÓN					
TRABAJADOR	JORNAL	F PREST	V. PRESTAC	V. TOTAL	V ANUAL
Operador	55000	80%	$ 36,000	$ 91,000	$ 33,215,000
Ayudante	45000	80%	$ 40,000	$ 85,000	$ 31,025,000
					$ 64,240,000
			Dedicación	10%	$ 6,424,000
COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL					
Visita técnica		Jornal	FP	Total	
Técnico	5	$ 200,000	160000	$ 1,800,000	$ 1,800,000
Ayudante	5	$ 50,000	40000	$ 450,000	$ 450,000
					$ 2,250,000
Materiales	7,577,220				
Herramienta y Equipo	$ 757,722				
Transportes	$ 1,515,444				
			Valor visita		$ 18,524,387
			1 INTERVENCION AÑO		**$ 18,524,387**

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

9.5.1.3 Evaluación financiera, ciclo de costo de vida

A continuación, se visualiza, en cada sistema el costo total, traído a valor presente para efecto de una correcta comparación. Se definió el uso del ciclo de costo de vida como herramienta de evaluación económica, la cual permitió analizar y definir rentabilidad a lo largo del tiempo sobre las inversiones y costos de las alternativas. Para la comparación, se usó el valor presente, con un ciclo de vida de 25 años, con una tasa de descuento del 15%. Para el análisis de ciclo de vida se consideraron los costos inversión, los costos de mantenimiento, valor residual y los costos periódicos o de reemplazo. El costo de inversión, se usó para estimar un periodo de recuperación simple. Para comparar la conveniencia de las diferentes alternativas utilizaremos la técnica del valor presente neto en la cual todos los gastos futuros se convierten a costo en valor presente al comienzo del periodo de evaluación. Para ello se usó una tasa de descuento representativa del valor del dinero en el período de evaluación; es decir, representativa de la capacidad del dinero de ganar interés. Este método se prefiere cuando la vida útil de las diferentes alternativas de diseño es igual.

A continuación, se presenta las tablas de evolución económica y financiera para cada alternativa.

Tabla 9- 22. Tabla de evaluación económica alternativas

Tabla de evaluación económica							
Titulo del proyecto	Analisis de alternativas para ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y ADECUACIÓN DEL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1 DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO			Alternativa No 1 Descripción: Longitud = 105 metros		Alternativa No 2 Descripción: Longitud = 105 metros	
Tasa de descuento	15%			Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC 51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.		Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzados Clase IV + Obras de cimentación y atraque de tubería.	
Ciclo de vida	25	Periodo	Años				
Fecha	nov-25			Costo estimado	Valor presente	Costo estimado	Valor presente
Costos Iniciales	**Costos iniciales**						
	Costo implementación	Alternativa No 1		$ 2,355,653,092	$ 2,355,653,092		
	Costo implementación	Alternativa No 2				$ 2,525,740,158	$ 2,525,740,158
	TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES				$ 2,355,653,092		$ 2,525,740,158
	DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE						
Reemplazo / Vida residual	**Reemplazo / Vida residual**	Año	Factor valor presente				
	Remplazo de algun proceso	15	0.12	$ 2,355,653,092.30	289,496,774.10	2,525,740,158.00	310,399,536.48
	Remplazo de algun proceso	10	0.25	$			
	Reparaciones en pozos, tuberias cada 5 años	5	0.50	$ 11,778,265.46	$ 5,855,879.57	$ 12,628,700.79	$ 6,278,696.23
	Reparaciones en pozos, tuberias cada 5 años	10	0.25	$ 11,778,265.46	$ 2,911,407.09	$ 12,628,700.79	$ 3,121,621.69
	Reparaciones en pozos, tuberias cada 5 años	15	0.12	$ 11,778,265.46	$ 1,447,483.87	$ 12,628,700.79	$ 1,551,997.68
	Costo mantenimiento alternativa # 1	1	0.87	$ 17,861,047.06	$ 15,531,345.27		
	Costo mantenimiento alternativa # 2	1	0.87			$ 18,524,386.62	$ 16,108,162.27
	Valor residual						
	Valor caso alternativa depreciación 15%	25	0.03	$ 353,347,963.85	$ -10,733,876.25	$ 378,861,023.70	$ -11,508,902.73
	TOTAL COSTOS REEMPLAZO / VIDA RESIDUAL			2,762,196,899.59	304,509,013.64	2,961,011,670.69	325,951,111.63
Costos					Alternativa No 1		Alternativa No 2
	Costos Ciclo de Vida (valor presente)				$ 2,660,162,105.94		$ 2,851,691,269.63

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

Teniendo en cuenta el análisis del costo del ciclo de vida, la alternativa con mejor desempeño económico es la Alternativa No. 1 (tubería flexible PVC de 51"), la cual presenta un valor presente total de $2.660 millones, en comparación con los $2.851 mil millones correspondientes a la alternativa con tubería de concreto reforzado Clase IV. La diferencia económica a favor del sistema en PVC es de aproximadamente $191,5 millones, lo que la convierte, desde el aspecto económico, en la opción con la mejor calificación cuantitativa durante la aplicación de la matriz de evaluación. Ver siguiente capítulo.

10. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1.

10.1 MATRICES MULTI- CRITERIO

Estas matrices multicriterio permiten integrar de manera sistemática diversos factores técnicos, económicos, sociales y ambientales, lo que facilita una toma de decisiones más equilibrada y respaldada en proyectos de infraestructura hidráulica. Su implementación garantiza que las soluciones adoptadas respondan a principios de sostenibilidad, eficiencia y pertinencia local, promoviendo así un desarrollo urbano ordenado y el acceso equitativo al recurso hídrico. En este contexto, se plantea una metodología de selección mediante matrices multicriterio, en la cual se consideran los diferentes aspectos mencionados, valorando la relevancia relativa de los criterios más significativos dentro de cada componente del sistema de alcantarillado proyectado. A continuación, se presentan los criterios definidos dentro de cada categoría para la evaluación de las alternativas correspondientes a los distintos componentes del interceptor.

Tabla 10- 1. Criterios de sostenibilidad por aspecto.

ASPECTO	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD	
ECONOMICO	Costos directos (construcción, suministro e instalación)	
	Costos energéticos	
	Costos operacionales de mano de obra	
	Costos de mantenimiento de equipos	
	Costos ambientales	
	Costos indirectos (compra de predios)	
TÉCNICO	Capacidad técnica para ejecución y operación	
	Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos	
	Disponibilidad de mano de obra	
	Tiempo de ejecución del proyecto	
AMBIENTAL	Demanda de recursos naturales	Área de protección ambiental
		Presencia y oferta de fauna en la zona
		Zonificación ambiental
		Uso y cobertura vegetal actual
	Generación de contaminantes	
GESTIÓN R	Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones	
	Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos	
	Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad	
SOCIAL	Generación de empleo	
	Incremento de costos de vida en el municipio	
	Aumento de la cobertura en la prestación de servicio	
	Afectación en la malla vial y peatonal	
	Incremento en tarifas de servicio	

	Dinamismo en la economía del municipio

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

10.1.1 Aspecto Económico

La evaluación económica se basa en estimaciones presupuestales, soportadas en prediseños de estructuras hidráulicas acorde a valores de referencia comerciales, estimaciones de costos de operación y mantenimiento, así como proyecciones económicas de impacto a largo plazo:

- → Costos directos: Se calculan con base en prediseños de las obras con base en estimaciones económicas acorde al mercado
- → Costos energéticos: Los costos energéticos, en su mayoría, están asociados al proceso constructivo de cada una de las alternativas
- → Costos operacionales de mano de obra: Se estiman con base en la cantidad y perfil del personal requerido para operación continua del sistema.
- → Costos de mantenimiento de equipos: Se proyectan de acuerdo con la vida útil de los componentes, frecuencia de mantenimiento y costos de repuestos.
- → Costos ambientales: Se consideran como parte del plan de manejo ambiental (PMA), incluyendo mitigación de impactos, compensaciones y monitoreo ambiental.
- → Costos indirectos: Incluyen estimaciones de adquisición de predios, indemnizaciones, y trámites legales relacionados con el uso del suelo.

10.1.2 Aspectos Técnicos

Este aspecto se evalúa mediante un análisis de factibilidad técnica y operativa basado en la experiencia del equipo técnico, condiciones del terreno y recursos disponibles:

- → Capacidad técnica para ejecución y operación: Se determina por medio de la disponibilidad de personal capacitado.
- → Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos: Evaluada según la cercanía de fuentes de suministro y cadenas logísticas existentes.
- → Disponibilidad de mano de obra: Se mide con base en estudios socioeconómicos locales y análisis del mercado laboral.
- → Tiempo de ejecución del proyecto: Calculado según la complejidad técnica de cada alternativa y el cronograma de actividades establecido.

10.1.3 Aspectos Ambientales

Se determina mediante estudios de impacto ambiental, líneas base y evaluaciones cualitativas y cuantitativas del entorno natural:

→ Demanda de recursos naturales: Se mide con base en el volumen de agua requerido, uso de materiales de construcción (arena, grava, etc.) y consumo energético. Para evaluar el componente ambiental y el criterio de sostenibilidad asociado a la demanda de recursos naturales en las alternativas planteadas, se propone el desarrollo de una metodología de impactos basada en la localización de cada alternativa y en los elementos ambientales presentes en el área de estudio.

Para este análisis, se establecerá un conjunto de observaciones espaciales tomando como referencia la información ambiental disponible, presentada en formato cartográfico, que incluye:

- Áreas de protección ambiental
- Presencia y oferta de fauna en la zona
- Zonificación ambiental
- Uso y cobertura vegetal actual

→ Generación de contaminantes: Evaluada por emisiones atmosféricas, vertimientos, residuos sólidos y ruido generados durante la construcción y operación.

10.1.4 Aspecto de Gestión del Riesgo

Este aspecto se analiza con base en mapas de amenaza, estudios geotécnicos, y herramientas de análisis multiamenaza:

→ Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones: Determinada a partir de estudios hidrológicos e históricos de eventos.

→ Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos: Evaluada mediante análisis de pendientes, tipos de suelo y condiciones climáticas.

→ Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad: Valorada con base en la zonificación sísmica del municipio y el diseño estructural de la infraestructura.

10.1.5 Aspectos Sociales

Los criterios sociales se analizan a través de estudios de impacto socioeconómico, participación ciudadana y datos demográficos:

- → Generación de empleo: Estimada por el número de empleos directos e indirectos durante construcción y operación.
- → Incremento de costos de vida: Se analiza mediante expectativas económicas locales y por percepción comunitaria.
- → Aumento de cobertura del servicio: Se mide como en estimaciones de porcentaje de población beneficiada respecto a la población total.
- → Afectación en la malla vial y peatonal: Evaluada según el trazado del proyecto y su interferencia con la infraestructura existente.
- → Incremento en tarifas del servicio: Estimado con base en los costos proyectados y el modelo tarifario vigente.
- → Dinamismo en la economía del municipio: Analizado a través de proyecciones económicas y reactivación de sectores relacionados.

La matriz proyectada es usada para realizar la evaluación de las alternativas de los diferentes componentes acorde a una valoración cuantitativa y cualitativa. A continuación, presentamos la tabla de calificación de criterios de sostenibilidad a aplicar en el presente proyecto, ver siguientes tablas

10.1.6 Calificación de criterios de sostenibilidad

Tabla 10- 2. Calificación criterios de sostenibilidad.

ASPECTO	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD		CALIFICACIÓN CUANTITATIVA		
			1	2	3
			CALIFICACIÓN CUALITATIVA		
			MALO	REGULAR	EXCELENTE
ECONOMICO	Costos directos (construcción, suministro e instalación)		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
	Costos energéticos		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
	Costos operacionales de mano de obra		Calificada y Especializada	No calificada y Especializada	No Calificada
	Costos de mantenimiento de equipos		Equipos Especiales	N/A	Herramientas Básicas
	Costos ambientales		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
	Costos indirectos (compra de predios)		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
TÉCNICO	Capacidad técnica para ejecución y operación		Alta capacidad para operar	Capacidad media para operar	Fácil de Operar
	Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos		No Cuenta	N/A	Cuenta
	Disponibilidad de mano de obra		No Cuenta	N/A	Cuenta
	Tiempo de ejecución del proyecto		Largo	Mediano	Corto
AMBIENTAL	Demanda de recursos naturales	Área de protección ambiental	No Cuenta	N/A	Cuenta
		Presencia y oferta de fauna en la zona	No Cuenta	N/A	Cuenta
		Zonificación ambiental	No Cuenta	N/A	Cuenta
		Uso y cobertura vegetal actual	No Cuenta	N/A	Cuenta
	Generación de contaminantes		Alta	Media	Baja
GESTIÓN R	Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones		Alta	Media	Baja
	Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos		Alta	Media	Baja
	Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad		Alta	Media	Baja
SOCIAL	Generación de empleo		Baja	Media	Alta

	Incremento de costos de vida en el municipio	Empeora	Sigue igual	Mejora
	Aumento de la cobertura en la prestación de servicio	Bajo	Medio	Alto
	Afectación en la malla vial y peatonal	Alta	Media	Baja
	Incremento en tarifas de servicio	Alto	Medio	Bajo
	Dinamismo en la economía del municipio	Bajo	Medio	Alto

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

Para expresar el peso de cada uno de los componentes y/o aspectos considerados se ha usado la siguiente ecuación lineal:

$$I \rightarrow 0.8E + 1.2T + 1.6A + 1.6R + 0.6S$$

10.1.7 Valoración Cuantitativa y Cualitativa

El objetivo de la anterior valoración es establecer los indicadores capaces de medir los criterios de sostenibilidad. Para una valoración cuantitativa y cualitativa se utiliza la metodología de matrices de selección multicriterio en donde cada casilla en la matriz relaciona la alternativa valorada con un criterio de sostenibilidad, lo que permitirá determinar la importancia de la alternativa sobre cada criterio.

La importancia del criterio de sostenibilidad mide cualitativa y cuantitativamente la alternativa, en función del grado de incidencia y la caracterización del efecto. Es entonces la escala y calificación de los criterios de sostenibilidad como se define a continuación:

En la valoración cuantitativa por cada criterio de sostenibilidad se asignará un valor entre 1 a 3, donde:

- → 1 – Aspecto evaluado hace menos viable su construcción.
- → 2 – Aspecto evaluado permite la selección de la alternativa bajo algunas restricciones y/o recomendaciones.
- → 3 – Aspecto evaluado óptimo.

Y en la valoración cualitativa por cada criterio de sostenibilidad se asignará una descripción de malo o aceptable o excelente.



Tabla 10- 3. Coeficientes de ecuación.

ASPECTO	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD		VALOR ASPECTO/TOTAL	VALOR MÁXIMO CRITERIO	VALOR MÁXIMO ASPECTO	COEFICIENTE	%ASPECTO
ECONOMICO	Costos directos (construcción, suministro e instalación)		1.0	3.0	18.0	0.80	20%
	Costos energéticos			3.0			
	Costos operacionales de mano de obra			3.0			
	Costos de mantenimiento de equipos			3.0			
	Costos ambientales			3.0			
	Costos indirectos (compra de predios)			3.0			
TÉCNICO	Capacidad técnica para ejecución y operación		1.0	3.0	12.0	1.20	20%
	Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos			3.0			
	Disponibilidad de mano de obra			3.0			
	Tiempo de ejecución del proyecto			3.0			
AMBIENTAL	Demanda de recursos naturales	Área de protección ambiental	1.0	3.0	15.0	1.60	20%
		Presencia y oferta de fauna en la zona		3.0			
		Zonificación ambiental		3.0			
		Uso y cobertura vegetal actual		3.0			
	Generación de contaminantes			3.0			
GESTIÓN R	Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones		1.0	3.0	9.0	1.60	20%
	Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos			3.0			
	Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad			3.0			
SOCIAL	Generación de empleo		1.0	3.0	18.0	0.60	20%
	Incremento de costos de vida en el municipio			3.0			
	Aumento de la cobertura en la prestación de servicio			3.0			
	Afectación en la malla vial y peatonal			3.0			
	Incremento en tarifas de servicio			3.0			
	Dinamismo en la economía del municipio			3.0			

TOTALES	**5.0**	**72.0**	**72.0**	**5.80**	**100%**

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

De esta manera con la ecuación proyectada se puede analizar numéricamente la escala de valores definida previamente acorde a la importancia de la alternativa, obteniendo un valor total máximo de **72** puntos y de manera cualitativa de la siguiente manera:

- → **MALA – Entre 0 y 25%, es decir, 0 a 18 puntos.**
- → **ACEPTABLE – Entre 25 y 75%, es decir, 18 a 54 puntos.**
- → **EXCELENTE – Entre 75 y 100%, es decir, 54 a 72 puntos**

10.2 APLICACIÓN DE MATRICES MULTI- CRITERIO

Con base en lo expuesto anteriormente, correspondiente a Matrices Multicriterio, se presentó el marco teórico que integra los distintos criterios de evaluación. Asimismo, se incluyeron las tablas de calificación de criterios de sostenibilidad, junto con el coeficiente de ecuación, el cual permite establecer los valores máximos aceptables para la evaluación y selección de cada alternativa. Para mayor detalle, a continuación, presentamos el desarrollo de la aplicación de matrices multicriterio para la selección de la alternativa y proceder a fase de ingeniera de detalle.

10.2.1 Aspecto económico

La evaluación económica se basa en estimaciones presupuestales, soportadas en prediseños de estructuras hidráulicas acorde a valores de referencia comerciales, estimaciones de costos de operación y mantenimiento, así como proyecciones económicas de impacto a largo plazo.

10.2.1.1 Costos directos

Se calculan con base en prediseños de las obras con base en estimaciones económicas acorde al mercado.

De esta manera, la calificación del componente económico y criterio costos de materialización del proyecto de las alternativas planteadas se establece de la siguiente manera

Tabla 10- 4. Costos directos

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.1.2 Costos energéticos

Los costos energéticos, en su mayoría, están asociados al proceso constructivo de ambas alternativas. La ponderación asignada es media, dado que el sistema de transporte de agua no presenta variaciones entre ellas y las labores constructivas necesarias para abatir el nivel freático y manejar las aguas son exactamente las mismas.
Por esta razón, la calificación del componente económico relativo al consumo de energía se determina de la siguiente manera:

Tabla 10- 5. Costos energéticos

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.1.3 Costos operacionales de mano de obra

La estimación se realiza con base en la cantidad y el perfil del personal requerido para la operación del sistema. En ambas alternativas, los procedimientos operativos son equivalentes; por tal razón, la calificación asignada también es media.

Tabla 10- 6. Costos operacionales de mano de obra

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.1.4 Costos de mantenimientos de equipo

Los costos de mantenimiento de equipos requeridos tanto para la materialización, operación como mantenimiento del sistema de redes de alcantarillado para las dos alternativas implican diferencia entre una y la otra, por la misma naturaleza del proyecto y con el requerimiento necesario de equipos no especiales para el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento de la primera alternativa, Para la primera alternativa se necesitan equipo menos especializados por ser una tubería flexible mientras que para la tubería rígida es más exigente por la naturaleza materia prima. Por esta razón la calificación en el componente de costos de mantenimiento de equipo, se establece de la siguiente manera:

Tabla 10- 7. Costos de mantenimiento de equipos.

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025.

10.2.1.5 Costos ambientales

Se consideran como parte del plan de manejo ambiental (PMA), incluyendo mitigación de impactos, compensaciones y monitoreo ambiental. Sin embargo, los costos ambientales en este caso pueden inferir en una diferencia entre las alternativas de acuerdo con el número de permisos ambientales por tramitar. Por esta razón la calificación en el componente económico respecto a los costos ambientales se establece de la siguiente manera:

Tabla 10- 8. Costos ambientales

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.1.6 Costos indirectos

Incluyen estimaciones de adquisición de predios, indemnizaciones, y trámites legales relacionados con el uso del suelo. Para las dos alternativas se considera el mismo peso. Por esta razón la calificación en el componente económico respecto a los costos indirectos se establece de la siguiente manera:

Tabla 10- 9. Costos indirectos

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.2 Aspectos Técnicos

Este aspecto se evalúa mediante un análisis de factibilidad técnica y operativa basado en la experiencia del equipo técnico, condiciones del terreno y recursos disponibles:

10.2.2.1 Capacidad técnica para ejecución y operación

Se determina por medio de la disponibilidad de personal capacitado. Las dos alternativas tienen nivel de complejidad similar por las condiciones de excavaciones profundas, sin embargo, el nivel de complejidad para los rellenos de la tubería flexibles es más exigente, toda vez de su condición flexible mientras que la

tubería de concreto tiene mayor resistencia. Por esta razón la calificación en el componente económico respecto capacidad técnica para ejecución y operación se establece de la siguiente manera

Tabla 10- 10. Capacidad técnica para ejecución y operación

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería..	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.2.2 Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos

La disponibilidad de los recursos se evalúa según la cercanía de las fuentes de suministro y las cadenas logísticas existentes. En este sentido, para las dos alternativas analizadas, la disponibilidad de recursos, materiales y repuestos es similar. Sin embargo, la alternativa de tubería flexible podría presentar mayores dificultades en su consecución, dado que esta tubería debe fabricarse bajo pedido y el relleno superior requiere gravilla con un tamaño máximo de D = 1/2".

De esta manera, la calificación del componente técnico, respecto a la capacidad de la entidad para la ejecución e implementación del proyecto y al criterio de disponibilidad de recursos, materiales y mano de obra, es la siguiente:

Tabla 10- 11.Disponibilidad de recursos , materiales y repuestos

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.2.3 Disponibilidad de mano de obra:

Bajo este enfoque, y una vez evaluadas las condiciones laborales de la región, se observa que para las dos alternativas analizadas el comportamiento es similar. Es decir, existe disponibilidad suficiente de mano de obra calificada para las actividades propias del proyecto, sin que se requiera recurrir de manera significativa a personal externo o especializado difícil de conseguir.

De esta manera, la calificación del componente técnico respecto al criterio de disponibilidad de mano de obra, dentro de la matriz multicriterio definida por la normativa vigente, es la siguiente:

Tabla 10- 12. Disponibilidad de mano de obra

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.2.4 Tiempo de ejecución del proyecto:

El tiempo de ejecución del proyecto para las dos alternativas es muy similar y se evalúa con base en el cálculo derivado de la complejidad técnica de cada solución y del cronograma de actividades establecido. Aunque ambas alternativas presentan diferentes niveles de complejidad constructiva, la alternativa dos podría resultar menos eficiente en cuanto a tiempos, dado que la tubería de concreto tiene una longitud de 2.5 metros mientas que la de PVC la longitud es de seis metros, lo que simplifica las actividades de obra y reduce posibles demoras asociadas a cambios de especificaciones o a la disponibilidad de materiales diferenciados.

De esta manera, la calificación del componente técnico respecto al criterio de tiempo de ejecución del proyecto, dentro de la matriz multicriterio definida por la normativa vigente, es la siguiente

Tabla 10- 13. Tiempo de ejecución del proyecto

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	1

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.3 Aspectos Ambientales

10.2.3.1 Demanda de recurso naturales

Para evaluar el componente ambiental y el criterio de sostenibilidad asociado a la demanda de recursos naturales en las alternativas planteadas, se propone el desarrollo de una metodología de impactos basada en la localización de cada alternativa y en los elementos ambientales presentes en el área de estudio.

Para este análisis, se establecerá un conjunto de observaciones espaciales tomando como referencia la información ambiental disponible, presentada en formato cartográfico, que incluye:

→ Áreas de protección ambiental
→ Presencia y oferta de fauna en la zona
→ Zonificación ambiental
→ Uso y cobertura vegetal actual

Con esta base cartográfica, se procede a superponer la información correspondiente a las alternativas de localización de la infraestructura a evaluar, con el fin de identificar aspectos como:

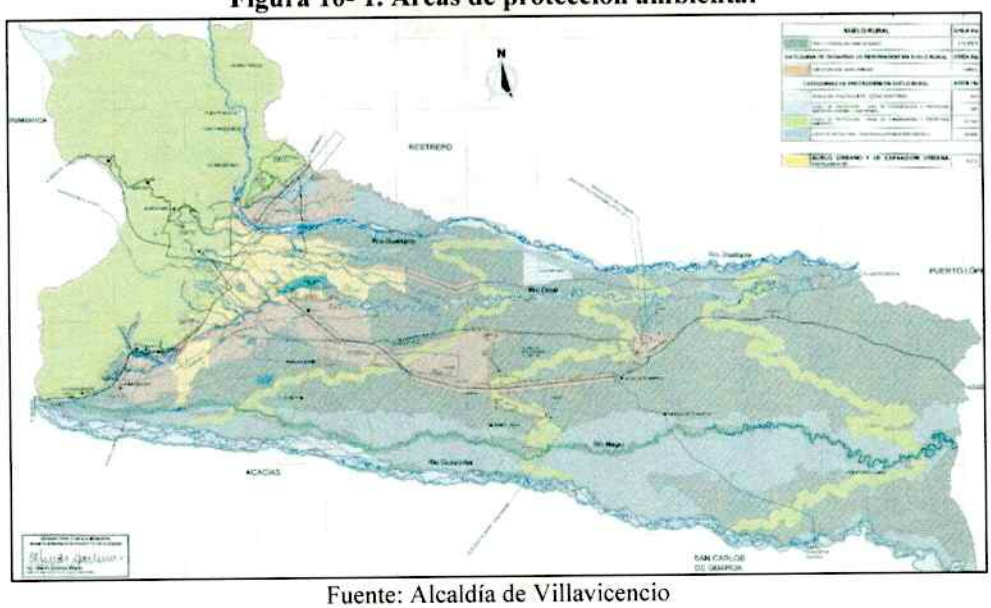
→ Afectación a ecosistemas estratégicos
→ Susceptibilidad y fragilidad ambiental
→ Conflictos de uso del suelo

A continuación, se presentan los hallazgos identificados desde el punto de vista ambiental para cada una de las alternativas, con base en los aspectos espaciales previamente mencionados.

10.2.3.1.1 Áreas de protección ambiental

Para este análisis fueron tomados los polígonos que delimitan las áreas de protección ambiental de orden, local, regional y nacional, con el fin de determinar el grado de afectación que tiene cada una de las alternativas propuestas. A continuación, se visualiza el área que define el trazado de cada una de las alternativas establecidas (ver recuadro de color rojo).

Figura 10- 1. Áreas de protección ambiental



Fuente: Alcaldía de Villavicencio

Como se puede observar en las anteriores imágenes, las alternativas proyectadas no afectan ni interfieren con áreas protegidas ambientalmente. Por estas razones, la calificación del componente ambiental en cuanto a áreas de protección ambiental se define de la siguiente manera.

Tabla 10- 14. Áreas de protección ambiental

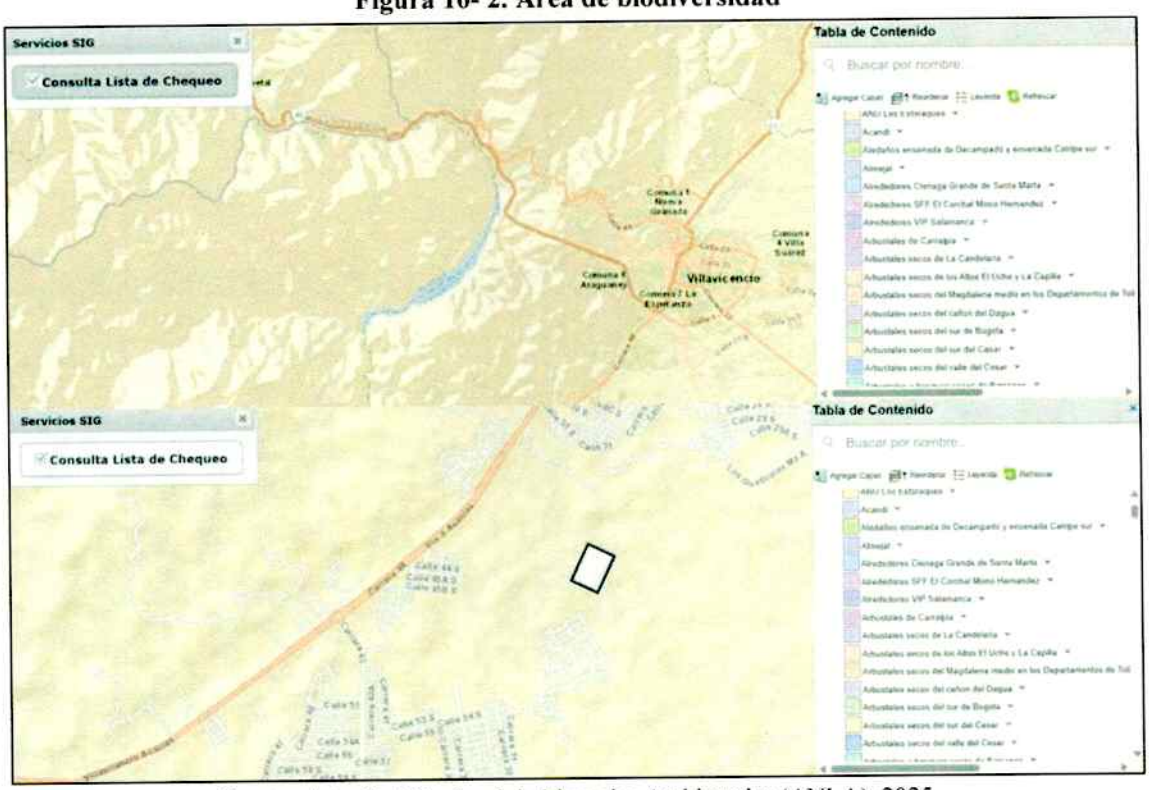
ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.3.1.2 Presencia y oferta de fauna en la zona

Para este caso, fue considerada la base cartográfica de conservación de biodiversidad que presenta el Geovisor de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA. El área de influencia se presenta en la siguiente figura:

Figura 10- 2. Área de biodiversidad



Fuente: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), 2025

Como se puede observar, el área de influencia del proyecto no afecta la biodiversidad de la zona. Por esta razón, la calificación en el componente ambiental en cuanto a la fauna presente en la zona se establece de la siguiente manera

Tabla 10- 15. Presencia y oferta de fauna en la zona

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1	

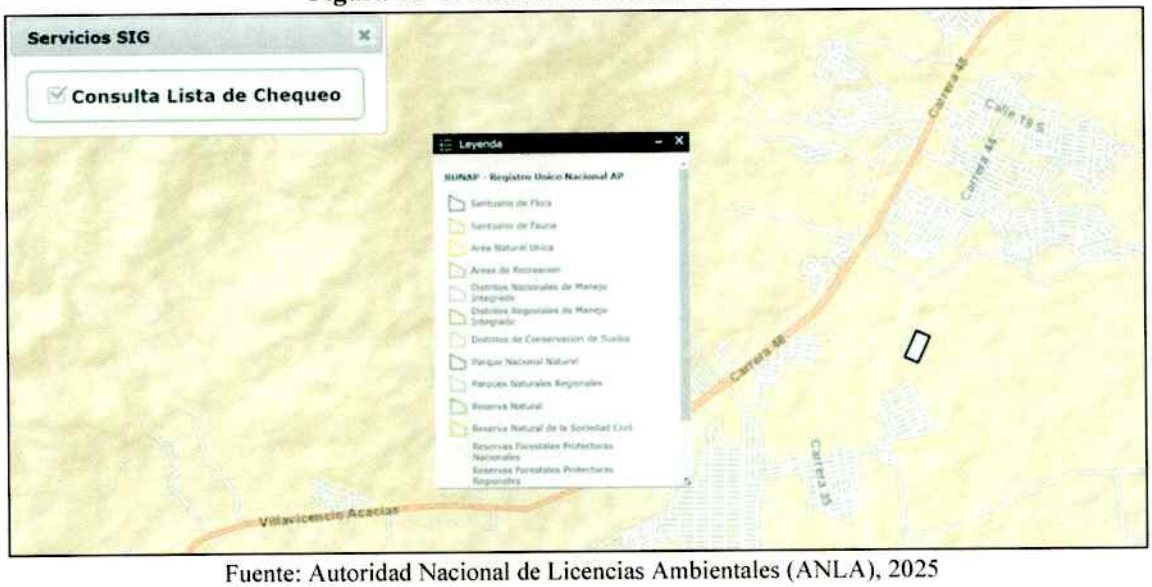
con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.3.1.3 Zonificación ambiental

Para este análisis se consultó la plataforma del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), donde se define la zonificación ambiental de acuerdo con los usos y manejos proyectados para las áreas de reserva. A continuación, se visualiza el área de influencia del proyecto

Figura 10- 3. Área de Zonificación ambiental



Fuente: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), 2025

Como se puede observar en la figura anterior, el área de influencia del proyecto no interfiere con áreas para protección por lo anterior no existen restricciones frente al uso del suelo para el desarrollo de las alternativas planteadas. De esta manera la calificación para las dos alternativas por zonificación ambiental se define de la siguiente manera:

Tabla 10- 16.Afectación por zonificación ambiental

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

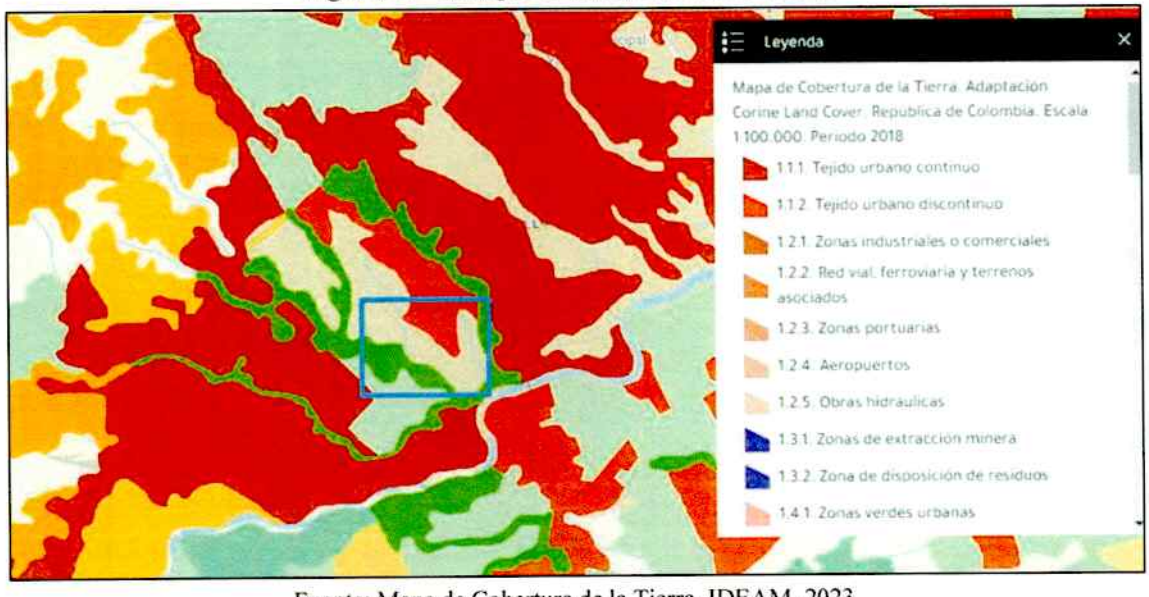
10.2.3.1.4 Uso y cobertura vegetal actual

Para realizar este análisis se consideraron las coberturas de suelo actuales, ya que estas permiten determinar el impacto potencial que podrían generar las actividades de descapote en la zona. Dicho impacto será menor cuando las coberturas predominantes correspondan a pastizales, y mayor cuando estas se ubiquen en áreas donde predominan arbustos o plantaciones forestales de tipo protector.

Asimismo, en la valoración se incluirán aspectos relacionados con la infraestructura existente y el grado de intervención antrópica presente en cada alternativa.

Se tomó como referencia el Mapa de Cobertura de la Tierra elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el año 2018, a partir del cual se identificó el área de incidencia directa compartida por las dos alternativas planteadas, como se muestra a continuación:

Figura 10- 4.Mapa de uso y cobertura actual



Fuente: Mapa de Cobertura de la Tierra, IDEAM, 2023

Por esta razón, la calificación en el componente ambiental en cuanto a la fauna presente en la zona se establece de la siguiente manera.

Tabla 10- 17. Uso y cobertura vegetal

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con	3

recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.3.2 Generación de contaminantes

En este caso, dentro de la evaluación del criterio de sostenibilidad relacionado con las emisiones atmosféricas, vertimientos, residuos sólidos y ruido generados durante la construcción y operación, la instancia en que es posible diferenciar las alternativas propuestas corresponde a la fase de materialización del proyecto.

En este sentido, la alternativa que requiera un mayor número de recursos durante su construcción será aquella que implique un manejo más significativo de materiales peligrosos.

Dado que la alternativa 1 requiere una mayor cantidad de materiales para su ejecución y, además, el PVC es un material cuya degradación toma un largo período de tiempo, generando por tanto un impacto ambiental más elevado, se establece la siguiente clasificación cuantitativa para cada alternativa:

Tabla 10- 18. Generación de contaminantes

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	1
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.4 Aspecto de Gestión del Riesgo

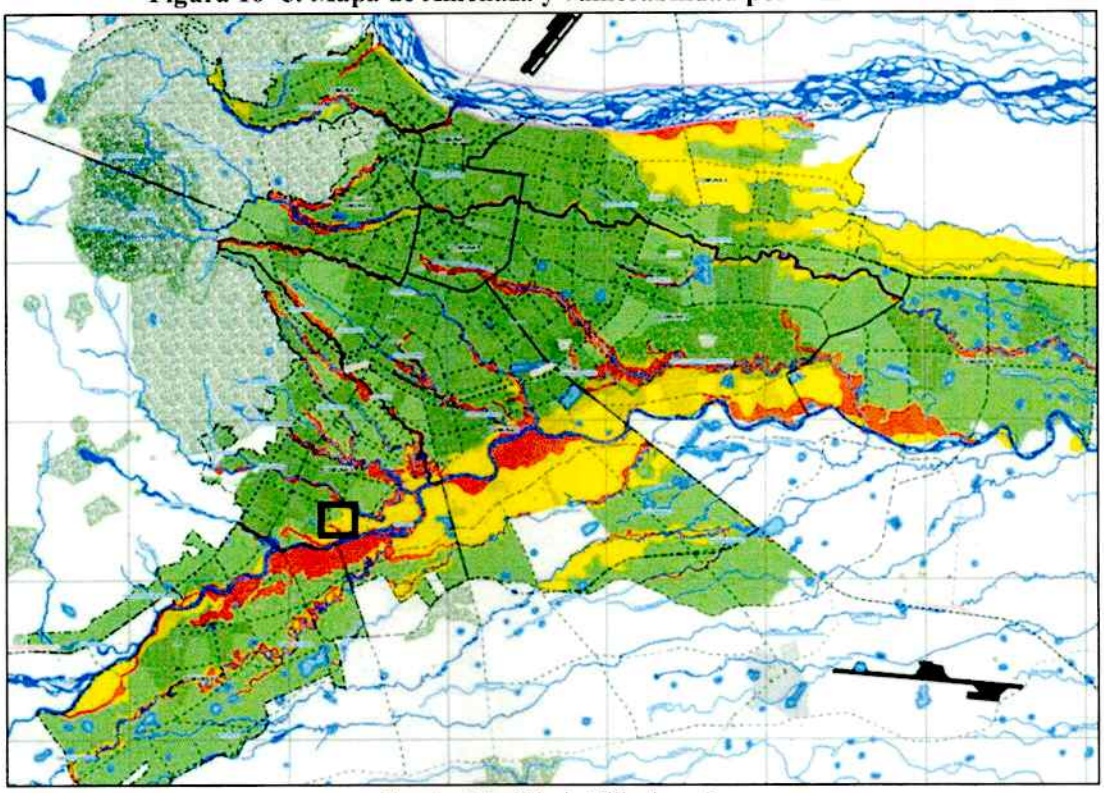
Este aspecto se analiza con base en mapas de amenaza, estudios geotécnicos, y herramientas de análisis multiamenaza:

10.2.4.1 Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones

Determinada a partir de estudios hidrológicos e históricos de eventos.

Para la identificación de este riesgo se consultó la base de datos del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), específicamente el mapa "Zonas Susceptibles de Inundación 500k – 2010", sin obtener resultados de información aplicable al área de estudio. No obstante, al revisar el mapa del POT 2015 "Zonificación por amenazas naturales – Inundación en suelo urbano", se determinó que en el área de incidencia del proyecto existen zonas con riesgo medio y alto de inundación.

Figura 10- 5. Mapa de Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones



Fuente: Alcaldía de Villavicencio

Considerando lo anterior, y dado que ambas alternativas se encuentran bajo condiciones de amenaza similares, este riesgo se clasifica como mínimo para las dos alternativas, concluyéndose así en la siguiente calificación.

Tabla 10- 19. Vulnerabilidad por inundaciones

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

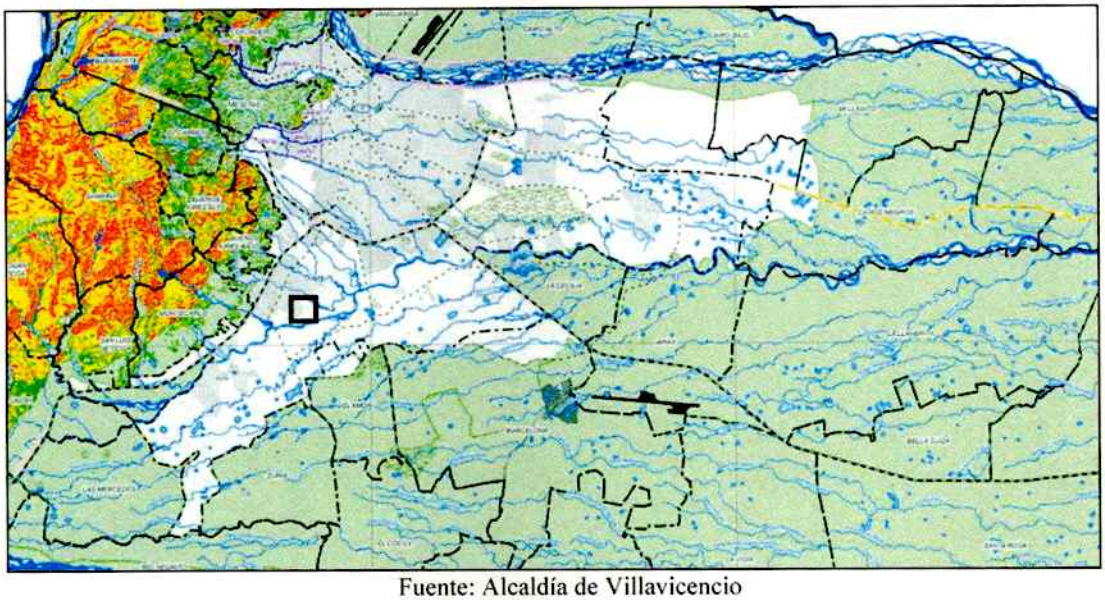
Fuente: Elaboración propia consultoría 2025.

10.2.4.2 Amenaza y vulnerabilidad por remociones en masa

Para la identificación de este riesgo se consultó la base de datos del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), específicamente el mapa "Zonas Susceptibles de Inundación 500k – 2010", sin obtener resultados de información aplicable al área de estudio. No obstante, al revisar el mapa del POT 2015 "Zonificación por amenazas remoción de masas en suelo urbano", se determinó que

en el área de incidencia del proyecto existen zonas con riesgo bajo por remoción.

Figura 10- 6. Mapa de Amenaza y vulnerabilidad por remociones en masa



Fuente: Alcaldía de Villavicencio

Considerando lo anterior, y dado que ambas alternativas se encuentran bajo condiciones de amenaza similares, este riesgo se clasifica como mínimo para las dos alternativas, concluyéndose así en la siguiente calificación.

Tabla 10- 20. Amenaza y vulnerabilidad por remociones en masa

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.4.3 Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos

Al revisar el mapa del POT 2015 "Zonificación por amenazas por deslizamiento en suelo urbano" evaluada mediante análisis de pendientes, tipos de suelo y condiciones climáticas, se determinó que en el área de incidencia del proyecto existen zonas con riesgo bajo por deslizamientos Considerando lo anterior, y dado que ambas alternativas se encuentran bajo condiciones de amenaza similares, este riesgo se clasifica como mínimo para las dos alternativas, concluyéndose así en la siguiente calificación.

Tabla 10- 21. Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN

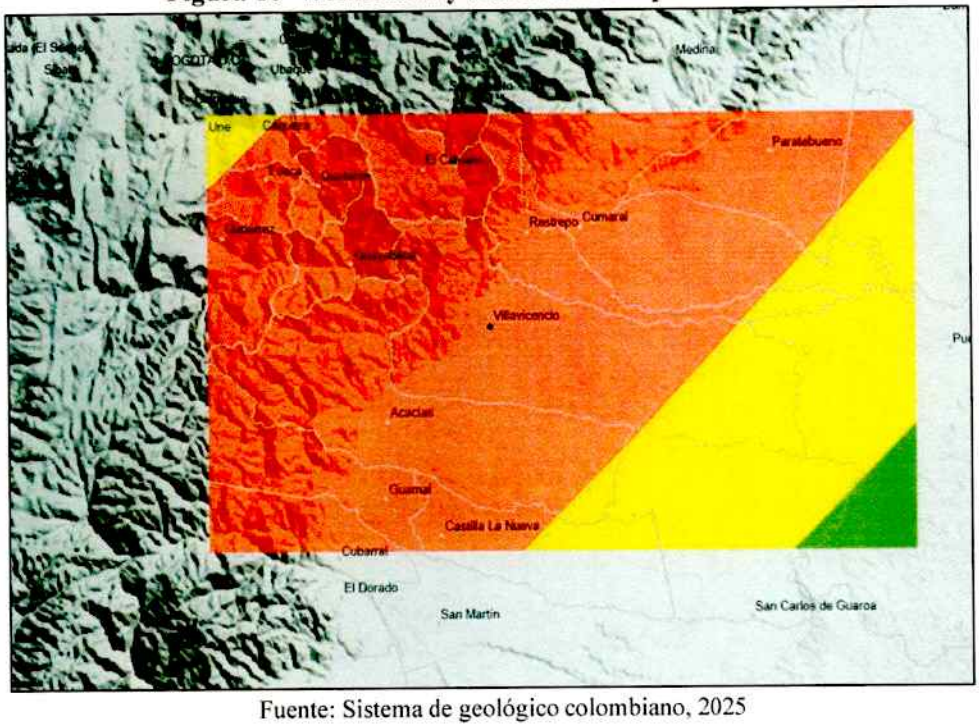
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	**2**
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	**2**

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.4.4 Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad

La evaluación de este componente se realizó con base en información del Servicio Geológico Colombiano respecto a las zonas de amenaza sísmica determinadas por la NSR- 10, como se puede observar a continuación

Figura 10- 7. Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad



Fuente: Sistema de geológico colombiano, 2025

Valorada con base en la zonificación sísmica del municipio y el diseño estructural de la infraestructura.

Tabla 10- 22. Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	**1**
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	**1**

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.5 Aspectos Sociales

Los criterios sociales se analizan a través de estudios de impacto socioeconómico, participación ciudadana y datos demográficos:

10.2.5.1 Generación de empleo

Ambas alternativas contemplan la instalación de tubería para la reposición del sistema de alcantarillado sanitario, por lo que se requerirá mano de obra para su ejecución. No obstante, este ítem se cuantificará según el número de empleos, directos e indirectos durante construcción y operación asociados a cada alternativa

En este sentido, la alternativa 2 genera un mayor número de empleos, ya que implica la instalación de tubería de concreto de 2,5 metros de longitud, mientras que en la alternativa 1 la tubería tiene una longitud de 6 metros, lo que requiere menor número de personal involucrado en el proyecto.

Por lo anterior, la calificación del componente social relacionado con la generación de empleo se determina de la siguiente manera:

Tabla 10- 23.Generación de empleo

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.5.2 Incremento de costos de vida

Se analiza mediante expectativas económicas locales y por percepción comunitaria. La reposición de la tubería del alcantarillado sanitario mejorará la calidad de vida en todas las zonas aledañas al proyecto, al garantizar la correcta disposición de las aguas residuales a través de sus conductos. Esto eliminará la contaminación en el subsuelo, la cual generaba malos olores, contaminación visual y olfativa, así como la proliferación de diversos insectos.

Tabla 10- 24. Incremento de costos de vida

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.5.3 Aumento de cobertura del servicio

La reposición de la tubería del alcantarillado sanitario contribuirá al aumento de la cobertura del servicio, beneficiando a un mayor porcentaje de la población en las zonas aledañas al proyecto. Al garantizar la correcta disposición de las aguas residuales a través de los conductos, se mejora la eficiencia del sistema y se reduce la exposición de la comunidad a problemas de contaminación, malos olores y proliferación de insectos.

Este incremento de cobertura se puede medir como el porcentaje de población beneficiada respecto a la población total de la zona de influencia del proyecto, que para las dos alternativas es la misma.

Tabla 10- 25. Aumento de cobertura del servicio

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.5.4 Afectación en la malla vial y peatonal

Este aspecto se evalúa considerando el trazado del proyecto y su posible interferencia con la infraestructura vial y peatonal existente. Se analizan los impactos temporales y permanentes sobre las vías de circulación y senderos peatonales, con el fin de determinar medidas de mitigación que garanticen la seguridad y la movilidad de los usuarios.

Este aumento en la cobertura del servicio puede cuantificarse como el porcentaje de población beneficiada respecto a la población total de la zona de influencia del proyecto, el cual resulta igual para ambas alternativas.

Tabla 10- 26. Afectación en la malla vial y peatonal

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	3

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.5. Incremento en tarifas del servicio.

El incremento en las tarifas del servicio se analiza considerando el aumento en la cobertura del mismo. Este aumento puede cuantificarse como el porcentaje de población beneficiada respecto a la población total de la zona de influencia del proyecto, el cual resulta igual para ambas alternativas. A partir de esta información, y tomando en cuenta los costos proyectados y el modelo tarifario vigente, es posible estimar cómo la ampliación del servicio podría reflejarse en las tarifas para los usuarios.

Tabla 10- 27. Incremento en tarifas del servicio

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	1
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	1

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.2.6. Dinamismo en la economía del municipio.

Este aspecto se analiza a partir de proyecciones económicas y la reactivación de los sectores vinculados al proyecto. Se evalúa cómo la ejecución de las alternativas impactará en la generación de empleo, la actividad comercial y los servicios locales, contribuyendo al fortalecimiento económico de la zona de influencia.

Este dinamismo en la economía se puede medir como la generación de empleo y actividad de comercial y servicios locales respecto a la población total de la zona de influencia del proyecto, que para las dos alternativas es la misma

Tabla 10- 28. Dinamismo en la economía del municipio

ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN
Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2
Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	2

Fuente: Elaboración propia consultoría 2025

10.3 RESULTADO ALTERNATIVAS

A continuación, presentamos la valoración cuantitativa y cualitativa de cada una de las alternativas de acuerdo con los análisis presentados para cada uno de los criterios de sostenibilidad resueltos en el numeral 10.2 de este capítulo.

Así las cosas, presentamos la tabla de calificación de criterios de sostenibilidad a aplicadas en el presente proyecto, ver siguientes tablas

10.3.1 Calificación de criterios de sostenibilidad

Tabla 10- 29. Calificación criterios de sostenibilidad.

ASPECTO	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD		CALIFICACIÓN CUANTITATIVA		
			1	2	3
			CALIFICACIÓN CUALITATIVA		
			MALO	REGULAR	EXCELENTE
ECONOMICO	Costos directos (construcción, suministro e instalación)		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
	Costos energéticos		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
	Costos operacionales de mano de obra		Calificada y Especializada	No calificada y Especializada	No Calificada
	Costos de mantenimiento de equipos		Equipos Especiales	N/A	Herramientas Básicas
	Costos ambientales		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
	Costos indirectos (compra de predios)		Costo Máximo	Costo Medio	Costo Mínimo
TÉCNICO	Capacidad técnica para ejecución y operación		Alta capacidad para operar	Capacidad media para operar	Fácil de Operar
	Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos		No Cuenta	N/A	Cuenta
	Disponibilidad de mano de obra		No Cuenta	N/A	Cuenta
	Tiempo de ejecución del proyecto		Largo	Mediano	Corto
AMBIENTAL	Demanda de recursos naturales	Área de protección ambiental	No Cuenta	N/A	Cuenta
		Presencia y oferta de fauna en la zona	No Cuenta	N/A	Cuente
		Zonificación ambiental	No Cuenta	N/A	Cuenta
		Uso y cobertura vegetal actual	No Cuenta	N/A	Cuenta
	Generación de contaminantes		Alta	Media	Baja
GESTIÓN R	Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones		Alta	Media	Baja
	Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos		Alta	Media	Baja
	Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad		Alta	Media	Baja

SOCIAL	Generación de empleo	Baja	Media	Alta
	Incremento de costos de vida en el municipio	Empeora	Sigue igual	Mejora
	Aumento de la cobertura en la prestación de servicio	Bajo	Medio	Alto
	Afectación en la malla vial y peatonal	Alta	Media	Baja
	Incremento en tarifas de servicio	Alto	Medio	Bajo
	Dinamismo en la economía del municipio	Bajo	Medio	Alto

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

Para expresar el peso de cada uno de los componentes y/o aspectos considerados se ha usado la siguiente ecuación lineal:

$$I \rightarrow 0.8E + 1.2T + 1.6A + 1.6R + 0.6S$$

10.3.2 Valoración Cuantitativa y Cualitativa

El objetivo de la anterior valoración es establecer los indicadores capaces de medir los criterios de sostenibilidad. Para una valoración cuantitativa y cualitativa se utiliza la metodología de matrices de selección multicriterio en donde cada casilla en la matriz relaciona la alternativa valorada con un criterio de sostenibilidad, lo que permitirá determinar la importancia de la alternativa sobre cada criterio.

La importancia del criterio de sostenibilidad mide cualitativa y cuantitativamente la alternativa, en función del grado de incidencia y la caracterización del efecto. Es entonces la escala y calificación de los criterios de sostenibilidad como se define a continuación:

En la valoración cuantitativa por cada criterio de sostenibilidad se asignará un valor entre 1 a 3, donde:

→ 1 – Aspecto evaluado hace menos viable su construcción.
→ 2 – Aspecto evaluado permite la selección de la alternativa bajo algunas restricciones y/o recomendaciones.
→ 3 – Aspecto evaluado óptimo.

Y en la valoración cualitativa por cada criterio de sostenibilidad se asignará una descripción de malo o aceptable o excelente.

Tabla 10- 30. Coeficientes de ecuación.

ASPECTO	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD		VALOR ASPECTO/TOTAL	VALOR MÁXIMO CRITERIO	VALOR MÁXIMO ASPECTO	COEFICIENTE	%ASPECTO
ECONOMICO	Costos directos (construcción, suministro e instalación)		1.0	3.0	18.0	0.80	20%
	Costos energéticos			3.0			
	Costos operacionales de mano de obra			3.0			
	Costos de mantenimiento de equipos			3.0			
	Costos ambientales			3.0			
	Costos indirectos (compra de predios)			3.0			
TÉCNICO	Capacidad técnica para ejecución y operación		1.0	3.0	12.0	1.20	20%
	Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos			3.0			
	Disponibilidad de mano de obra			3.0			
	Tiempo de ejecución del proyecto			3.0			
AMBIENTAL	Demanda de recursos naturales	Área de protección ambiental	1.0	3.0	15.0	1.80	20%
		Presencia y oferta de fauna en la zona		3.0			
		Zonificación ambiental		3.0			
		Uso y cobertura vegetal actual		3.0			
	Generación de contaminantes			3.0			
GESTIÓN R	Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones		1.0	3.0	9.0	1.60	20%
	Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos			3.0			
	Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad			3.0			
SOCIAL	Generación de empleo		1.0	3.0	18.0	0.60	20%
	Incremento de costos de vida en el municipio			3.0			
	Aumento de la cobertura en la prestación de servicio			3.0			
	Afectación en la malla vial y peatonal			3.0			
	Incremento en tarifas de servicio			3.0			
	Dinamismo en la economía del municipio			3.0			
TOTALES			**5.0**	**72.0**	**72.0**	**5.80**	**100%**

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

De esta manera con la ecuación proyectada se puede analizar numéricamente la escala de valores definida previamente acorde a la importancia de la alternativa, obteniendo un valor total máximo de **72** puntos y de manera cualitativa de la siguiente manera:

- → **MALA – Entre 0 y 25%, es decir, 0 a 18 puntos.**
- → **ACEPTABLE – Entre 25 y 75%, es decir, 18 a 54 puntos.**
- → **EXCELENTE – Entre 75 y 100%, es decir, 54 a 72 puntos**

Tabla 10- 31. Aplicación matriz cualitativa

ASPECTO	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD	COMPONENTE	
		Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería	Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rigida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.
		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
ECONÓMICO	Costos directos (construcción, suministro e instalación)	3	2
	Costos energeticos	2	2
	Costos operacionales de mano de obra	3	2
	Costos de mantenimiento de equipos	3	2
	Costos ambientales	2	2
	Costos indirectos (compra de predios)	2	2
TÉCNICO	Capacidad técnica para ejecución y operación	2	3
	Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos	2	3



	Disponibilidad de mano de obra		2	2
	Tiempo de ejecución del proyecto		2	1
AMBIENTAL	Demanda de recursos naturales	Area de proteccion ambiental	3	3
		Presencia y oferta de fauna en la zona	2	2
		Zonificación ambiental	3	3
		Uso y cobertura vegetal actual	3	3
	Generación de contaminantes		1	3
GESTIÓN R	Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones		2	2
	Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos		2	2
	Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad		1	1
SOCIAL	Generación de empleo		2	3
	Incremento de costos de vida en el municipio		3	3
	Aumento de la cobertura en la prestación de servicio		3	3
	Afectación en la malla vial y peatonal		3	3
	Incremento en tarifas de servicio		1	1
	Dinamismo en la economía del municipio		2	2
TOTALES			57.2	59.8

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

Tabla 10- 32. Aplicación de matriz de jerarquización

ASPECTO	CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD	COMPONENTE	
		Alt. 1. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería flexible PVC D=51" + Obras de cimentación y atraque de tubería	Alt. 2. Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería
		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2

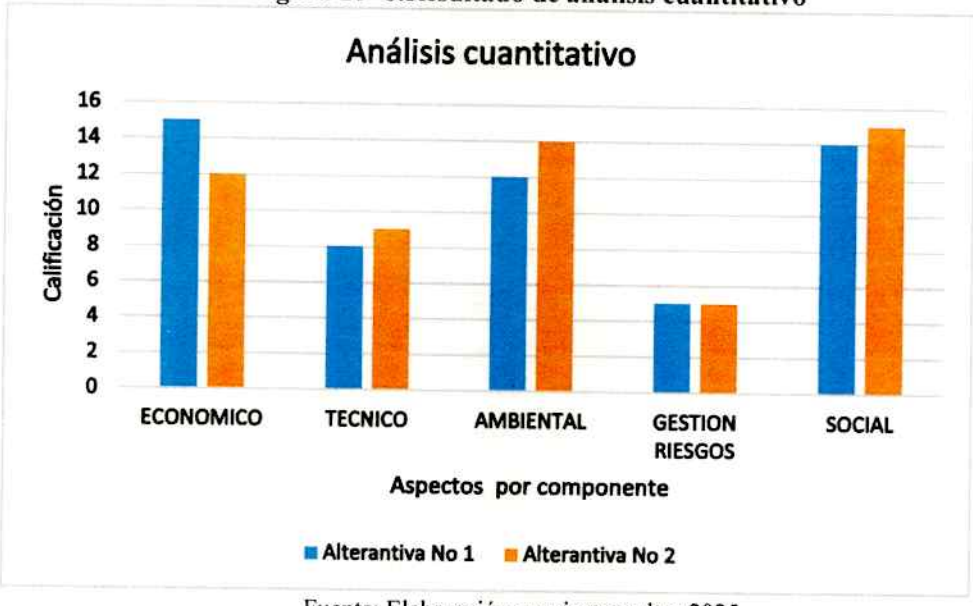


ECONÓMICO	Costos directos (construcción, suministro e instalación)		E	A
	Costos energéticos		A	A
	Costos operacionales de mano de obra		E	A
	Costos de mantenimiento de equipos		E	A
	Costos ambientales		A	A
	Costos indirectos (compra de predios)		A	A
TÉCNICO	Capacidad técnica para ejecución y operación		A	E
	Disponibilidad de recursos, materiales y repuestos		A	E
	Disponibilidad de mano de obra		A	A
	Tiempo de ejecución del proyecto		A	M
AMBIENTAL	Demanda de recursos naturales	Área de protección ambiental	E	E
		Presencia y oferta de fauna en la zona	A	A
		Zonificación ambiental	E	E
		Uso y cobertura vegetal actual	E	E
	Generación de contaminantes		M	E
GESTIÓN R	Amenaza y vulnerabilidad por inundaciones		A	A
	Amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos		A	A
	Amenaza y vulnerabilidad por sismicidad		M	M
SOCIAL	Generación de empleo		A	E
	Incremento de costos de vida en el municipio		E	E
	Aumento de la cobertura en la prestación de servicio		E	E
	Afectación en la malla vial y peatonal		E	E
	Incremento en tarifas de servicio de agua potable		M	M
	Dinamismo en la economía del municipio		A	A
TOTALES			E	E

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

A continuación, se puede visualizar gráficamente el resultado por componentes mediante la aplicación de las matrices multicriterio.

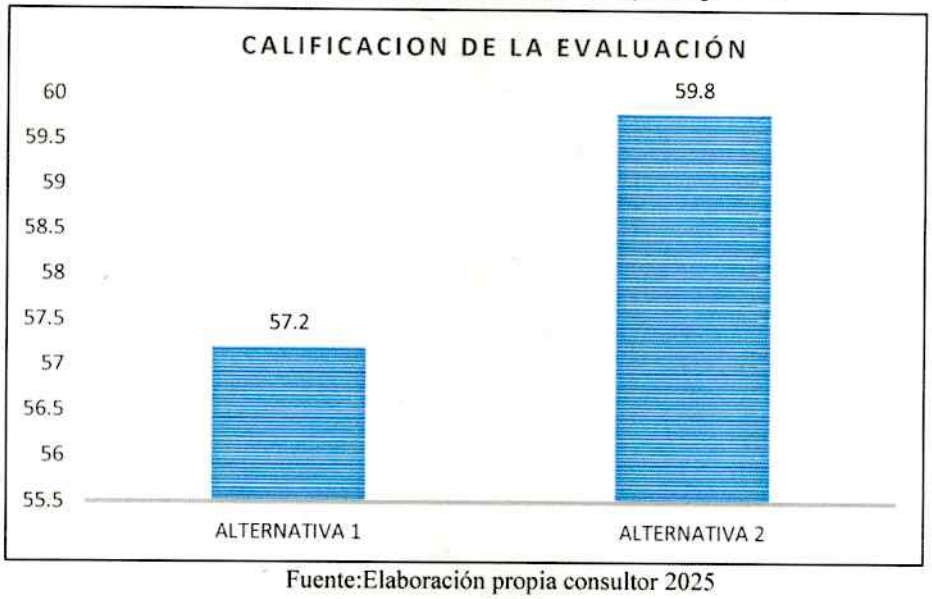
Figura 10- 8.Resultado de análisis cuantitativo



Fuente: Elaboración propia consultor 2025

De acuerdo con los resultados anteriores, en una valoración cuantitativa y cualitativa de las alternativas, la seleccionada corresponde a la alternativa número dos (2), calificada con mayor valor en la matriz multicriterio Tabla 10-31, y con resultado según matriz de jerarquización, juzgado cualitativamente como "Excelente", como se puede observar también en la siguiente figura.

Figura 10- 9. Resultado calificación jerarquización



Fuente:Elaboración propia consultor 2025

11. PLAN GENERAL DE OBRAS Y DE INVERSIONES Y ACCIONES COMPLEMENTARIAS

En este capítulo, a partir del análisis y la selección de alternativas, se formulan las recomendaciones pertinentes y se propone el plan general de obras e inversiones para el sistema en estudio dentro del horizonte de planeación establecido. Se da prioridad a las inversiones inmediatas orientadas a la rehabilitación de los componentes que lo requieran, configurando así el informe inicial. En este informe se indicarán, además, las acciones complementarias necesarias, tales como levantamientos topográficos, estudios adicionales especiales, entre otros, para el diseño o la ingeniería de detalle definitiva de los componentes resultantes del estudio. De esta manera, para el cumplimiento del objeto del estudio, se precisan en los siguientes puntos las acciones y consideraciones correspondientes.

Tabla 11- 1. Plan de Obras y de Intervenciones y Acciones Complementarias

Componente	Problema o necesidad	Descripción de alternativa seleccionada	Periodo de inversión	Ingeniería de detalle y acciones requeridas complementarias
Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	Se requiere la recuperación de la estructura o tubería del Interceptor Ocoa Sur – Tramo 1, correspondiente al segmento comprendido entre los pozos OC-09 y OC-10, en el cual se presenta una pérdida total de continuidad del sistema de alcantarillado sanitario. Esta condición genera el vertimiento o descarga completa de las aguas residuales provenientes del sistema hacia el subsuelo.	La alternativa seleccionada es la dos (02), correspondiente a "Renovación de tramo OC09-CO10 del interceptor Ocoa sur tramo 1 con instalación de Tubería rígida Concreto reforzado Clase IV D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm + Obras de cimentación y atraque de tubería.	Corto Plazo	Diseño hidráulico de 0C9-OC10 Diseño estructural de Pozos caja de inspección Diseño de cimentación detallada para estabilidad de tramo OC09-OC10 Diseño obras para atraque de tubería y refuerzo para atraque longitudinal

Fuente: Elaboración propia consultor 2025

Así las cosas, en la siguiente fase se debe efectuar la ingeniera de detalle a la alternativa seleccionada.

Responsable	Profesional	Firma
Realizado por:	Ing. Julián Andrés Diaz Aguirre Ing. Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería Esp. Ingeniería hidráulica y ambiental. U Nacional Msc. Ingeniería civil con énfasis en recursos hidráulicos. U nacional. M.P. 25202-402061CND.	

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 CONCLUSIONES

Mediante la metodología descrita en este documento técnico, ha sido posible realizar el análisis y selección de alternativas para elaboración de estudios y diseños para la construcción y adecuación del interceptor Ocoa sur tramo 1 del municipio de Villavicencio. El desarrollo de las alternativas presentados en esta memoria técnica ha sido realizado tomando como base con los resultados obtenidos en los estudios especializados de suelos, geotecnia, hidrología e hidráulica, los cuales hacen parte integral de la consultoría y proporcionaron información clave para sustentar la selección de alternativas y garantizar la viabilidad técnica del proyecto.

Por tal motivo, todos los análisis aquí realizados presentan esta consideración, con base en la información levantada, por lo cual cualquier cambio en análisis y selección establecidos en este documento técnico debe ser verificado bajo el cumplimiento de los requerimientos del proyecto y de las condiciones hidráulicas establecidas en el diseño por la Resolución 330 de 2017, 0799 de 2021, 0844 de 2018, la Norma Técnica Colombiana NTC 1500 "código nacional de fontanería" última actualización; A continuación se presentan las conclusiones

El planteamiento de los escenarios son los indicados y se realiza en dos escenarios, combinaciones de los procesos con el propósito de lograr las eficiencias requeridas para el presente proyecto, obtener una reducción apreciable en los costos de operación y mantenimiento, y lograr la sostenibilidad del sistema del interceptor Ocoa sur tramo 1.

Para la comparación de las alternativas se tomaron como base los criterios de sostenibilidad, a partir de la evaluación de los aspectos económicos, técnicos, ambientales, riesgos y sostenibilidad social; para lo cual se empleó una metodología que implico la mínima subjetividad de valoración y el menor costo de inversión, operación y mantenimiento, en donde la definición de variables y los valores de ponderación en la selección de la alternativa más favorable se evaluó mediante el empleo de matrices de selección multicriterio.

Una vez elaborado el predimensionamiento de cada escenario, se calculó de forma general los costos directos de inversión inicial para cada una de las alternativas, Estos costos no constituyen presupuesto definitivo, toda vez que fueron calculados con base en los predimensionamiento y no en diseños de ingeniería de detalle.

Fueron calculados los costos de inversión y costos de operación y mantenimiento para cada una de las alternativas, buscando tomar la mejor decisión posible.

De acuerdo con la aplicación de la matriz de evaluación, orientada a obtener una valoración cuantitativa y cualitativa de las alternativas, la opción seleccionada corresponde a la Alternativa 2: "Renovación del tramo OC09–OC10

del Interceptor Ocoa Sur – Tramo 1, mediante la instalación de tubería rígida de concreto reforzado, Clase IV, D=52" con recubrimiento interno HPDE de 1.5 mm, acompañada de obras de cimentación y atraque de tubería".

Esta alternativa obtuvo la mayor puntuación en la matriz multicriterio y fue calificada, según la matriz de jerarquización, como "Excelente".

12.2 RECOMENDACIONES

Atender a los resultados del estudio de análisis y selección de alternativas, en desarrollo de los diseños detallados.

13. ANEXOS

→ ANEXO 01. MANUALES DE TUBERÍA

Véase medio magnético el cual se adjunta la información correspondiente a los manuales técnicos de tubería y accesorios utilizados como soporte del presente documento.

→ ANEXO 02. LISTA DE PRECIOS

Véase medio magnético el cual se adjunta lista de precios oficiales de tubería y accesorios de múltiples proveedores.

→ ANEXO 03. EVALUACIÓN ALTERNATIVAS

Véase medio magnético el cual se adjunta matrices multicriterio utilizadas en la evaluación de alternativas.

→ ANEXO 04. EVALUACIÓN DE COSTOS

Véase medio magnético el cual se adjunta evaluación de costos a nivel de factibilidad para la selección de trazado y material

→ ANEXO 05. PLANOS ALTERNATIVAS

ALTERNATIVAS INTERCEPTOR OCOA SUR TRAMO 1

- Alternativa No. 1
- Alternativa No. 2

→ ANEXO 06. MEMORIAL DE REPSONSABILIDAD

Se anexa memorial y soportes de identidad del profesional véase en medio físico y en medio magnético.