# FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO DEL CENTRO POBLADO DEL CORREGIMIENTO DE PALERMO EN EL MUNICIPIO DE PAIPA

## PRODUCTO 4. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

**CONSULTOR**

**T&M INGENIERÍA Y SOLUCIONES AMBIENTALES S.A.S.**
**CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 619 DE 2023**

**SEPTIEMBRE**
**2023**

## CONTROL DE CAMBIOS

| Fecha | Versión | Revisado por: | Aprobado por: |
|---|---|---|---|
| 20/09//2023 | 01 | | |
| Firma: | | | |

## CONTENIDO

PÁG.

1.0 INTRODUCCIÓN ..... 6
2.0 objetivos ..... 8
2.1 objetivo general ..... 8
2.2 objetivos ESPECÍFICOS ..... 8
3.0 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO ..... 10
4.0 DEFINICIÓN DE LOS ESQUEMAS FÍSICOS Y CODIFICADOS DE LA RED 11
5.0 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN ..... 12
6.0 ÁREAS AFERENTES ..... 15
7.0 PERÍMETRO SANITARIO DE COBERTURA ..... 16
8.0 DEFINICIÓN DEL PERÍODO DE DISEÑO ..... 16
9.0 POBLACIÓN RESIDENTE ..... 17
9.1 INFORMACIÓN SISBEN ..... 17
9.2 CENSOS DANE ..... 17
9.3 HABITANTES POR VIVIENDA ..... 18
9.4 usuarios o suscriptores ACTUALes ..... 19
10.0 PROYECCIÓN de población ..... 19
11.0 POBLACIÓN FLOTANTE ..... 27
12.0 POBLACIÓN estudiantil ..... 29
13.0 población total ..... 30
14.0 ESTIMACIÓN DE DOTACIÓN ..... 31
15.0 DOTACIÓN NETA ..... 32
16.0 Densidad poblacional de los tramos de estudio ..... 33
17.0 DISEÑO ALCANTARILLADO SANITARIO ..... 34
17.1 DETERMINACIÓN CAUDAL DE DISEÑO ..... 39
18.0 ALCANTARILLADO PLUVIAL ..... 41
18.1 ÁREAS DE DRENAJE ..... 41
18.2 PERÍODO DE RETORNO ..... 42
18.3 CAUDAL DE DISEÑO aguas lluvias ..... 43
18.4 INFORMACIÓN CLIMATOLOGÍA ..... 43
18.5 CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA (IDF) ..... 45
18.6 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA ..... 47
18.7 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ..... 49
18.8 TIEMPO DE ENTRADA, Te ..... 49
18.9 TIEMPO DE RECORRIDO, Tt ..... 51

# LISTA DE TABLAS

**Tabla 1. Períodos de diseño de componentes del sistema de alcantarillado..... 16**
**Tabla 2. Proyección población DANE rural del centro poblado del corregimiento de Palermo. ..... 18**
**Tabla 3. Personas por hogar (promedio) según estadísticas del Dane. ..... 19**
**Tabla 4. Estimación de tasas de crecimiento ..... 20**
**Tabla 5. Cálculo población método aritmético ..... 21**
**Tabla 6. Cálculo población método geométrico ..... 23**
**Tabla 7. Cálculo población método exponencial..... 25**
**Tabla 8. Datos de proyección de población residente por los tres diferentes métodos..... 26**
**Tabla 9. Dios festivos y turísticos ..... 27**
**Tabla 10. Proyección de población flotante:..... 28**
**Tabla 11. Proyección de población flotante:..... 29**
**Tabla 12. POBLACIÓN TOTAL DE DISEÑO:..... 30**
**Tabla 13. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida..... 32**
**Tabla 14. Valores de Coeficientes de Rugosidad de Manning para varios materiales. ..... 37**
**Tabla 15. Estimación de áreas según usos..... 39**
**Tabla 16. Cálculo de caudales de diseño para alcantarillado..... 40**
**Tabla 16. Cálculo de caudales de diseño para alcantarillado..... 40**
**Tabla 18. Periodos de retorno..... 42**
**Tabla 19. Cálculo de las curvas IDF de la estación PALERMO [24010870]..... 46**
**Tabla 20. Determinación del coeficiente c1 ..... 47**
**Tabla 21. Cálculo de las curvas IDF de la estación PALERMO..... 48**
**Tabla 22. Coeficiente de retardo. ..... 50**
**Tabla 23. Constante de velocidad superficial. ..... 50**

# LISTA DE FIGURAS

**Figura 1. Cuerpos de agua identificados en el corregimiento de Palermo..... 10**
**Figura 2.Cantidad de pozos de inspección según su clasificación. ..... 11**
**Figura 3. Atributos utilizados en el Catastro de alcantarillado..... 12**
**Figura 4. Vista General del Casco urbano del Centro Poblado del corregimiento de Palermo del municipio de Paipa. Fuente: Grupo Consultor ..... 14**
**Figura 5. Áreas aferentes alcantarillado casco urbano del centro poblado del corregimiento de Palermo..... 15**
**Figura 6. Proyección de población por el método aritmético..... 22**
**Figura 7. Proyección de población por el método geométrico..... 24**
**Figura 8. Proyección de población por el método exponencial. ..... 25**
**Figura 9. Proyección de población por los tres métodos de análisis. ..... 27**
**Figura 10. Perímetro urbano centro poblado del corregimiento de Palermo (existente y proyectado) ..... 34**
**Figura 11. Ubicación geoespacial de la estación PALERMO [24010870] en el corregimiento de PALERMO Fuente: Grupo consultor – Google Earth..... 44**
**Figura 12. Información de la estación pluviométrica PALERMO [24010870]..... 44**
**Gráfica 13. Curvas IDF - Estación PALERMO [24010870] ..... 46**

# 1.0 INTRODUCCIÓN

Dentro de la consultoría para la "Formulación del plan maestro de alcantarillado del centro poblado del corregimiento de Palermo en el municipio de Paipa", se contempla el levantamiento de las estructuras existentes que componen el sistema de alcantarillado de dicha zona, así como sus diferentes caracteristicas y propiedades. Para conocer el comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado existente, es necesario implementar un análisis mediante modelo matemático que permita establecer si las condiciones actuales encontradas en dicho sistema son o no optimas para su correcto funcionamiento actual y futuro.

El sistema actual de alcantarillado del corregimiento de Palermo del municipio de Paipa se compone de múltiples sumideros, así como de una serie de pozos de inspección iniciales e intermedios los cuales se clasifican mayormente en pozos combinados, ya que, a la fecha de elaboración del presente documento, estos recolectan y transportan aguas pluviales y sanitarias. Este sistema vierte sus aguas servidas en dos puntos a lo largo del cuerpo de agua denominado Rio Chontales. localizado al norte del casco urbano

El levantamiento de la información actual del sistema de alcantarillado también contempla la categorización de las tuberías presentes, según sus caracteristicas. El análisis hidráulico permitirá concluir si las redes son o no aptas para cumplir con las solicitaciones proyectadas a nivel operativo, en función de la población actual y futura, así como de las actividades económicas desarrolladas y las caracteristicas climatológicas y medioambientales dadas en el centro poblado del corregimiento de Palermo. De esta manera es posible plantear alternativas de solución a problemáticas actuales y prevenir futuros inconvenientes por la ampliación de las redes.

El análisis y la modelación matemática implementada en el presente documento ilustra mediante interface gráfica un modelo que simula o imita el comportamiento hidráulico de una red real de recolección replicando las condiciones dinámicas de su operación, lo cual permite realizar un diagnóstico de la red y prever el comportamiento hidráulico de las obras existentes estableciendo si estas son o no adecuados para recolectar y transportar las diferentes aguas residuales y aguas lluvias, según las condiciones actuales del corregimiento, así como sus condiciones futuras.

Mediante el presente producto, el municipio obtendrá una carta de navegación para proyectar las obras necesarias que le permitirán tomar decisiones de carácter técnico, administrativo, financiero y ambiental que busquen reducir la contaminación que actualmente está generando en las fuentes de agua, mediante la reducción y control en la cantidad de vertimientos, el control de calidad de los mismos y ampliación de la cobertura de recolección actual. Así mismo será posible realizar la proyección del diseño de nuevos sistemas, la planeación de ampliaciones y/o rehabilitaciones de sistemas existentes, investigaciones sobre la calidad del agua y toma de decisiones operativas.

# 2.0 OBJETIVOS

## 2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diagnóstico y evaluación a nivel hidráulico del estado actual del sistema de alcantarillado combinado del centro poblado del corregimiento de Palermo, del municipio de Paipa, mediante implementación de un modelo matemático se simulación hidráulica que replique las condiciones dinámicas de su operación actual y futura.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las caracteristicas actuales de los diferentes elementos que componen el sistema de alcantarillado combinado.
- Evaluar el comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado existente que compone la malla de recolección incluyendo redes y estructuras.
- Codificar de forma gráfica, los esquemas físicos de la red actual de alcantarillado exístete.
- Implementar mediante modelo matemático, el esquema físico del sistema de recolección, interceptación y transporte de aguas sanitarias y pluviales representando las condiciones operativas actuales.
- Estimar y analizar las contribuciones que aportan al sistema de alcantarillado en base a la población y usos actuales.
- Definir los parámetros hidráulicos que propendan por el buen comportamiento del sistema de alcantarillado en cada tramo tales como velocidad real máxima, fuerzas tractivas mínimas, relación máxima entre caudal de diseño y caudal a tubo lleno.
- Presentar los resultados y análisis de los estudios detallados, basados en la información topográfica del área, descripción de la red y funcionamiento hidráulico de las redes
- Identificar los tramos de alcantarillado donde las caracteristicas de la tubería no cumplan con las solicitaciones actuales del sistema.
- Modelar mediante software de modelación de alcantarillado EPA-SWMM las caracteristicas de la red de alcantarillado existente para determinar el comportamiento hidráulico del sistema

- Determinar si el alcantarillado actual es óptimo a nivel hidráulico, para recolectar y transportar las diferentes aguas servidas y aguas lluvias presentes en el centro poblado
- Identificar claramente cada sector el comportamiento hidráulico de la red, mencionando las diferentes problemáticas y ventajas del sistema de alcantarillado.
- Identificar los tramos de la red que actualmente no cumplen con los requerimientos hidráulicos mínimos.
- Sugerir las actividades necesarias para optimizar la operación del sistema de alcantarillado actual en función de los requerimientos reales del servicio.
- Identificar soluciones preliminares para la optimización del alcantarillado.

## 3.0 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

El sistema de alcantarillado del centro poblado del corregimiento de Palermo, del municipio de Paipa actualmente se clasifica como “Alcantarillado Combinado de tipo convencional”, puesto que a lo largo de la red que recolecta y transporta las aguas residuales, se conectan los diferentes sumideros distribuidos a lo largo del casco urbano los cuales, a su vez, recogen la aguas lluvias del corregimiento.

A su vez, parte de la red de sumideros localizada al sur del centro poblado de Palermo, descarga las aguas lluvias captadas directamente a un cuerpo de agua denominada quebrada la Venta el cual a su vez desemboca sobre el rio Chontales también denominado rio Palermo.




**Figura 1. Cuerpos de agua identificados en el corregimiento de Palermo**
Fuente: Grupo Consultor

A grosso modo, la red funciona por gravedad y se compone de 50 pozos de inspección, de los cuales 13 son iniciales, y 37 son intermedios, en su mayoría construidos en mampostería. En cuanto a los sumideros, se lograron visibilizar 26 en total. La red de recolección y trasporte de aguas sanitarias, así como la pluvial difiere en diámetros y materiales, identificándose tuberías en concreto y en PVC en denominaciones de 8, 10, 12 y 16 pulgadas.

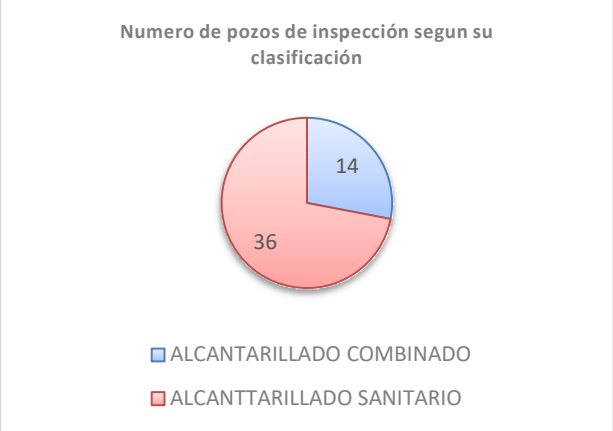



**Figura 2.Cantidad de pozos de inspección según su clasificación.**
Fuente: Grupo Consultor

Actualmente, el corregimiento de Palermo posee dos (2) vertimientos de aguas servidas residuales, las cuales descargan sus aguas a lo largo del rio Chontales, ubicado al norte del centro poblado. El sistema de alcantarillado actual no cuenta con interceptores ni con sistema de tratamiento de aguas residuales.

A continuación, se realiza una descripción de los componentes del sistema de alcantarillado actual, que fueron identificados durante el levantamiento catastral.

## 4.0 DEFINICIÓN DE LOS ESQUEMAS FÍSICOS Y CODIFICADOS DE LA RED

Los diferentes componentes de la red de alcantarillado del centro poblado del corregimiento de Palermo, del municipio de Paipa, son esquematizados gráficamente mediante los siguientes objetos codificados en un modelo de simulación hidráulica de alcantarillado:

- Pozo de inspección: Nodo de conexión
- Tubería de alcantarillado: Conducción lineal
- Área de drenaje: Cuenca (Una cuenca es una porción de terreno que contiene una mezcla de superficies permeables e impermeables, las cuales drenan a un punto común de descarga).

- Vertimiento: Nudos de Vertido (Nodo de descarga final)
- Descarga: Nudos de descarga de aguas lluvias (Nodo de descarga final)

## 5.0 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Contiene la representación geográfica y la información base del casco urbano del corregimiento, destacando aspectos urbanísticos tales como calles, carreras, parques, zonas residenciales, comerciales e institucionales, cuerpos de agua, puentes, y lugares de interés para el presente estudio.

Mediante la realización planos digitalizados, se representan las características principales del sistema de alcantarillado del corregimiento, tales como el número de pozo, diámetros y materiales de las tuberías, longitud y pendientes de cada uno de los tramos que conforman la red. Este plano es un instrumento de referencia y ubicación de la red del perímetro urbano. En la figura 3 se exponen las características los diferentes bloques de atributos empleados, realizados en AutoCAD donde se ingresaron todas las propiedades de los pozos, redes y vertimientos existentes. Este método de ingreso de datos, permite al interesado obtener información rápida por medio de AutoCAD, facilitando de forma rápida, grafica e integral, la toma de decisiones.

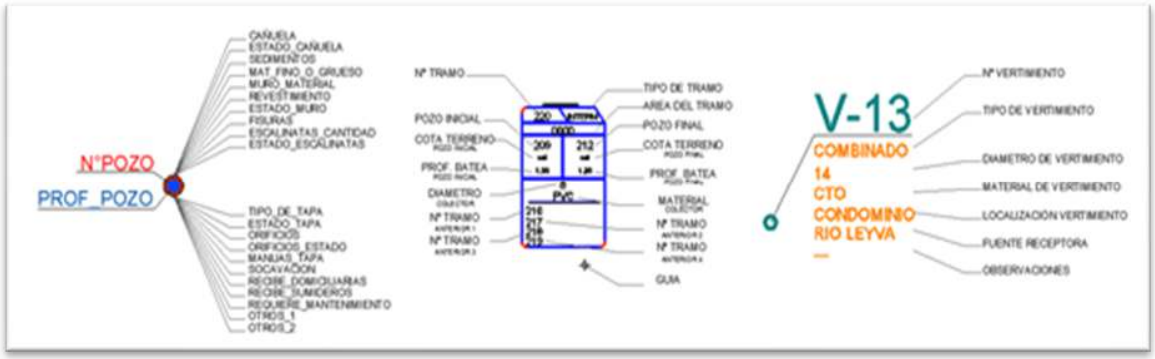



**Figura 3. Atributos utilizados en el Catastro de alcantarillado.**
Fuente: Grupo Consultor

Las fichas (bloques) anteriores no solo facilitan tener información del catastro de forma rápida, sino también como datos iniciales para extraer y enriquecer la modelación hidráulica.

- En la información de POZOS (grafica izquierda) se refiere la siguiente información:

Numero de pozo, profundidad del pozo, posición georreferenciada X(Este), Y(Norte) y Z(elevación); características internas del pozo como son: cañuela existente, estado de la cañuela, presencia de sedimentos, características de los sedimentos (finos y gruesos), tipo de material del muro, tipo de revestimiento del muro, estado del revestimiento, patologías presentes en el pozo (como presencia de fisuras o socavación en alguna de las estructuras que componen el pozo), presencia y numero de escalinatas y el estado de las mismas. También se refiere información relevante con respecto al acceso del pozo (es decir, si posee o no acceso), material de la tapa, a saber, concreto, hierro fundido o mixto, el estado de la tapa, si existen orificios en la tapa, el estado de los orificios, si la tapa tiene manijas para su operación, cantidad de conexiones domiciliaras conectadas al pozo, numero de sumideros que descargan en el pozo y si existe la necesidad de realizar un mantenimiento al pozo.

- En la información de los TRAMOS (grafica del centro) se refiere la siguiente información:

Numero de tramo, posición georreferenciada X(Este), Y(Norte) y Z(elevación); características como son: tipo de tramo (inicial o intermedio), categoría del tramo (es decir, si es sanitario, pluvial o combinado), área aferente del tramo en metros cuadrados (m2), pozos inicial y final del tramo, cota terreno de los pozos inicial y final, profundidad a cotas batea del inicio y final del tramo, diámetro y material de la tubería y material de la rasante.

Todo lo anterior se procedió a extraer del plano del catastro de alcantarillado realizado por la consultoría. En la Figura 4, se puede observar una vista del “PLANO TOPOGRÁFICO DEL MUNICIPIO DE PAIPA DEL CORREGIMIENTO DE PALERMO, con su cobertura de servicios.

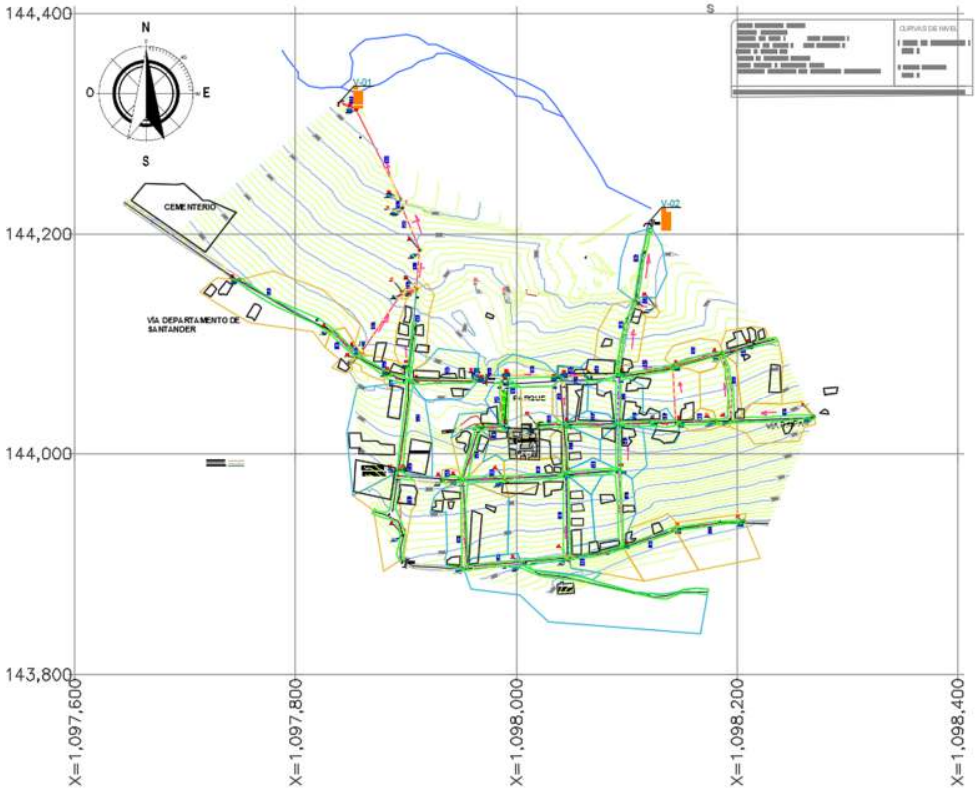



**Figura 4. Vista General del Casco urbano del Centro Poblado del corregimiento de Palermo del municipio de Paipa.**
Fuente: Grupo Consultor

El sistema de alcantarillado sanitario construido en el casco urbano está compuesto por un sistema de combinado el cual recolecta aguas sanitarias y pluviales. En este sistema se evidencia la presencia de sedimentos en las cañuelas de los pozos, acceso a los pozos obstruido, pozos con geometrías irregulares, estancamiento del flujo, entre otros.

Esta inspección permite esclarecer el estado actual de las obras existentes, así como la necesidad de un manteamiento rutinario en la mayoría de los pozos. Existen además estructuras donde, por las condiciones de la rasante (pavimentada, con capa vegetal o con material de afirmado) es necesario construir obras de acceso a los mismos puesto que el acceso a las cámaras de inspección no es posible.

## 6.0 ÁREAS AFERENTES

El área aferente de cada tramo se determina a partir de los planos del levantamiento topográfico y las líneas del trazado de las redes de alcantarillado según su topología y el catastro efectuado. Las áreas se trazan considerando la divisoria de aferencia dada a cada trayecto según el urbanismo de municipio hasta los límites de cobertura, el trazado y los valores de las áreas aferentes del sistema de alcantarillado del centro poblado del corregimiento de Palermo. Estas áreas fueron trazadas y calculadas por medio de algoritmos siguiendo el método de polígonos de Thiessen modificado, para ello el consultor llevo a cabo la realización de estos polígonos y posteriormente ingresarlos en las fichas de atributos mencionadas en el capítulo 4 del presente informe.

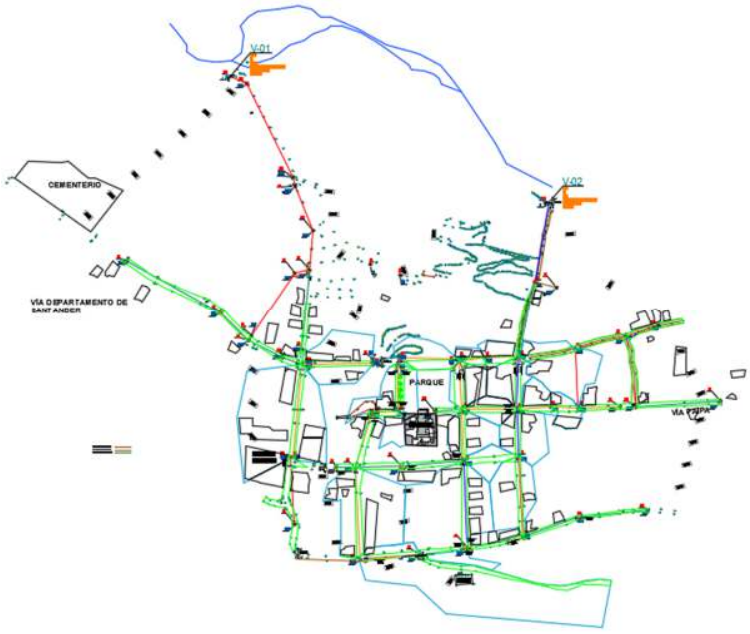



**Figura 5. Áreas aferentes alcantarillado casco urbano del centro poblado del corregimiento de Palermo.**
Fuente: Grupo Consultor

## 7.0 PERÍMETRO SANITARIO DE COBERTURA

Para el cálculo y el trazado de las áreas aferentes es necesario definir el perímetro sanitario del municipio, el cual se construye con ayuda de la información del E.O.T, la topografía y el grado de cobertura actual. El perímetro de cobertura del servicio de alcantarillado se indica en los planos anexos. Como puede evidenciarse, el perímetro de cobertura sanitario para el sistema de alcantarillado posee un área estimada de  de 8.61 ha, Este perímetro incluye las áreas de recreación y los otros tipos de uso como el oficial, Industrial, institucional y comercial. Este valor será empleado para el cálculo de la densidad demográfica urbana, que se usará para el cálculo del caudal doméstico. En cuanto al área del casco urbano actual y futura, en base al PBOT del municipio de Paipa, y en concertación con el grupo consultor y las partes interesadas en el proyecto, se estima un valor de 13.47 Hectáreas.

## 8.0 DEFINICIÓN DEL PERÍODO DE DISEÑO

A partir de lo especificado en la resolución 330 de junio de 2017 por la cual se adopta el reglamento Técnico para el sector de Agua potable y saneamiento Básico (RAS), el cual en su artículo 40 “Periodo de diseño” indica los períodos de diseño de los diferentes elementos que conforman un sistema de agua potable y saneamiento básico los cuales se han resumido en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Períodos de diseño de componentes del sistema de alcantarillado**

| SISTEMA | PERIODO DE DISEÑO MÁXIMO |
|---|---|
| Alcantarillado | 25 años |

Fuente: Resolución 0330 del 08 de junio de 2017, art 40.

Para este estudio se resuelve de acuerdo a la Resolución 0330 del 08 de junio de 2017, en el artículo 40; se opta por usar un periodo de diseño de **25 años**.

**2024 + 25 = 2049 (año)**

# 9.0 POBLACIÓN RESIDENTE

Para el óptimo dimensionamiento de redes y estructuras del sistema de alcantarillado, es de vital importancia proyectar a futuro los habitantes del alcantarillado del centro poblado del corregimiento de Palermo, teniendo en cuenta datos estadísticos tales como:

- Censos SISBEN.
- Censos según DANE.

Para el caso se seguirán los lineamientos establecidos en la Resolución 330 de 2017 en el **Artículo 8. Actividades preliminares, cita.** "2. Determinar la población directa o indirectamente afectada, así como la población objetivo o beneficiada con la ejecución del proyecto, calculada dentro del periodo de diseño del mismo, Para establecer una línea base, ***se deberá buscar información confiable***, proveniente de entidades oficiales relacionadas con el tema, este resultado deberá ser recogido dentro del documento mencionado en el artículo 18".

## 9.1 INFORMACIÓN SISBÉN

El sistema de selección de beneficiarios para programas sociales SISBÉN, es un sistema a nivel nacional que permite identificar la población vulnerable y potencialmente beneficiaria, así mismo registra a toda la población de cada municipio, de acuerdo a lo anterior al revisar la base de datos, de la población que dan cobertura del alcantarillado, no contempla datos claros y significativos, debido a que la población no todos hacen parte del Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales; por consiguiente en este proyecto no se implementa datos SISBÉN.

## 9.2 CENSOS DANE

La evaluación del crecimiento de la población a lo largo de un período de diseño determinado, es un elemento fundamental del sistema de alcantarillado, así como también para realizar el planeamiento y diseño detallado de cualquiera de los elementos que componen el sistema de alcantarillado.

Para la obtención de la tasa de crecimiento, se tiene en cuenta varios factores, como los Censos urbanos de población por parte del DANE, realizados en años anteriores (1993, 2005 y 2018), igual las proyecciones de población de las cuales fueron

realizadas tomando como base los resultados ajustados de población del Censo 2005 y la conciliación censal 1985 - 2005; así como los análisis sobre el comportamiento de las variables determinantes de la evolución demográfica, las hipótesis y algunos comentarios sobre sus resultados. A continuación, se presentan los datos históricos de población rural para el municipio de Paipa, teniendo en cuenta que el centro poblado del corregimiento de Palermo no hace parte del casco urbano sino se clasifica como centro poblado y rural disperso.

**Tabla 2. Proyección población DANE rural del centro poblado del corregimiento de Palermo.**

| Censos | Datos Población |
|---|---|
| 1993 | 11,688 |
| 2005 | 12,028 |
| 2023 | 13,514 |

Fuente: Información estadística DANE. Censos de población municipales 1993 hasta 2023.

De acuerdo a la tabla anterior, se puede observar un comportamiento poblacional, de la siguiente manera:

En el año 1993 la población urbana oscilaba sobre los 11688 habitantes mientras que para el año 2005 la tendencia presentaba un comportamiento de crecimiento presentándose una población de 12028 habitantes. Para el año 2023 la tendencia se comportaba igual que en los años anteriores presentándose un aumento en la población obteniendo así un aproximado de 13514 habitantes. El comportamiento poblacional nos indica que la población rural no ha presentado tendencias de decrecimiento lo cual es un indicativo importante para la proyección de redes de alcantarillado futuras.

## 9.3 HABITANTES POR VIVIENDA

En la información suministrada por el último censo del DANE año 2018, se encontró la estimación de habitantes residentes por vivienda, es de **3.1 habitantes por vivienda**. Esta ficha se adjunta en el ANEXO 1. FICHA TÉCNICA DANE PAIPA.

**Tabla 3. Personas por hogar (promedio) según estadísticas del Dane.**

| Entidad territorial | Clase Geográfica | Total personas censadas | | Total personas censadas en hogares particulares | | Total hogares particulares | | Personas por hogar (promedio) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CNPV 2018 | CG 2005 | CNPV 2018 | CG 2005 | CNPV 2018 | CG 2005 | CNPV 2018 | CG 2005 |
| Colombia | Cabecera | 33.905.550 | 31.510.379 | 33.905.550 | 31.282.705 | 11.128.226 | 8.210.346 | 3,0 | 3,8 |
| | Centro poblado y Rural disperso | 9.929.774 | 9.958.005 | 9.929.774 | 9.892.148 | 3.114.997 | 2.360.553 | 3,2 | 4,2 |
| Boyacá | Cabecera | 683.329 | 632.836 | 678.122 | 623.283 | 231.702 | 173.595 | 2,9 | 3,6 |
| | Centro poblado y Rural disperso | 452.369 | 578.146 | 446.368 | 569.700 | 150.166 | 149.255 | 3,0 | 3,8 |
| Paipa | Cabecera | 19.347 | 15.246 | 19.323 | 15.210 | 6.370 | 4.069 | 3,0 | 3,7 |
| | Centro poblado y Rural disperso | 11.794 | 12.028 | 11.774 | 11.992 | 3.804 | 3.159 | 3,1 | 3,8 |

Fuente: Información estadística DANE. Ficha técnica del municipio de Paipa.

## 9.4 USUARIOS O SUSCRIPTORES ACTUALES

En el inicio de estos estudios, se identificó los usuarios de alcantarillado actuales, del orden de **188 suscriptores**. En el listado actual de suscriptores figuran 195, sin embargo, cabe resaltar que solo 188 se clasifican en consumo residencial, mientras que los otros 7 entran en los grupos comercial e institucional. En el ANEXO 2. LISTADO DE SUSCRIPTORES CENTRO POBLADO PALERMO, se presenta el listado de suscriptores actuales. Para ejecutar un análisis especifico de la zona de estudio, la población base se debe basar en el numero de suscriptores actuales, ya que los censos nos dan datos de la población rural general. Sin embargo, mediante los censos poblacionales es posible establecer las tasas de crecimiento poblacional rural.

# 10.0 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

Se realiza el análisis de proyección a 25 años por los diferentes métodos de crecimiento, a fin de obtener el cálculo de población futura.

Para el estudio, se realizó la proyección de población por tres métodos sugeridos por el, los cuales son: Método aritmético, método geométrico y método exponencial. A Continuación, se presentan las metodologías sugeridas por la Guía metodológica RAS 2000:

**Método aritmético:** Este método es recomendado para municipios de bajo desarrollo. Se caracteriza porque la población aumenta a una tasa constante de crecimiento aritmético, es decir que a la población del último censo se le adiciona un número fijo de habitantes para cada período en el futuro. Este método es recomendado para pequeñas poblaciones de poco desarrollo o con áreas de

crecimiento casi nulas. El método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración.
La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = Puc + Ka*(Tf - Tuc)$$

$$Ka = \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci}$$

Dónde:

$P_f$ = población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población
$P_{uc}$ = población (habitantes) correspondiente al último año censado con información
$P_{ci}$. = población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información
$T_{uc}$ = año correspondiente al último censo con información
$T_{ci}$. = año correspondiente al censo inicial con información y
$T_f$ = es el año al cual se quiere proyectar la información.
Inicialmente se realizan las estimaciones de tasas de crecimiento en base a los datos de censos históricos. A continuación, se relaciona dichas estimaciones:

**Tabla 4. Estimación de tasas de crecimiento**

| hab por vivienda rural según dane | | | 3.10 hab | |
|---|---|---|---|---|
| | HOGARES RURAL MUNICIPAL | | 0 | |
| Censos | Datos Población | ARITMÉTICO | GEOMÉTRICO | EXPONENCIAL |
| 1993 | 11,688 | | | |
| 2005 | 12,028 | 28.33 | 0.0024 | 0.0024 |
| 2023 | 13,514 | 82.56 | 0.0065 | 0.0065 |
| | PROMEDIO | 55.44 | 0.004 | 0.004 |
| | | | 0.44% | 0.44% |

Fuente: Grupo consultor.

Una vez estimadas las tasas de crecimiento se proceden a calcular las proyecciones de población.

**Tabla 5. Cálculo población método aritmético**

| AÑO | PROYECCIÓN ARITMÉTICA |
|---|---|
| 2024 | 583 |
| 2025 | 586 |
| 2026 | 588 |
| 2027 | 591 |
| 2028 | 593 |
| 2029 | 596 |
| 2030 | 598 |
| 2031 | 601 |
| 2032 | 603 |
| 2033 | 606 |
| 2034 | 608 |
| 2035 | 605 |
| 2036 | 607 |
| 2037 | 609 |
| 2038 | 611 |
| 2039 | 613 |
| 2040 | 615 |
| 2041 | 617 |
| 2042 | 619 |
| 2043 | 621 |
| 2044 | 603 |
| 2045 | 604 |
| 2046 | 605 |
| 2047 | 606 |
| 2048 | 607 |
| 2049 | 608 |

Fuente: Grupo consultor.

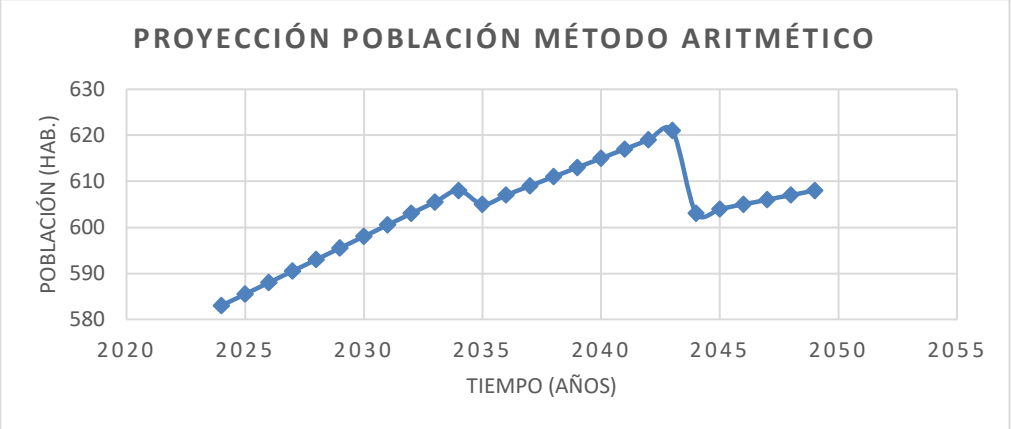



**Figura 6. Proyección de población por el método aritmético.**
Fuente: Grupo consultor.

Se observa que, para el año de diseño máximo de **25 años (2049),** se tiene una población de diseño de **608 habitantes.**

**Método geométrico:** Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante, que generan un desarrollo apreciable y que poseen áreas de expansión importantes las cuales pueden ser dotadas, sin mayores dificultades, de la infraestructura de servicios públicos. El crecimiento es geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de la misma.

La ecuación que se emplea es:

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{CI}} \right)^{1/(T_{UC} - T_{CI})} - 1$$

$$r = K_1^{K_2} - 1$$

**Tabla 6. Cálculo población método geométrico**

| AÑO | PROYECCIÓN GEOMÉTRICA |
|---|---|
| 2024 | 583 |
| 2025 | 598 |
| 2026 | 613 |
| 2027 | 628 |
| 2028 | 644 |
| 2029 | 660 |
| 2030 | 676 |
| 2031 | 693 |
| 2032 | 710 |
| 2033 | 728 |
| 2034 | 746 |
| 2035 | 761 |
| 2036 | 776 |
| 2037 | 792 |
| 2038 | 808 |
| 2039 | 824 |
| 2040 | 840 |
| 2041 | 857 |
| 2042 | 874 |
| 2043 | 892 |
| 2044 | 901 |
| 2045 | 910 |
| 2046 | 919 |
| 2047 | 928 |
| 2048 | 937 |
| 2049 | **947** |

Fuente: Grupo consultor

.

Producto de la proyección de población por el método geométrico, se estima una población futura para el año horizonte de diseño (2049) de 947 habitantes.

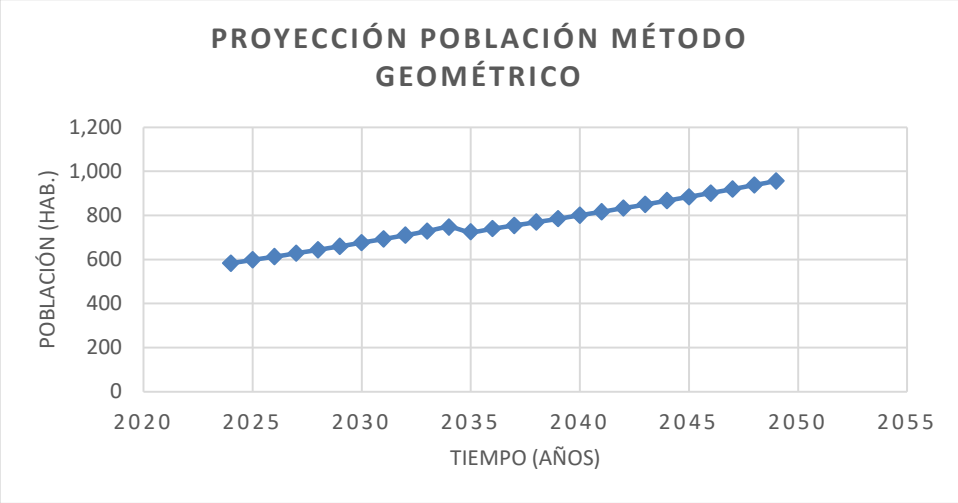



**Figura 7. Proyección de población por el método geométrico.**
Fuente: Grupo consultor

**Método exponencial:** La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \times (T_f - T_{ci})}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{LnP_{cp} - LnP_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde $P_{cp}$ es la población del censo posterior, $P_{ca}$ es la población del censo anterior, $T_{cp}$ es el año correspondiente al censo posterior, $T_{ca}$ es el año correspondiente al censo anterior y Ln el logaritmo natural o neperiano.

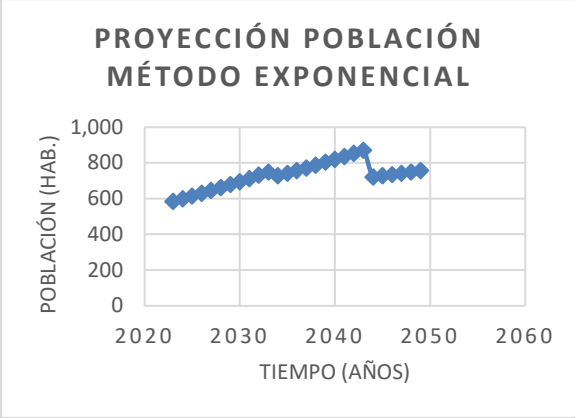



**Figura 8. Proyección de población por el método exponencial.**
Fuente: Grupo consultor

**Tabla 7. Cálculo población método exponencial**

| AÑO | PROYECCIÓN EXPONENCIAL |
|---|---|
| 2024 | 583 |
| 2025 | 598 |
| 2026 | 613 |
| 2027 | 628 |
| 2028 | 644 |
| 2029 | 661 |
| 2030 | 677 |
| 2031 | 694 |
| 2032 | 712 |
| 2033 | 730 |
| 2034 | 749 |
| 2035 | 726 |
| 2036 | 741 |
| 2037 | 756 |
| 2038 | 771 |
| 2039 | 787 |
| 2040 | 803 |
| 2041 | 819 |
| 2042 | 836 |
| 2043 | 853 |
| 2044 | 712 |
| 2045 | 719 |
| 2046 | 726 |
| 2047 | 734 |
| 2048 | 741 |
| 2049 | 749 |

Fuente: Grupo consultor.

Al emplear esta metodología de proyección, los valores de población oscilan sobre los 749 habitantes para el año horizonte.

En resumen, cada metodología de proyección de población ofrece valores diferentes de habitantes para años futuros. A modo de comparación, a continuación, se relacionan los valores obtenidos en función de las diferentes metodologías:

**Tabla 8. Datos de proyección de población residente por los tres diferentes métodos**

| AÑO | PROYECCIÓN ARITMÉTICA | PROYECCIÓN GEOMÉTRICA | PROYECCIÓN EXPONENCIAL |
|---|---|---|---|
| 2024 | 583 | 583 | 583 |
| 2025 | 586 | 598 | 598 |
| 2026 | 588 | 613 | 613 |
| 2027 | 591 | 628 | 628 |
| 2028 | 593 | 644 | 644 |
| 2029 | 596 | 660 | 661 |
| 2030 | 598 | 676 | 677 |
| 2031 | 601 | 693 | 694 |
| 2032 | 603 | 710 | 712 |
| 2033 | 606 | 728 | 730 |
| 2034 | 608 | 746 | 749 |
| 2035 | 605 | 761 | 726 |
| 2036 | 607 | 776 | 741 |
| 2037 | 609 | 792 | 756 |
| 2038 | 611 | 808 | 771 |
| 2039 | 613 | 824 | 787 |
| 2040 | 615 | 840 | 803 |
| 2041 | 617 | 857 | 819 |
| 2042 | 619 | 874 | 836 |
| 2043 | 621 | 892 | 853 |
| 2044 | 603 | 901 | 712 |
| 2045 | 604 | 910 | 719 |
| 2046 | 605 | 919 | 726 |
| 2047 | 606 | 928 | 734 |
| 2048 | 607 | 937 | 741 |
| 2049 | 608 | **947** | 749 |

Fuente: Grupo consultor.

En la siguiente grafica se muestra la proyección de población y su tendencia para cada método, observándose que la proyección que presenta un comportamiento conservador y promedio es la proyección por el método geométrico, por lo que a criterio del consultor se determina implementar para el diseño del alcantarillado el **método geométrico**, ya que es uno de los tres métodos que más se adecua a las condiciones del área de estudio.

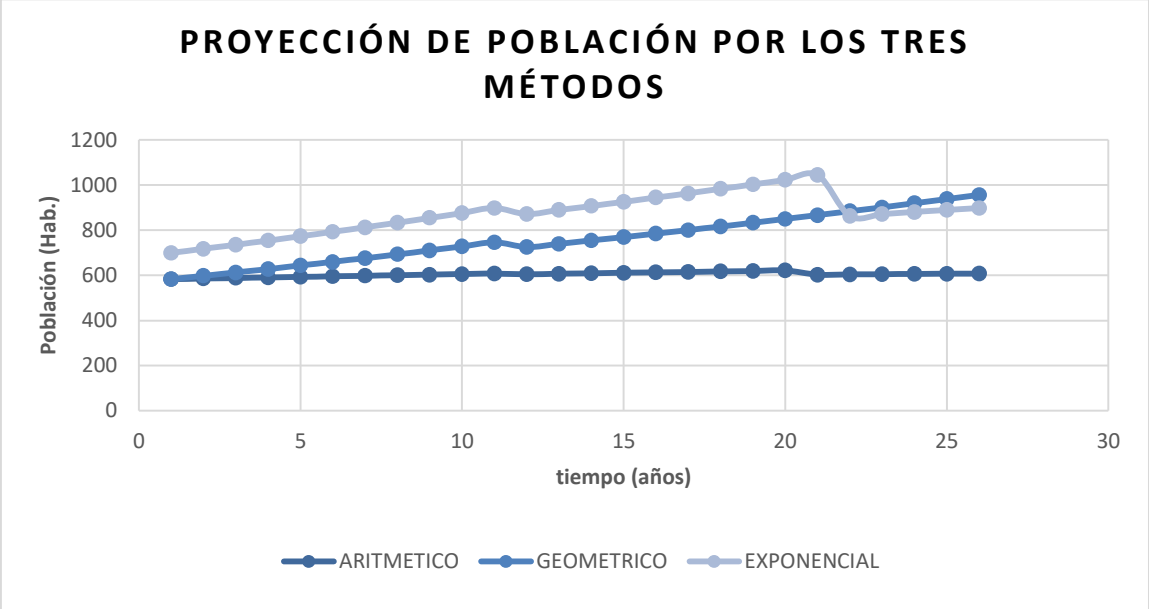



**Figura 9. Proyección de población por los tres métodos de análisis.**
Fuente: Grupo consultor.

## 11.0 POBLACIÓN FLOTANTE

Este tipo de población se conoce como población flotante o población Turística, correspondiente a los habitantes que llegan al municipio en días festivos, ferias y fiestas y vacaciones, tal como se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla 9. Dios festivos y turísticos**

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD DE DÍAS |
|---|---|
| VACACIONES | 90 |
| SEMANA SANTA | 5 |
| DIA DEL CAMPESINO | 1 |
| FESTIVDAD DEL VIRGEN DEL CARMEN | 2 |
| FESTIVOS FIESTA PATRIAS | 4 |
| PLAZA DE MERCADO | 48 |
| FIESTA VIRGEN | 3 |
| FIESTA SEÑOR DIVINA MISERICORDIA | 2 |
| AGIONALDO PALERMANO | 6 |
| **TOTAL** | **161** |
| **TASE DE POBLACION** | **0.44** |

Fuente: Consultor.

De acuerdo al cálculo anterior, se obtiene una tasa de población flotante de 0.44%, por consiguiente, en la siguiente tabla se calcula la población flotante año a año. La sumatoria de la población residente y la población flotante nos permite conocer la población total residente:

**Tabla 10. Proyección de población flotante:**

| AÑO | POBLACIÓN RESIDENTE MÉTODO GEOMÉTRICO (Hab) | POBLACIÓN FLOTANTE (hab.) | TOTAL POBLACIÓN RESIDENTE (hab.) |
|---|---|---|---|
| 2024 | 583 | 257 | 840 |
| 2025 | 598 | 264 | 861 |
| 2026 | 613 | 270 | 883 |
| 2027 | 628 | 277 | 905 |
| 2028 | 644 | 284 | 927 |
| **2029** | 660 | **291** | 951 |
| 2030 | 676 | 298 | 974 |
| 2031 | 693 | 306 | 999 |
| 2032 | 710 | 313 | 1024 |
| 2033 | 728 | 321 | 1049 |
| **2034** | 746 | **329** | 1075 |
| 2035 | 761 | 336 | 1097 |
| 2036 | 776 | 342 | 1119 |
| 2037 | 792 | 349 | 1141 |
| 2038 | 808 | 356 | 1164 |
| **2039** | 824 | **363** | 1187 |
| 2040 | 840 | 371 | 1211 |
| 2041 | 857 | 378 | 1235 |
| 2042 | 874 | 386 | 1260 |
| 2043 | 892 | 393 | 1285 |
| **2044** | 901 | **397** | 1298 |
| 2045 | 910 | 401 | 1311 |
| 2046 | 919 | 405 | 1324 |
| 2047 | 928 | 409 | 1337 |
| 2048 | 937 | 413 | 1351 |
| **2049** | 947 | **418** | 1364 |
| 2050 | 956 | 422 | 1378 |
| 2051 | 966 | 426 | 1392 |
| 2052 | 975 | 430 | 1406 |
| 2053 | 985 | 435 | 1420 |
| **2054** | 995 | **439** | 1434 |

Fuente: Consultor

## 12.0 POBLACIÓN ESTUDIANTIL

En base a la información suministrada por el colegio Agropecuario, a la fecha la institución cuenta con un total de 105 personas, los cuales sumados a las personas que hacen uso de la biblioteca (5 en total), hacen un total de 110 personas incluyendo estudiantes, personal administrativo y operativo. En base a esta información, se realiza la proyección de población estudiantil para el año horizonte (2049), Obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 11. Proyección de población flotante:**

| AÑOS | AÑO | POBLACIÓN ESTUDIANTIL MÉTODO GEOMÉTRICO |
|---|---|---|
| 0 | 2024 | 110 |
| 1 | 2025 | 113 |
| 2 | 2026 | 117 |
| 3 | 2027 | 120 |
| 4 | 2028 | 123 |
| **5** | **2029** | 127 |
| 6 | 2030 | 131 |
| 7 | 2031 | 135 |
| 8 | 2032 | 139 |
| 9 | 2033 | 143 |
| **10** | **2034** | 147 |
| 11 | 2035 | 151 |
| 12 | 2036 | 156 |
| 13 | 2037 | 160 |
| 14 | 2038 | 165 |
| **15** | **2039** | 170 |
| 16 | 2040 | 175 |
| 17 | 2041 | 180 |
| 18 | 2042 | 185 |
| 19 | 2043 | 190 |
| **20** | **2044** | 196 |
| 21 | 2045 | 202 |
| 22 | 2046 | 208 |
| 23 | 2047 | 214 |
| 24 | 2048 | 220 |
| **25** | **2049** | 226 |
| 26 | 2050 | 233 |
| 27 | 2051 | 240 |
| 28 | 2052 | 247 |
| 29 | 2053 | 254 |
| **30** | **2054** | 262 |

Fuente: Consultor

## 13.0 POBLACIÓN TOTAL

Una vez estimada la población actual y futura residente, flotante y estudiantil, es posible obtener datos de población total al año actual y al año frontera (2049). Esta población total es el producto de la suma de las poblaciones mencionadas. A modo de resumen a continuación se relacionan y se presentan las poblaciones actuales y proyectadas consideradas para el presente estudio:

**Tabla 12. POBLACIÓN TOTAL DE DISEÑO:**

| AÑOS | AÑO | POBLACIÓN RESIDENTE MÉTODO GEOMÉTRICO (Hab) | POBLACIÓN FLOTANTE (hab.) | TOTAL POBLACIÓN RESIDENTE (hab.) | POBLACIÓN ESTUDIANTIL MÉTODO GEOMÉTRICO | POBLACIÓN TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2024 | 583 | 257 | 840 | 110 | 950 |
| 1 | 2025 | 598 | 264 | 861 | 113 | 974 |
| 2 | 2026 | 613 | 270 | 883 | 117 | 999 |
| 3 | 2027 | 628 | 277 | 905 | 120 | 1025 |
| 4 | 2028 | 644 | 284 | 927 | 123 | 1051 |
| **5** | **2029** | 660 | **291** | 951 | 127 | 1078 |
| 6 | 2030 | 676 | 298 | 974 | 131 | 1105 |
| 7 | 2031 | 693 | 306 | 999 | 135 | 1133 |
| 8 | 2032 | 710 | 313 | 1024 | 139 | 1162 |
| 9 | 2033 | 728 | 321 | 1049 | 143 | 1192 |
| **10** | **2034** | 746 | **329** | 1075 | 147 | 1222 |
| 11 | 2035 | 761 | 336 | 1097 | 151 | 1248 |
| 12 | 2036 | 776 | 342 | 1119 | 156 | 1274 |
| 13 | 2037 | 792 | 349 | 1141 | 160 | 1301 |
| 14 | 2038 | 808 | 356 | 1164 | 165 | 1329 |
| **15** | **2039** | 824 | **363** | 1187 | 170 | 1357 |
| 16 | 2040 | 840 | 371 | 1211 | 175 | 1386 |
| 17 | 2041 | 857 | 378 | 1235 | 180 | 1415 |
| 18 | 2042 | 874 | 386 | 1260 | 185 | 1445 |
| 19 | 2043 | 892 | 393 | 1285 | 190 | 1476 |
| **20** | **2044** | 901 | **397** | 1298 | 196 | 1494 |
| 21 | 2045 | 910 | 401 | 1311 | 202 | 1513 |
| 22 | 2046 | 919 | 405 | 1324 | 208 | 1532 |
| 23 | 2047 | 928 | 409 | 1337 | 214 | 1551 |
| 24 | 2048 | 937 | 413 | 1351 | 220 | 1571 |
| **25** | **2049** | 947 | **418** | 1364 | 226 | 1591 |
| 26 | 2050 | 956 | 422 | 1378 | 233 | 1611 |
| 27 | 2051 | 966 | 426 | 1392 | 240 | 1632 |
| 28 | 2052 | 975 | 430 | 1406 | 247 | 1653 |
| 29 | 2053 | 985 | 435 | 1420 | 254 | 1674 |
| **30** | **2054** | 995 | **439** | 1434 | 262 | 1696 |

Fuente: Consultor

## 14.0 ESTIMACIÓN DE DOTACIÓN

La dotación es la asignación de agua que se le hace a un habitante usuario de un sistema de acueducto y alcantarillado. La demanda total de agua se obtiene cuando se multiplica la población que va a ser servida por la dotación; por tal razón, la evaluación de la dotación es tan importante como la proyección de la población. Dentro del planeamiento de expansiones de sistemas de acueducto y alcantarillado sólo una adecuada definición de estas dos variables permitirá el planteamiento de un plan de obras que garantice una óptima inversión de los recursos del municipio sin llegar a ninguno de los dos extremos: la generación de un "lucro cesante" por el sobredimensionamiento de la demanda o la insuficiencia a corto plazo de las obras propuestas por el sub dimensionamiento de la misma.

La dotación, tal como ya se ha definido, se denomina usualmente "dotación bruta" (dbruta), y en su definición intervienen dos variables: la dotación neta (dneta) y el índice de pérdidas de agua en el sistema de acueducto (%P). Se define la dotación bruta como:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

La resolución 330 del 8 de junio del 2017, señala en su titulo 2, Requisitos técnicos, Capitulo 1 Aspectos generales, Articulo 44 Dotación bruta, en su parágrafo 1, … *el porcentaje de perdidas técnicas máximas… no deberá superar el 25%*. Haciendo alusión a esta observación, el operador del servicio de acueducto y alcantarillado deberá propender por disminuir el porcentaje de perdidas en el sistema a este valor año a año, comenzando por establecer el valor real de las perdidas en el sistema empleando las metodologías señaladas en la normatividad vigente., e implementando metodologías de control y seguimiento del sistema.

La unidad usual de medida de la dotación neta es litros por habitante por día (L/hab.dia), es decir la cantidad de agua que consume un habitante en un periodo establecido.

## 15.0 DOTACIÓN NETA

En la evaluación de las dotaciones netas de agua (consumos) para el sector se pueden tener tantas dotaciones como usos de agua existan. Los usos serán mencionados a continuación:

Residencial, comercial, industrial, institucional, servicios recreativos, comunitarios, escuelas urbanas y/o rurales, todos los cuales deberán ser considerados en la evaluación de dotaciones y demandas de agua. Sin embargo, es una práctica común de la ingeniería hidráulica que en sistemas donde el consumo de uso residencial represente más del 90% del consumo total, el cálculo de la demanda de agua se realice únicamente a partir de la dotación neta residencial sumando a esta un pequeño porcentaje que tenga en cuenta los otros usos agrupados, como es el caso de los abrevaderos para beber aguas los animales, lo cual no se debe utilizar agua tratada para este uso.

La resolución 330 del 8 de junio del 2017 en su artículo 43 Dotación neta máxima, establece un valor máximo de dotación en función de la altura del sitio de interés con respecto al nivel del mar:

**Tabla 13. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida**

| 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 0330 del 08 de junio de 2017.

Según los datos de topografía levantados en campo, el centro poblado del corregimiento de Palermo se encuentra ubicado a poco más de 2000 msnm, por tal razón se adopta una dotación neta máxima de 120 L/Hab*día de consumo.

## 16.0 DENSIDAD POBLACIONAL DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Para este cálculo, se debe tener en cuenta el perímetro urbano con la población existente y proyectada, parámetro esencial para la obtención del caudal residual.

El área total de estudio existente es de 134714. m² es decir 13.47 Hectáreas.

En común acuerdo con la secretaria de planeación del municipio de Paipa, se concertó que la zona de desarrollo o zona de expansión urbana será la misma zona urbana o perímetro urbano actual puesto que a la fecha de elaboración del presente estudio, en la cabecera urbana actual aún no se no presenta un avance significativo a nivel de edificaciones y se espera alcance su máximo potencial al año frontera o año horizonte (2049).

Como se presentó en la sección 9.3 habitantes por vivienda del presente documento, según el Dane, a la fecha el numero de personas por vivienda promedio es de 3.1 habitantes. Así mismo, en la sección 9.4 Usuarios o suscriptores actuales, se indica que el numero actual de suscriptores es de 188. En base a esta información podemos estimar la población actual (2023) la cual será el producto de estas dos variables:

**Población actual = 3.1 Hab/vivienda * 188 Suscriptores = 583 Habitantes.**

A partir de este dato, podemos calcular la densidad poblacional existente y la densidad poblacional proyectada, la cual será el resultado dividir el número de habitantes en el área del casco urbano delimitado:

**Densidad poblacional existente = 583 Hab / 13.47 Ha. = 43.28 Hab/Ha**

**Densidad poblacional proyectada = 995 Hab / 13.47 Ha. = 73.86 Hab/Ha**

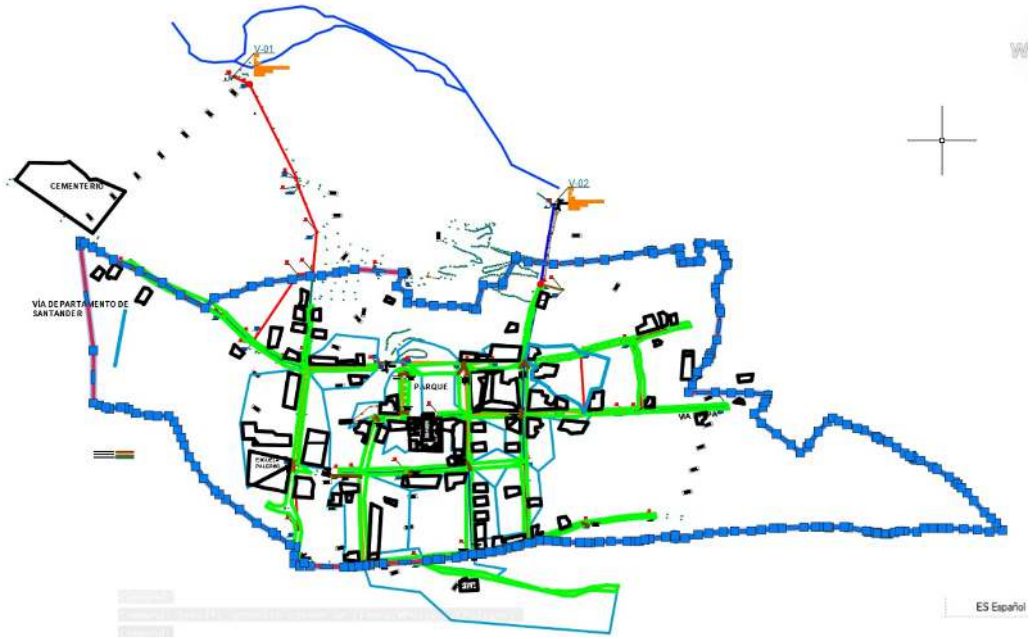



**Figura 10. Perímetro urbano centro poblado del corregimiento de Palermo (existente y proyectado)**
Fuente: Concertación entre secretaria de Planeación de Paipa y Grupo Consultor:

## 17.0 DISEÑO ALCANTARILLADO SANITARIO

La resolución 330 del 8 de junio de 2017, modificada por la resolución 799 de diciembre del 2021, en su Capítulo 4 Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales, Sección 1 Consideraciones técnicas generales de las redes de alcantarillado, presenta en su artículo 134 los caudales que se deben considerar para realizar el diseño de la red de alcantarillado sanitario. El inciso en mención señala que *…se deben estimar los caudales para las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño, en cada uno de los tramos de la red…*

Los caudales de diseño, se calculan de acuerdo a los aportes domésticos (residenciales), comerciales, industriales y oficiales (o institucionales), adicionando las conexiones erradas y los aportes por infiltración. Para efectos de estimar los

caudales domésticos, se hace necesario multiplicar el área aferente de cada tramo por la densidad demográfica promedio del municipio.

Para la estimación del caudal de diseño de aguas residuales se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- **Contribuciones de aguas residuales domésticas y otros usos**

El volumen de aguas residuales aportadas a un sistema de recolección y evacuación está integrado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Su estimación se basa en información histórica de consumos, mediciones periódicas y evaluaciones regulares, Para su estimación deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones. La siguiente ecuación es aplicable siempre y cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable:

$$\boldsymbol{Q_D} = C_R x D_{NETAp} x A$$

Donde ($D_{NETAp}$) es la demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (l/s.ha) y (A) es el área tributaria de drenaje (ha).

Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable por suscriptor, se debe calcular con la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{Q_D} = \frac{C_R x P_S x D_{NETAs}}{30}$$

Donde (Ps) es el número de suscriptores proyectados al periodo de diseño y (DNETAs) es la demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor ($m^3$/suscriptor-mes).

Cuando se utilice proyección de población, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Q_D} = \frac{C_R x P x D_{NETA}}{86400}$$

Donde ($D_{NETA}$) es la dotación neta de agua potable proyectada por habitante (l/hab. día) y (P) es el número de habitantes proyectados al período de diseño.

**El coeficiente de retorno ($C_R$)** debe estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona

prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un **valor de 0,85**

- **Caudal de aguas residuales no domésticas.** Para zonas netamente industriales, comerciales e institucionales se deben elaborar análisis específicos de aportes de aguas residuales.

- **Caudal medio diario**. Se debe calcular el caudal medio diario de aguas residuales como la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

- **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 la 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**.

- **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 **0,20 L/s.ha.**

- **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 acepta que la infiltración se calcule con base en un factor de **0,1 l/s.ha** aplicado en el área de aferencia de infiltración de alcantarillado entendida esta como el área de las calles del sector beneficiado con el sistema.

- **Caudal de diseño aguas residuales.** El caudal de diseño debe obtenerse sumando el caudal máximo horario, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas. Cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor que **1,5 L/s**, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para el tramo

- **Caudal de aguas combinadas**

El caudal de diseño de las redes de alcantarillado combinados es igual al caudal de aguas lluvias. Sin embargo, cuando el caudal de aguas residuales es mayor que el 5% del caudal de aguas lluvias, debe tomarse como caudal de diseño la suma de los caudales de aguas residuales y aguas lluvias. En este caso, el caudal de aguas residuales no incluye el caudal de conexiones erradas.

- **Diseño hidráulico**

Los colectores deben diseñarse como conducciones a flujo libre por gravedad, el flujo de aguas residuales o pluviales en una red de alcantarillado para su recolección y evacuación no es permanente, Sin embargo, el dimensionamiento hidráulico de sección de un colector puede hacerse suponiendo que el flujo de este es uniforme.

Para el análisis y modelación del sistema de alcantarillado se utilizó la fórmula Matemática de Manning.

**Tabla 14. Valores de Coeficientes de Rugosidad de Manning para varios materiales.**

| *MATERIAL CONDUCTOS CERRADOS* | *n* |
|---|---|
| *Asbesto-cemento* | *0,011-0,015* |
| *Concreto prefabricado interior liso* | *0,011-0,015* |
| *Concreto prefabricado interior rugoso* | *0,015-0,017* |
| *Concreto Fundido en sitio, formas lisas* | *0,011-0,015* |
| *Concreto Fundido en sitio, formas rugosas* | *0,015-0,017* |
| *Gres Vitrificado.* | *0,011-0,015* |
| *Hierro dúctil revestido interiormente con cemento* | *0,011-0,015* |
| *PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso* | *0,010-0,015* |
| *Metal corrugado* | *0,022-0,026* |
| *Colectores de ladrillo* | *0,013-0,017* |

Fuente: Rugosidad-López Cualla

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) * R^{2/3} * S^{1/2}$$

**n:** Coeficiente de Rugosidad, el cual puede ser seleccionado según el material del conducto de la siguiente tabla.
**S:** Pendiente de la tubería
**R:** Radio del conducto.

- **VELOCIDAD Y PENDIENTE MÍNIMA**

La velocidad mínima real permitida para evitar la sedimentación dentro de un colector de alcantarillado sanitario del tipo convencional es de 0,45 m/s. También es posible establecer una velocidad mínima en la tubería en base al esfuerzo cortante producido en la pared de la misma por parte de las aguas sanitarias transportadas. Este esfuerzo cortante se calcula en base al peso especifico del agua residual, el radio hidráulico de la sección de flujo y la pendiente de la tubería. El calculo de dicho esfuerzo cortante no debe exceder 1.0 Pa (0.10kg/cm2).

- **VELOCIDAD Y PENDIENTE MÁXIMA**

La velocidad máxima real en un colector sanitario que funciona por gravedad no debe sobrepasar 5 m/s.

- **PROFUNDIDAD HIDRÁULICA REAL**

Profundidad máxima de flujo de 0,93 Diámetro y mínima de 0,25 Diámetro.

- **PROFUNDIDAD MÍNIMA A LA COTA CLAVE**

La profundidad clave de la tubería de alcantarillado sanitario obedece a una serie de factores entre los cuales se destaca:

Cota batea de la tubería de acueducto: En el caso critico en el que una tubería de alcantarillado deba pasar cerca de una tubería de acueducto, La cota clave de la tubería de alcantarillado debe estar por debajo de la cota batea de acueducto. La resolución 330 modificada por la resolución 799, establece en su art. 145, que la profundidad mínima a la cota clave debe ser de 0.60m. En cruces de vías y en la entrada de garajes se deben proveer protecciones estructurales a la tubería o garantizar un recubrimiento mínimo de 1.00m. La presente consultoría sugiere utilizar profundidades mínimas de 1.45 m teniendo en cuenta que los trazados de la red van por las vías.

- **PROFUNDIDAD MÁXIMA A LA COTA CLAVE**

En general, la máxima profundidad de instalación de los colectores con relación a la rasante definitiva de la vía o andén, bajo la cual están trazados, es del orden de 2.5 a 3 m y esta es condicionada por la carga muerta del relleno.

- **DIÁMETRO MÍNIMO**

En las redes de recolección y evacuación de aguas residuales, y principalmente en los primeros tramos, la sección circular es la más usual para los colectores. El diámetro nominal mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales es 250 mm (10 pulgadas) con el fin de evitar obstrucciones de los conductos por objetos relativamente grandes introducidos al sistema.

**DISTANCIAS MÍNIMAS A OTRAS REDES**

Las distancias mínimas libres entre los colectores que conforman la red de recolección y evacuación de aguas residuales o lluvias y las tuberías de otras redes de servicios públicos se presentan a continuación. En los planos del proyecto debe indicarse la posición relativa de las redes de alcantarillado, alcantarillado, energía y comunicaciones.

Las distancias mínimas libres entre los colectores que conforman la red del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales y las tuberías de otras redes de servicios públicos son 1,0 m en la dirección horizontal y 0,50 m en la dirección vertical.

## 17.1 DETERMINACIÓN CAUDAL DE DISEÑO

Teniendo en cuenta una población inicial urbana de 583 habitantes, una dotación neta de 120 L/s-Hab día, y de determinar los coeficientes de retorno del 0.85, se tiene los siguientes caudales de diseño alcantarillado sanitario. El estimado de las áreas institucionales y comerciales se hace en base al trabajo de campo realizado, considerando especialmente las áreas de mayor influencia en la zona de estudio. Para definir los caudales institucionales y comerciales, se adoptan valores de 0.20L/s*ha. El caudal máximo horario se estimó aplicando un valor de mayoración de 2.0 (res 330 de 2017, art. 134, lit. 4 *…este valor deberá estar entre 1.4 y 3.8*…). Tabla 15. Estimación de áreas según usos

## Tabla 16. Cálculo de caudales de diseño para alcantarillado

| Establecimiento | uso | Area estimada | | |
|---|---|---|---|---|
| Polideportivo | Uso Comercial | 775 | m2 | |
| Restaurante Santa Rosalia | Uso comercial | 52 | m2 | |
| Casa cural | Uso oficial | 52 | m2 | |
| Matadero municipal | Uso oficial | 130 | m2 | |
| Puesto de salud | Uso institucional | 181 | m2 | |
| Institución educativa técr | Uso institucional | 517 | m2 | |
| TOTAL AREA COMERCIAL | 827 | m2 | 0.1 | Ha |
| TOTAL AREA INSTITUCIONAL | 880 | m2 | 0.1 | Ha |

Fuente: Grupo Consultor

## Tabla 17. Cálculo de caudales de diseño para alcantarillado.

| No. | Año | Población | Dotación Neta (L/s*hab) | Coeficiente de retorno (%) | Caudal de Aguas Residuales (L/s) | Area institucional (Ha.) | Area Comercial (Ha.) | Caudal Institucional (L/s) | Caudal comercial (L/s) | Caudal Medio Diario (L/s) | Caudal Maximo Horario QMH (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2024 | 583 | 120 | 85% | 0.69 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.77 | 1.55 |
| 1 | 2025 | 598 | 120 | 85% | 0.71 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.79 | 1.58 |
| 2 | 2026 | 613 | 120 | 85% | 0.72 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.81 | 1.62 |
| 3 | 2027 | 628 | 120 | 85% | 0.74 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.83 | 1.66 |
| 4 | 2028 | 644 | 120 | 85% | 0.76 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.85 | 1.69 |
| 5 | 2029 | 660 | 120 | 85% | 0.78 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.87 | 1.73 |
| 6 | 2030 | 676 | 120 | 85% | 0.80 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.88 | 1.77 |
| 7 | 2031 | 693 | 120 | 85% | 0.82 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.90 | 1.81 |
| 8 | 2032 | 710 | 120 | 85% | 0.84 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.92 | 1.85 |
| 9 | 2033 | 728 | 120 | 85% | 0.86 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.95 | 1.89 |
| 10 | 2034 | 746 | 120 | 85% | 0.88 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.97 | 1.93 |
| 11 | 2035 | 761 | 120 | 85% | 0.90 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.99 | 1.97 |
| 12 | 2036 | 776 | 120 | 85% | 0.92 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.00 | 2.01 |
| 13 | 2037 | 792 | 120 | 85% | 0.93 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.02 | 2.04 |
| 14 | 2038 | 808 | 120 | 85% | 0.95 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.04 | 2.08 |
| 15 | 2039 | 824 | 120 | 85% | 0.97 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.06 | 2.12 |
| 16 | 2040 | 840 | 120 | 85% | 0.99 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.08 | 2.16 |
| 17 | 2041 | 857 | 120 | 85% | 1.01 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.10 | 2.20 |
| 18 | 2042 | 874 | 120 | 85% | 1.03 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.12 | 2.24 |
| 19 | 2043 | 892 | 120 | 85% | 1.05 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.14 | 2.28 |
| 20 | 2044 | 901 | 120 | 85% | 1.06 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.15 | 2.30 |
| 21 | 2045 | 910 | 120 | 85% | 1.07 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.16 | 2.32 |
| 22 | 2046 | 919 | 120 | 85% | 1.08 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.17 | 2.34 |
| 23 | 2047 | 928 | 120 | 85% | 1.10 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.18 | 2.36 |
| 24 | 2048 | 937 | 120 | 85% | 1.11 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.19 | 2.39 |
| 25 | 2049 | 947 | 120 | 85% | 1.12 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.20 | 2.41 |
| 26 | 2050 | 956 | 120 | 85% | 1.13 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.22 | 2.43 |
| 27 | 2051 | 966 | 120 | 85% | 1.14 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.23 | 2.45 |
| 28 | 2052 | 975 | 120 | 85% | 1.15 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.24 | 2.48 |
| 29 | 2053 | 985 | 120 | 85% | 1.16 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.25 | 2.50 |
| 30 | 2054 | 995 | 120 | 85% | 1.17 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 1.26 | 2.52 |

| No. | Año | Población | Area casco urbano (Ha.) | Caudal Conexiones Erradas (L/s) | Area de Vias (Ha.) | Caudal de Infiltración (L/s) | Caudal de Diseño (L/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2024 | 583 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.44 |
| 1 | 2025 | 598 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.47 |
| 2 | 2026 | 613 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.51 |
| 3 | 2027 | 628 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.54 |
| 4 | 2028 | 644 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.58 |
| 5 | 2029 | 660 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.62 |
| 6 | 2030 | 676 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.66 |
| 7 | 2031 | 693 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.70 |
| 8 | 2032 | 710 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.74 |
| 9 | 2033 | 728 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.78 |
| 10 | 2034 | 746 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.82 |
| 11 | 2035 | 761 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.86 |
| 12 | 2036 | 776 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.89 |
| 13 | 2037 | 792 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.93 |
| 14 | 2038 | 808 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 4.97 |
| 15 | 2039 | 824 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.01 |
| 16 | 2040 | 840 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.05 |
| 17 | 2041 | 857 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.08 |
| 18 | 2042 | 874 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.13 |
| 19 | 2043 | 892 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.17 |
| 20 | 2044 | 901 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.19 |
| 21 | 2045 | 910 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.21 |
| 22 | 2046 | 919 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.23 |
| 23 | 2047 | 928 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.25 |
| 24 | 2048 | 937 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.27 |
| 25 | 2049 | 947 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.30 |
| 26 | 2050 | 956 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.32 |
| 27 | 2051 | 966 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.34 |
| 28 | 2052 | 975 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.36 |
| 29 | 2053 | 985 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.39 |
| 30 | 2054 | 995 | 13.47 | 2.694 | 0.97 | 0.194 | 5.41 |

Fuente: Grupo Consultor

## 18.0 ALCANTARILLADO PLUVIAL

En este escenario se realiza los análisis del caudal aportante proveniente de aguas lluvias.

### 18.1 ÁREAS DE DRENAJE

El trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural.

- **Metodología Caudal de aguas lluvias**. La estimación de los caudales de aguas lluvias para el diseño de colectores y canales se debe realizar mediante modelos lluvia - escorrentía, basados en modelos de abstracciones. Se puede utilizar el **método racional**, siempre y cuando el área de drenaje sea inferior a **80 ha**. el

área máxima del sector casco urbano actual y futuro definido para el centro poblado de Palermo, es de 13.47Ha, por consiguiente, se implementa el método racional para determinación del caudal de aguas lluvias.

Para su estimación, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

## 18.2 PERÍODO DE RETORNO

El período de retorno de la lluvia de diseño se debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico, el comercio, la industria y la infraestructura. En ningún caso podrán ser menores que los valores mostrados en la tabla.

**Tabla 18. Periodos de retorno**

| Características del área de drenaje | Período de retorno (años) |
|---|---|
| Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas | 3 |
| Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas | 5 |
| Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas | 5 |
| Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas | 10 |
| Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas | 50 |
| Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas | 100 |
| Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas | 100 |

Fuente: Artículo 135 de la resolución 0330 del 08 de junio de 2017

El área tributaria del sistema de alcantarillado actual es de 8.61Ha. Bajo esta consideración, el valor del periodo de retorno asumido seria de 5 años. Teniendo en cuenta los términos de referencia, el presente análisis evalúa las condiciones de periodo de retorno para 50 y 100 años, con el fin de conocer la respuesta del sistema de recolección y transporte de aguas lluvias.

## 18.3 CAUDAL DE DISEÑO AGUAS LLUVIAS

Para la estimación del caudal de diseño puede utilizarse el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. La ecuación del método racional es:

$Q = 2.78 \cdot C \cdot i \cdot A$ Cuando la intensidad está en mm/hr se multiplica por 2.78

$Q = C \cdot i \cdot A$ Cuando la intensidad está en L/s-Ha.

De acuerdo con el método racional, el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, y éste es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

- El caudal pico en cualquier punto es una función directa de la intensidad i de la lluvia, durante el tiempo de concentración para ese punto.
- La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.
- El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad media de la lluvia por la relación anotada en el primer punto anterior.

El método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta de 700 ha. Cuando son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar los caudales mediante otros modelos lluvia escorrentía que representen mejor los hietogramas de precipitación e hidrogramas de respuesta de las áreas de drenaje y que eventualmente tengan en cuenta la capacidad de amortiguamiento de las ondas dentro de la red de colectores. En estos casos, es necesario justificar el método de cálculo.

## 18.4 INFORMACIÓN CLIMATOLOGÍA

Estación: PALERMO [24010870].

En el corregimiento de Palermo, se encuentra una estación pluviométrica (convencional) que ha estado en activa desde la fecha de su instalación en 1970.
La estación PALERMO [24010870] se encuentra en Paipa, vía Palermo-Gambita, a una altura sobre el nivel del mar de 2200 metros. Esta tiene una frecuencia diaria de registro de datos pluviométricos. La precipitación máxima registrada durante el

periodo de análisis de los datos, correspondiente a los últimos 23 años, ha sido de 80.50 mm 155.5 mm, presentada en abril de 2017.



**Figura 11. Ubicación geoespacial de la estación PALERMO [24010870] en el corregimiento de PALERMO**

Fuente: Grupo consultor – Google Earth

**RESUMEN INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DE PRECIPITACIONES MAXIMA 24 H, MESES MULTIANUAL**
**VALORES MÁXIMO MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm) ESTACIÓN: 24010870**

**MUNICIPIO:** Paipa **DEPARTAMENTO:** Boyacá **DATOS OBTENIDOS:** INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
**Fecha descarga:** 5/3/2023 **Fecha de Instalación** 15/12/1970 00:00 **Fecha de Suspensión:** En funcionamiento
**NOMBRE ESTACIÓN:** PALERMO [24010870]

| Latitud | Longitud | Altitud | Categoría | Id Parámetro | Tipo de estación | Unidad |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.89952778 | -73.19619 | 2200 | PluviomÃ©trica | PRECIPITACIÓN | pluviométrico (convencional) 24010870 | milímetros (mm) |

**Analisis de datos** 23 Años

| CANTIDAD AÑOS | AÑO | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | VALOR MAX ANUAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **2000** | 11.80 | 22.00 | 40.60 | 46.50 | 15.00 | 20.00 | 23.00 | 8.00 | 19.70 | 27.50 | 27.50 | 12.00 | 46.50 |
| 2 | **2001** | 13.00 | 14.50 | 31.00 | 26.00 | 44.50 | 13.00 | 9.80 | 3.50 | 17.00 | 38.00 | 25.00 | 23.00 | 44.50 |
| 3 | **2002** | 9.50 | 23.00 | 42.00 | 28.00 | 41.00 | 27.00 | 34.00 | 28.00 | 33.00 | 22.00 | 24.00 | 29.00 | 42.00 |
| 4 | **2003** | 6.00 | 50.00 | 32.50 | 45.00 | 27.50 | 44.50 | 4.00 | 15.50 | 16.00 | 35.00 | 28.00 | 26.00 | 50.00 |
| 5 | **2004** | 31.50 | 19.00 | 14.00 | 29.00 | 23.00 | 2.50 | 17.00 | 3.50 | 26.50 | 19.00 | 19.50 | 26.20 | 31.50 |
| 6 | **2005** | 26.50 | 26.50 | 15.50 | 46.00 | 32.00 | 11.70 | 36.00 | 16.00 | 19.50 | 47.50 | 31.00 | 14.50 | 47.50 |
| 7 | **2006** | 33.40 | 12.50 | 35.00 | 22.00 | 32.00 | 41.00 | 7.70 | 8.00 | 9.30 | 19.50 | 25.80 | 30.20 | 41.00 |
| 8 | **2007** | 22.50 | 10.40 | 15.60 | 26.50 | 27.50 | 21.00 | 15.50 | 23.50 | 25.80 | 37.00 | 18.40 | 20.00 | 37.00 |
| 9 | **2008** | 24.00 | 13.50 | 15.00 | 23.00 | 24.00 | 15.50 | 19.50 | 20.00 | 15.00 | 46.00 | 37.00 | 24.50 | 46.00 |
| 10 | **2009** | 25.50 | 23.30 | 31.60 | 41.50 | 18.50 | 27.00 | 4.00 | 22.00 | 13.00 | 62.00 | 38.00 | 26.50 | 62.00 |
| 11 | **2010** | 42.50 | 11.00 | 49.50 | 52.00 | 34.20 | 15.20 | 31.00 | 20.50 | 21.20 | 38.20 | 27.30 | 27.30 | 52.00 |
| 12 | **2011** | 38.00 | 35.00 | 26.70 | 48.00 | 49.50 | 34.50 | 10.80 | 22.00 | 23.00 | 51.00 | 27.80 | 14.80 | 51.00 |
| 13 | **2012** | 20.50 | 10.70 | 24.40 | 56.50 | 34.50 | 27.00 | 14.50 | 12.00 | 21.50 | 26.00 | 20.00 | 18.00 | 56.50 |
| 14 | **2013** | 13.50 | 22.00 | 21.00 | 22.80 | 46.50 | 10.00 | 27.80 | 23.50 | 24.00 | 28.00 | 48.50 | 14.50 | 48.50 |
| 15 | **2014** | 22.90 | 32.50 | 21.50 | 38.10 | 34.50 | 11.80 | 9.80 | 5.50 | 26.00 | 44.00 | 47.10 | 29.00 | 47.10 |
| 16 | **2015** | 17.00 | 24.00 | 36.00 | 31.50 | 9.00 | 10.30 | 9.30 | 22.50 | 52.50 | 20.30 | 36.20 | 6.50 | 52.50 |
| 17 | **2016** | 11.00 | 13.50 | 28.50 | 27.00 | 22.00 | 10.00 | 9.50 | 4.50 | 20.50 | 0.00 | 51.30 | 43.00 | 51.30 |
| 18 | **2017** | 16.90 | 14.50 | 28.80 | 80.50 | 27.00 | 26.00 | 10.30 | 25.50 | 38.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | **80.50** |
| 19 | **2018** | 0.00 | 13.50 | 34.00 | 24.80 | 14.80 | 14.50 | 7.00 | 14.20 | 19.40 | 23.40 | 8.60 | 6.00 | 34.00 |
| 20 | **2019** | 21.00 | 22.80 | 60.00 | 40.00 | 36.30 | 16.30 | 6.10 | 12.40 | 27.10 | 20.60 | 53.90 | 16.80 | 60.00 |
| 21 | **2020** | 18.00 | 16.20 | 33.50 | 20.60 | 13.80 | 23.00 | 13.50 | 13.40 | 24.90 | 13.10 | 25.00 | 11.50 | 33.50 |
| 22 | **2021** | 10.00 | 18.90 | 22.90 | 30.20 | 30.00 | 30.00 | 6.60 | 25.00 | 60.00 | 25.90 | 60.00 | 24.40 | 60.00 |
| 23 | **2022** | 17.80 | 30.00 | 38.90 | 42.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 42.50 |
| | **MEDIOS (mm)** | 19.69 | 20.84 | 30.37 | 36.87 | 27.70 | 19.64 | 14.20 | 15.17 | 24.06 | 28.00 | 29.56 | 19.29 | 23.78 |
| | **MÁXIMOS (mm)** | 42.50 | 50.00 | 60.00 | **80.50** | 49.50 | 44.50 | 36.00 | 28.00 | 60.00 | 62.00 | 60.00 | 43.00 | 51.33 |
| | **MÍNIMOS (mm)** | 0.00 | 10.40 | 14.00 | 20.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

**Figura 12. Información de la estación pluviométrica PALERMO [24010870]**

Fuente: IDEAM 2023

A partir de esta información es posible construir las curvas IDF para la zona de estudio.

## 18.5 CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA (IDF)

Se deben seleccionar las curvas IDF de cada localidad o región en particular y verificar su validez. Si no existen o no contemplan datos del último quinquenio, se deben obtener a partir de información pluviográfica de la zona, incluyendo los datos más recientes, para derivar las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, derivados con información pluviográfica colombiana. En el análisis se deberán incluir los cambios en las intensidades producidos por los fenómenos de variabilidad y cambio climático sucedidos en Colombia, teniendo en cuenta los lineamientos desarrollados en las comunicaciones nacionales sobre cambio climático, elaborados por el IDEAM.

Con base en el análisis de las curvas IDF bajo el escenario de cambio climático, si la intensidad de diseño, acorde con el periodo de retorno requerido (Tabla 13), es mayor a la intensidad de la curva IDF de este literal, el diseñador deberá plantear un plan de expansión que incluya elementos de redundancia y costos estimados con una proyección al periodo de diseño.

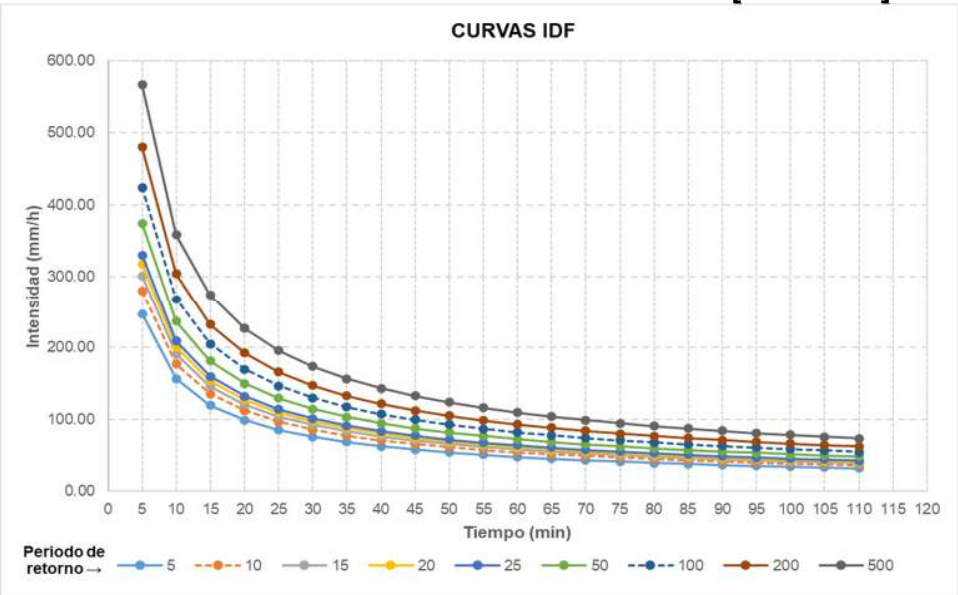
La decisión de implementar los diseños de expansión será tomada por el operador del sistema una vez el análisis de la información pluviográfica de la zona, incluyendo los datos más recientes de monitoreo de precipitación en la cuenca abastecedora, además de la información de caudales de entrada, indiquen una tendencia de aproximación al caudal identificado con las curvas IDF, bajo el escenario de cambio climático en un periodo mínimo de 5 años.

## Tabla 19. Cálculo de las curvas IDF de la estación PALERMO [24010870]

| | PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIEMPO (min) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 100 | 200 | 500 |
| 5 | 247.18 | 280.03 | 301.23 | 317.24 | 330.24 | 374.12 | 423.84 | 480.16 | 566.26 |
| 10 | 156.43 | 177.22 | 190.64 | 200.77 | 209.00 | 236.77 | 268.24 | 303.88 | 358.37 |
| 15 | 119.71 | 135.61 | 145.88 | 153.63 | 159.93 | 181.18 | 205.26 | 232.53 | 274.23 |
| 20 | 99.00 | 112.16 | 120.65 | 127.06 | 132.27 | 149.85 | 169.76 | 192.32 | 226.81 |
| 25 | 85.45 | 96.80 | 104.13 | 109.66 | 114.16 | 129.33 | 146.51 | 165.98 | 195.75 |
| 30 | 75.76 | 85.83 | 92.32 | 97.23 | 101.22 | 114.67 | 129.90 | 147.16 | 173.55 |
| 35 | 68.43 | 77.52 | 83.39 | 87.83 | 91.42 | 103.57 | 117.34 | 132.93 | 156.76 |
| 40 | 62.66 | 70.98 | 76.36 | 80.42 | 83.71 | 94.84 | 107.44 | 121.71 | 143.54 |
| 45 | 57.97 | 65.67 | 70.65 | 74.40 | 77.45 | 87.74 | 99.40 | 112.61 | 132.80 |
| 50 | 54.08 | 61.26 | 65.90 | 69.40 | 72.25 | 81.85 | 92.73 | 105.05 | 123.88 |
| 55 | 50.78 | 57.53 | 61.88 | 65.17 | 67.84 | 76.86 | 87.07 | 98.64 | 116.33 |
| 60 | 47.95 | 54.32 | 58.43 | 61.54 | 64.06 | 72.57 | 82.21 | 93.14 | 109.84 |
| 65 | 45.48 | 51.52 | 55.42 | 58.37 | 60.76 | 68.84 | 77.98 | 88.34 | 104.19 |
| 70 | 43.31 | 49.06 | 52.78 | 55.58 | 57.86 | 65.55 | 74.26 | 84.13 | 99.21 |
| 75 | 41.38 | 46.88 | 50.43 | 53.11 | 55.28 | 62.63 | 70.95 | 80.38 | 94.80 |
| 80 | 39.65 | 44.92 | 48.33 | 50.89 | 52.98 | 60.02 | 68.00 | 77.03 | 90.84 |
| 85 | 38.10 | 43.16 | 46.43 | 48.90 | 50.90 | 57.67 | 65.33 | 74.01 | 87.28 |
| 90 | 36.69 | 41.56 | 44.71 | 47.09 | 49.02 | 55.53 | 62.91 | 71.27 | 84.05 |
| 95 | 35.40 | 40.11 | 43.14 | 45.44 | 47.30 | 53.58 | 60.70 | 68.77 | 81.10 |
| 100 | 34.22 | 38.77 | 41.71 | 43.92 | 45.72 | 51.80 | 58.68 | 66.48 | 78.40 |
| 105 | 33.14 | 37.54 | 40.39 | 42.53 | 44.28 | 50.16 | 56.82 | 64.38 | 75.92 |
| 110 | 32.14 | 36.41 | 39.16 | 41.25 | 42.94 | 48.64 | 55.11 | 62.43 | 73.62 |

Fuente: Grupo consultor.

## Gráfica 13. Curvas IDF - Estación PALERMO [24010870]




Fuente: Grupo consultor.

## 18.6 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño.

$$C = \frac{C1 + C2 + C3}{3}$$

Para el cálculo del coeficiente C1, se usará la tabla 10, donde se tendrán en cuenta las características de la topografía, suelo y cobertura de la microcuenca.

El terreno es accidentado con pendiente de 4%, con suelo arcilloso arenoso y la cobertura es principalmente bosques.

**Tabla 20. Determinación del coeficiente c1**

| FACTOR CLASIFICACION | VALORES DE C |
|---|---|
| **TOPOGRAFIA** | |
| Terreno plano, con pendiente de 0.15% | 0.30 |
| Terreno ondulado, con pendiente de 0.20% | 0.20 |
| Terreno accidentado con pendiente de 4% | 0.10 |
| **SUELO** | |
| Arcilloso firme | 0.10 |
| Arcilloso arenoso | 0.20 |
| Arcilloso arenoso suelto | 0.40 |
| **COBERTURA** | |
| Terrenos cultivados | 0.10 |
| Bosques | 0.20 |

Fuente: Grupo consultor

El terreno es accidentado con pendiente de 4%, con suelo arcilloso arenoso y la cobertura es principalmente bosques.

$C_1 = 1 - (C_{TOP} + C_{SUE} + C_{COB})$

**$C_1 = 1 - (0.10 + 0.20 + 0.20)$**

**$C_1 = 0.50$**

El terreno es accidentado con pendiente de 4%, con suelo arcilloso arenoso y la cobertura es principalmente bosques.

Luego de calcular C1, se procede a calcular C2 teniendo en cuenta que la microcuenca en su mayoría está compuesta de bosques con una topografía accidentada y un tipo de suelo del scs arcilloso-arenoso firme.

**Tabla 21. Cálculo de las curvas IDF de la estación PALERMO**

| TOPOGRAFIA | TIPO DE SUELO DEL SCS | VALORES DE C SEGUN LA CUBIERTA VEGETAL | |
|---|---|---|---|
| | | CULTIVO | BOSQUE |
| LLANA | Arcilloso firme impenetrable ( D ) | 0.50 | 0.40 |
| | Arcillo-arenoso firme (C y B ) | 0.40 | 0.30 |
| | Arcillo-arenoso abierto ( A ) | 0.20 | 0.10 |
| ONDULADA | Arcilloso firme impenetrable ( D ) | 0.60 | 0.50 |
| | Arcillo-arenoso firme (C y B ) | 0.50 | 0.40 |
| | Arcillo-arenoso abierto ( A ) | 0.30 | 0.20 |
| ACCIDENTADA | Arcilloso firme impenetrable ( D ) | 0.70 | 0.60 |
| | Arcillo-arenoso firme (C y B ) | 0.60 | 0.50 |
| | Arcillo-arenoso abierto ( A ) | 0.40 | 0.30 |

Fuente: Grupo consultor

Posterior junto con la clasificación del tipo y uso del suelo correspondiente al grupo A, se obtiene el valor de C3, el cual corresponde a 0.63.

Por tanto, **$C_3$=0.63**

Una vez conocido los valores de los coeficientes, se calcula el promedio del coeficiente C:

$$C = \frac{C1 + C2 + C3}{3}$$

$$C = \frac{0.50 + 0.50 + 0.63}{3}$$

$$C = 0.54$$

El valor del coeficiente de escorrentía (C) es de 0.54 para la zona aportante al alcantarillado pluvial

## 18.7 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector

$$T_C = T_e + T_t$$

## 18.8 TIEMPO DE ENTRADA, TE

Existen varias fórmulas para estimar el tiempo de entrada. La ecuación de la FAA de los Estados Unidos se utiliza frecuentemente para la escorrentía superficial en áreas urbanas. Esta ecuación es

$$T_e = \frac{0.707 \cdot (1.1 - C) \cdot L^{1/2}}{S^{1/3}}$$

Te = tiempo de entrada (m/s)
C = coeficiente de escorrentía (función de la permeabilidad del área de drenaje). L = longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)
S = pendiente promedio entre el punto más alejado y el colector (m/m)

La fórmula de Kerby también permite estimar Te

$$T_e = 1.44 \cdot \left( \frac{Lm}{S^{1/2}} \right)^{0.467}$$

Donde:
L = longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).
S = pendiente promedio entre el punto más alejado y el colector (m/m) m= coeficiente de retardo
m puede ser estimado a partir del tipo de superficie, con base en los valores de la tabla siguiente.

**Tabla 22. Coeficiente de retardo.**

| Tipo de superficie | m |
|---|---|
| Impermeable | 0,02 |
| Suelo sin cobertura, compacto y liso | 0,10 |
| Superficie sin cobertura moderadamente | 0,20 |
| Pastos | 0,30 |
| Terrenos arborizados | 0,70 |
| Pastos densos | 0,80 |

Fuente: Grupo consultor

El Soil Conservation Service (SCS) propone estimar Te con base en la velocidad media de escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la distancia de recorrido.

$$T_e = \frac{L}{(60 \cdot V_S)}$$

Vs puede aproximarse por

a es una constante que depende del tipo de superficie, tal como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla 23. Constante de velocidad superficial.**

| *Tipo de superficie* | *a* |
|---|---|
| Bosque con sotobosque denso | 0,70 |
| Pastos y patios | 2,00 |
| Áreas cultivadas en surcos | 2,70 |
| Suelos desnudos | 3,15 |
| Áreas pavimentadas y tramos iniciales de | 6,50 |

Fuente: Grupo consultor

## 18.9 TIEMPO DE RECORRIDO, TT

El tiempo de recorrido en un colector se puede calcular como

$$T_t = \frac{L_C}{(60 \cdot V)}$$

Donde:
Lc= Longitud del colector m.
V = Velocidad media en el colector m/s.
Dado que Tt debe corresponder a la velocidad real del flujo en el colector, el tiempo de concentración puede determinarse mediante un proceso iterativo, tal como se describe a continuación:

- Suponer un valor de la velocidad real en el colector.
- Calcular Tt.
- Calcular Te.
- Obtener Tc.
- Obtener i para este valor de Tc y el periodo de retorno adoptado.
- Estimar Q con el método racional.

El tiempo de concentración mínimo en pozos iníciales es 10 minutos y máximo 20 minutos. El tiempo de entrada mínimo es 5 minutos.

Si dos o más colectores confluyen a la misma estructura de conexión, debe considerarse como tiempo de concentración en ese punto el mayor de los tiempos de concentración de los respectivos colectores.