

Evaluación de alternativas de recolección y transporte de aguas residuales domésticas bajo  
escenarios de abastecimiento de agua en el asentamiento no planificado Miradores de la  
UIS, Bucaramanga (Colombia)

Cristian Jair Carvajal Villamizar y Jessika Johana Jerez Bayona

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Isabel Cristina Dominguez Rivera

PhD in Agriculture, Food and Rural Development - emphasis in Water management

Codirector

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

Doctor en Ingeniería, énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería civil

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

*Con profundo agradecimiento, dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía y mi refugio en este camino. A mi padre, Crisanto Carvajal, a mi madre, Yolanda Villamizar, y a mi hermano, Jerson Carvajal, les expreso mi eterna gratitud por su amor incondicional, su paciencia y su apoyo en cada etapa de mi carrera. Sus palabras de aliento en las noches de estudio y sus abrazos en los momentos de duda me dieron la fuerza necesaria para perseverar.*

*Gracias por creer en mí y por ser mi mayor inspiración.*

***Cristian Carvajal***

*A mis padres Luz Mila Bayona y Fredy Giovanni Jerez, mi pilar fundamental, por siempre creer en mí y celebrar cada uno de mis triunfos. Su apoyo incondicional y sus sabios consejos me han guiado en este camino académico.*

*A mi hermano Diego Armando Jiménez, mi faro en la oscuridad, por ser mi mayor inspiración y motivarme día a día.*

*A mi compañero de vida Camilo, quien se encargó de mantenerme firme y serena, y vivió mis logros como propios.*

***Jessika Jerez***

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestra más sincera gratitud a Dios por permitirnos culminar este proyecto con éxito. A nuestras familias, nuestro pilar fundamental, gracias por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable. A nuestros profesores e ingenieros, quienes con su sabiduría y experiencia nos guiaron en este camino, les agradecemos profundamente. Y a nuestros compañeros, por su invaluable colaboración y dedicación, que hicieron de este proceso una experiencia enriquecedora y memorable

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
1. Objetivos .....	14
1.1 Objetivo General .....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. Marco teórico .....	15
2.1 Asentamientos no planificados .....	15
2.2 Aguas residuales .....	15
2.2.1 Aguas residuales domésticas.....	15
2.2.2 Normativa de R&T de aguas residuales y reutilización de AG .....	16
2.3 Suministro de agua potable .....	16
2.4 Sistema de recolección y transporte de aguas residuales .....	17
2.4.1 Alcantarillado convencional .....	17
2.4.2 Alcantarillado simplificado.....	18
2.4.3 Sistema convencional y simplificado de alcantarillado .....	19
2.4.3.1 Consideraciones de diseño .....	20
2.4.3.2 Características de la combinación del sistema convencional y simplificado .....	20
3. Metodología .....	22
3.1 Zona de estudio .....	22
3.2 Fase I: Diagnóstico de sistema actual .....	24
3.2.1 Topografía del asentamiento.....	24

3.2.2 Caracterización del sistema de abastecimiento y saneamiento del asentamiento.....	26
3.2.3 Aspectos demográficos del asentamiento .....	27
3.3 Fase II: Planteamiento de escenarios de abastecimiento y uso de agua .....	27
3.4 Fase III: Formulación de alternativas .....	28
3.4.1 Selección y trazado de sistema de alcantarillado.....	29
3.4.2 Distribución de áreas de drenaje .....	29
3.4.3 Diseño del alcantarillado sanitario.....	29
3.4.4 Costos de materiales .....	34
3.4.5 Costos evitados .....	34
3.4.6 Comparación de escenarios y diseños de alcantarillados propuestos .....	35
4. Resultados.....	36
4.1 Fase I: Diagnóstico de sistema actual .....	36
4.1.1 Topografía del asentamiento.....	36
4.1.2 Caracterización del sistema de abastecimiento y saneamiento del asentamiento.....	37
4.1.3 Aspectos demográficos del asentamiento .....	39
4.2 Fase II: Planteamiento de escenarios de abastecimiento y uso de agua. ....	41
4.3 Fase III: Formulación de alternativas de sistemas de alcantarillado.....	47
4.3.1 Selección y trazado de sistema de alcantarillado.....	47
4.3.2 Distribución de áreas de drenaje .....	49
4.3.3 Diseño alcantarillado sanitario.....	49
4.3.4 Costos de materiales .....	54
4.3.5 Costos evitados .....	55

4.3.6 Comparación de escenarios y diseños de alcantarillados propuestos .....	56
5. Conclusiones .....	59
6. Recomendaciones .....	61
Referencias Bibliográficas .....	62

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Ventajas y desventajas del sistema de alcantarillado convencional</i> .....	18
Tabla 2 <i>Ventajas y desventajas del sistema de alcantarillado simplificado</i> .....	19
Tabla 3 <i>Criterios de diseño para cada alternativa</i> .....	20
Tabla 4 <i>Consumo de agua potable registrado por el contador de la carrera 30</i> .....	39
Tabla 5 <i>Distribución de aguas grises crudas domésticas por fuente, extraídas de la literatura</i>	42
Tabla 6 <i>Parámetros de calidad de agua para diferentes fuentes de aguas grises</i> .....	43
Tabla 7 <i>Selección de porcentaje de generación de AG</i> .....	44
Tabla 8 <i>Escenarios de abastecimiento y uso del agua</i> .....	46
Tabla 9 <i>Escenarios de abastecimiento y uso del agua para Miradores de la UIS</i> .....	47
Tabla 10 <i>Proyecciones población futura</i> .....	50
Tabla 11 <i>Costos de materiales por escenario</i> .....	54
Tabla 12 <i>Costo evitado por escenario</i> .....	56
Tabla 13 <i>Ventajas y desventajas de los escenarios</i> .....	56
Tabla 14 <i>Características de diseños por escenario</i> .....	58

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Sistema convencional y simplificado de alcantarillado</i> .....	19
Figura 2 <i>Imagen satelital del asentamiento Miradores de la UIS</i> .....	23
Figura 3 <i>Mapa digitalizado suministrado por la comunidad</i> .....	25
Figura 4 <i>Loteo final</i> .....	36
Figura 5 <i>Identificación de usos de preferencia por parte de la comunidad</i> .....	38
Figura 6 <i>Cantidad de personas por vivienda en el asentamiento Miradores de la UIS</i> .....	39
Figura 7 <i>Población en el asentamiento Miradores de la UIS</i> .....	40
Figura 8 <i>Escenario tipo de reutilización de AG</i> .....	45
Figura 9 <i>Bosquejo zonas de drenaje del asentamiento</i> .....	49
Figura 10 <i>Proyección aritmética del asentamiento</i> .....	50
Figura 11 <i>Ejemplo de cámara de caída y pozo profundo (tramo 48)</i> .....	52
Figura 12 <i>Planta tipo con tramos convencional y simplificado</i> .....	53
Figura 13 <i>Perfil Tipo</i> .....	54

## **Lista de Apéndices**

### **Los apéndices están adjuntos**

**Apéndice A.** Mapa de información topográfica del asentamiento Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo.

**Apéndice B.** Plano de delimitación y distribución de viviendas, Miradores de la UIS.

**Apéndice C.** Mapa de infraestructura sanitaria actual del asentamiento Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo.

**Apéndice D.** Relaciones hidráulicas.

**Apéndice E.** Plano en civil 3D con la información topográfica y sanitaria.

**Apéndice F.** Artículos utilizados para la definición de reutilización de AG.

**Apéndice G.** Trazado sistema de Alcantarillado.

**Apéndice H.** Distribución de áreas de drenaje.

**Apéndice I.** Proyecciones de población para el asentamiento Miradores de la UIS.

**Apéndice J.** Tablas de diseño sistemas de alcantarillado por escenario.

**Apéndice K.** Planos de diseño sistemas de alcantarillado por escenario.

**Apéndice L.** Costos de materiales sistemas de alcantarillado por escenario.

### Resumen

**Título:** Evaluación de alternativas de recolección y transporte de aguas residuales domésticas bajo escenarios de abastecimiento de agua en el asentamiento no planificado Miradores de la UIS, Bucaramanga (Colombia) \*

**Autor:** Cristian Jair Carvajal Villamizar, Jessika Johana Jerez Bayona \*\*

**Palabras Clave:** asentamientos no planificados, aguas residuales, aguas grises, alcantarillado simplificado, alcantarillado convencional, escenarios de abastecimiento, presupuesto de materiales.

**Descripción:** El acelerado crecimiento poblacional presenta un desafío particular para las comunidades de escasos recursos, quienes a menudo se ven obligadas a establecerse en asentamientos no planificados carentes de servicios básicos como el saneamiento. Esta situación tiene un impacto negativo en el bienestar humano, limitando el potencial económico, el desarrollo social y aumentando el riesgo de enfermedades intestinales. La presente investigación tiene como objeto evaluar alternativas de recolección y transporte de aguas residuales domésticas, bajo escenarios de uso de fuentes alternativas de abastecimiento de agua, en el asentamiento no planificado Miradores de la UIS (Bucaramanga, Colombia). La metodología se dividió en tres fases: primero, se recopiló la información topográfica, sanitaria y demográfica actual del asentamiento; segundo, se plantearon los escenarios de abastecimiento y uso de agua; tercero, se formularon las alternativas de recolección y transporte de aguas residuales para los escenarios planteados con las que se analizaron ventajas y desventajas, y se hizo un análisis de costos de materiales entre las alternativas diseñadas. Los resultados muestran problemas sanitarios con el alcantarillado actual del asentamiento, un terreno muy escarpado y con alta densidad poblacional; se identificaron las principales fuentes de agua gris como ducha, lavamanos y lavadora; y sus usos más comunes como riego y descarga de inodoros. Finalmente, para todas las alternativas de alcantarillado fue necesario solo el diámetro mínimo de diseño según el tipo de sistema, es decir 6" para simplificado y 8" para el convencional, con variaciones en las pendientes entre alternativas que van desde el 0.7% hasta el 111.2%. De esta forma, los costos de materiales oscilan entre \$ 564 y \$ 572 millones de pesos colombianos (COP) mostrando que, en este caso de estudio, la reutilización de agua gris no ejerce una influencia notable en el diseño y operación de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales, pero sí representa una disminución en la tarifa del servicio para el asentamiento no planificado miradores de la UIS.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. PhD. en Agricultura, Alimentación y Desarrollo Rural - énfasis en Gestión del Agua. Codirector: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña. PhD. en Ingeniería, énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

### Abstract

**Title:** Assessment of alternatives for collection and transportation of domestic wastewater under water supply scenarios in the unplanned settlement Miradores de la UIS, Bucaramanga (Colombia)\*

**Author(s):** Cristian Jair Carvajal Villamizar, Jessika Johana Jerez Bayona \*\*

**Key Words:** unplanned settlements, wastewater, greywater, simplified sewerage, conventional sewerage, sourcing scenarios, material budgeting.

**Description:** Rapid population growth presents a particular challenge for low-income communities, who are often forced to settle in unplanned settlements lacking basic services such as sanitation. This situation has a negative impact on human well-being, limiting economic potential, social development and increasing the risk of intestinal diseases. The purpose of this research is to evaluate alternatives for the collection and transport of domestic wastewater, under scenarios of use of alternative sources of water supply, in the unplanned settlement Miradores de la UIS (Bucaramanga, Colombia). The methodology was divided into three phases: first, the current topographical, sanitary and demographic information of the settlement was collected; second, water supply and use scenarios were proposed; Third, wastewater collection and transport alternatives were formulated for the proposed scenarios, with which advantages and disadvantages were analyzed, and a material cost analysis was made among the designed alternatives. The results show sanitary problems with the current sewerage system of the settlement, a very steep terrain with a high population density; The main sources of grey water were identified, such as showers, sinks and washing machines; and its most common uses such as irrigation and toilet flushing. Finally, for all sewer alternatives, only the minimum design diameter was necessary according to the type of system, i.e. 6" for simplified and 8" for conventional, with variations in slopes between alternatives ranging from 0.7% to 111.2%. In this way, material costs range between \$564 and \$572 million Colombian pesos (COP) showing that, in this case study, the reuse of gray water does not exert a notable influence on the design and operation of wastewater collection and transportation systems, but it does represent a decrease in the service fee for the unplanned settlement of UIS viewpoints.

---

\* Degree Work

\*\*Faculty of Physic-Mechanics Engineering. School of Civil Engineering. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. PhD in Agriculture, Food and Rural Development - emphasis in Water management. Codirector: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña. PhD. in Engineering, emphasis Health and Environmental Engineering.

## **Introducción**

La población humana ha venido creciendo vertiginosamente, tanto así que en el año 2022 se superó la barrera de los 8000 millones de personas y se proyecta un aumento de alrededor de dos mil millones de habitantes para las siguientes tres décadas (Naciones Unidas, n.d.). Este incremento en la población viene acompañado de cierta desorganización para sectores poblacionales de escasos recursos, que tienen pocas opciones de establecerse como comunidad y surgen en forma de asentamientos no planificados. En estos asentamientos se presentan problemas de infraestructura, tales como sistemas deficientes de abastecimiento de agua y de recolección y tratamiento de aguas residuales. Actualmente, más de 1700 millones de personas en el mundo no tienen la posibilidad de acceder a servicios básicos como acueducto y alcantarillado (Organización Mundial de la Salud, n.d.). En general, la falta de servicios como el saneamiento reduce el bienestar humano, el potencial económico y el desarrollo social, además, aumentan la probabilidad de contraer enfermedades intestinales como el cólera, la disentería, infecciones bacterianas como la fiebre tifoidea, infecciones por parásitos intestinales o virus como el de la poliomielitis y demás problemas como la falta de crecimiento y un sistema inmunológico débil en sus habitantes (Organización Mundial de la Salud, n.d.).

En Bucaramanga existen aproximadamente 132 asentamientos no planificados censados en el perímetro urbano y rural (Cardenas Rey, n.d.). Estos asentamientos son el resultado de la urgente búsqueda de vivienda para aquellas personas que se encuentran en situación de vulnerabilidad, ubicadas sobre todo en las zonas periurbanas y rurales (Donald et al., 1998) que, ante el acceso limitado a servicios públicos como acueducto y alcantarillado, se ven en la obligación de adaptar sistemas artesanales para intentar mitigar la necesidad del servicio.

Lamentablemente, con frecuencia, este proceso de transporte y vertimiento de agua no es adecuado ni seguro para las comunidades ni para el medio ambiente (Carrillo Diaz et al., 2005).

Bajo el contexto de la sostenibilidad, se considera que el uso de fuentes de agua alternativas como las aguas grises (AG) ofrece beneficios en el ahorro hídrico y económico para las comunidades (Navarro Sousa & Estruch Guitart, 2023). Esto además podría reflejarse en una disminución de la presión sobre el servicio de agua potable, reduciendo la demanda de agua y generando un ahorro económico en la posible construcción de sistemas de alcantarillado, al reducir el volumen de agua transportado.

Esta propuesta de investigación evalúa alternativas de recolección y transporte (R&T) de aguas residuales domésticas considerando el uso de fuentes alternativas bajo cuatro escenarios de suministro de agua en el asentamiento no planificado Miradores de la UIS, ubicado en el norte de Bucaramanga (Colombia). Este trabajo pretende responder la pregunta: ¿Qué tipo de sistema de R&T de aguas residuales es el más apropiado considerando aspectos económicos, técnicos y sociales para emplear en el asentamiento no planificado Miradores de la UIS, bajo los escenarios propuestos?

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar alternativas de recolección y transporte de aguas residuales domésticas, bajo escenarios de uso de fuentes alternativas de abastecimiento de agua, en el asentamiento no planificado Miradores de la UIS (Bucaramanga, Colombia).

### **1.2 Objetivos Específicos**

Caracterizar la situación actual de infraestructura de abastecimiento de agua y recolección y transporte de aguas residuales en el asentamiento Miradores de la UIS.

Plantear cuatro escenarios de suministro de agua, considerando diferentes dotaciones de agua potable y la reutilización de aguas grises en las viviendas del asentamiento.

Comparar las alternativas de recolección y transporte de aguas residuales obtenidas de los escenarios propuestos, considerando sus ventajas, desventajas y costos de materiales.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Asentamientos no planificados**

Los asentamientos no planificados son el resultado de la urgente necesidad de vivienda de millones de personas que se encuentran en situación de vulnerabilidad, haciendo uso de ellas mediante apropiación ilícita, están ubicadas sobre todo en las zonas periurbanas y rurales de los países, presentan condiciones de desarrollo incompleto y están expuestas a fenómenos de informalidad como la falta de servicios públicos generando condiciones de exclusión social y baja calidad de vida (Ministerio de Vivienda, 2022).

### **2.2 Aguas residuales**

Las aguas residuales (AR) son cualquier tipo de agua cuya calidad ha sido afectada, están compuestas 99% de agua y 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales. Las AR son una combinación de: aguas negras (excremento, orina y lodos fecales), AG (aguas de lavado y baño), agua de establecimientos comerciales e instituciones, aguas pluviales y escorrentías (Connor et al., 2017).

#### ***2.2.1 Aguas residuales domésticas***

Las aguas residuales domésticas están relativamente libres de residuos peligrosos, son generadas principalmente del metabolismo humano y de las diferentes actividades de un hogar, pueden presentar sólidos, desechos orgánicos, jabones, detergente, grasas y en algunos casos medicamentos, que en concentraciones altas pueden traer efectos nocivos para la salud, medio ambiente y repercusiones negativas para las actividades económicas (Connor et al., 2017).

### ***2.2.2 Normativa de R&T de aguas residuales y reutilización de AG***

En Colombia, la normativa para sistemas de R&T de aguas residuales se encuentra en el Título D del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento (RAS), actualizado mediante las Resoluciones 0330 de 2017 y 799 de 2021. Para los criterios de calidad del agua residual para su reutilización, se debe consultar la Resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

### **2.3 Suministro de agua potable**

El proceso de suministro de agua potable comprende varias etapas (Ministerio de Vivienda, n.d.):

**Captación:** Consiste en la recolección y almacenamiento de dos fuentes principales de agua como aguas superficiales las cuales son visibles y abundantes (ríos, lagunas, arroyos y lagos) y aguas subterráneas las cuales se encuentran bajo tierra y están protegidas de la contaminación (Pozos y galerías filtrantes).

**Aducción:** Es el transporte de agua cruda desde el punto de captación hasta el desarenador, se realiza bajo condiciones de flujo libre o gravedad.

**Desarenador:** Es una estructura tipo estanque cuyo propósito es remover partículas discretas hasta el tamaño de las arenas.

**Conducción:** Consiste en el transporte de la fuente de captación hasta la planta de tratamiento.

**Tratamiento:** Consiste en la eliminación de impurezas, bacterias y otros contaminantes.

Almacenamiento: Consiste en recoger agua en grandes tanques para asegurar un suministro constante, incluso cuando la demanda es alta o la fuente de captación no tiene suficiente caudal.

Distribución: Se lleva a los hogares a través de una red de tuberías, esta red incluye tanques de almacenamiento, estaciones de rebombeo y red de tuberías.

## **2.4 Sistema de recolección y transporte de aguas residuales**

Para evacuar las aguas residuales domésticas de manera segura, las viviendas cuentan con sistemas de alcantarillado, también conocidos como sistema de recolección y transporte de aguas residuales (SR&TAR). Este sistema se encarga de almacenar las aguas residuales provenientes del uso residencial y transportarlas a una planta de tratamiento de aguas residuales. El sistema está compuesto por varios elementos como tuberías, sumideros, cajas o cámaras de inspección y emisores (Ministerio de Vivienda, n.d.).

### ***2.4.1 Alcantarillado convencional***

Los alcantarillados convencionales por gravedad son grandes redes de tuberías que transportan aguas negras, aguas grises y algunas veces aguas pluviales. Estas redes pueden ser separadas o combinadas. En los sistemas separados se utilizan diferentes tuberías para el transporte de aguas residuales y de escurrimiento humano, mientras que en los sistemas combinados todo se transporta en la misma tubería (Tilley et al., n.d.).

Este sistema se compone de muchos ramales que se subdividen así:

Red primaria: Tuberías principales de alcantarillado, que recorren los caminos principales y recolectan las aguas residuales de la red secundaria y terciaria.

Red secundaria y terciaria: Son tuberías que recolectan las aguas residuales a nivel de vecindario y viviendas.

Según el autor Tilley, estas son las ventajas y desventajas del sistema de alcantarillado convencional (Tilley et al., n.d.):

**Tabla 1**

*Ventajas y desventajas del sistema de alcantarillado convencional*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Menos mantenimiento	Sistema costoso
Manejo de aguas grises y pluviales al tiempo	Requiere excavaciones profundas
Maneja arenilla, sólidos y grandes volúmenes de agua	Riesgo de infiltración a los acuíferos

#### **2.4.2 Alcantarillado simplificado**

Es un sistema para la recolección y tratamiento de aguas residuales que no tiene en cuenta las restricciones normativas que aplican al alcantarillado convencional, es decir, que tiene mayor flexibilidad a la hora del diseño. En ese sentido, en comparación con el alcantarillado convencional, el alcantarillado simplificado emplea tuberías de menor diámetro ubicadas a poca profundidad que minimizan el costo y simplifican el proceso de diseño (Tilley et al., n.d.). Este alcantarillado se suele emplear cuando las condiciones del terreno limitan el espacio de trabajo e instalación, cuando la población tiene dificultades económicas o de legalización y normativa local (Ministerio de Vivienda, n.d.).

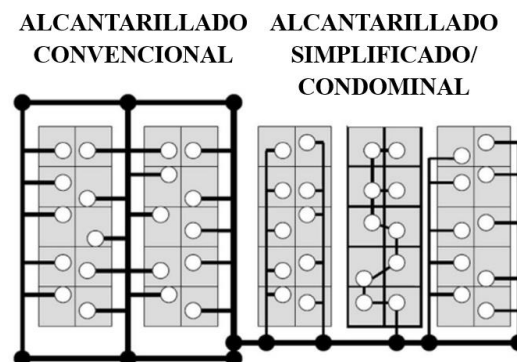
Según el autor Tilley, estas son las ventajas y desventajas del sistema de alcantarillado simplificado (Tilley et al., n.d.):

**Tabla 2***Ventajas y desventajas del sistema de alcantarillado simplificado*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Menos costoso	Mantenimiento constante
Adecuado para zonas densas con espacio reducido	Identificar fugas es complicado
Recomendado para pendientes mayores a 1%	Capacidad limitada al diseño, riesgo de sobrecarga

### 2.4.3 Sistema convencional y simplificado de alcantarillado

Durante el diseño de una red de alcantarillado se pretende el desarrollo de sistemas que recolecten y transporten las aguas residuales y lluvias de manera óptima, en ese sentido, los alcantarillados híbridos pretenden llegar a un punto de equilibrio entre los requisitos técnicos, económicos, financieros y ambientales según las necesidades específicas de la zona de estudio mediante la combinación de los dos alcantarillados mencionados previamente: el convencional y simplificado (Ministerio de Ambiente, n.d.).

**Figura 1***Sistema convencional y simplificado de alcantarillado*

*Nota.* Fuente (De & Sobrinho, n.d.)

### 2.4.3.1 Consideraciones de diseño

El diseño del sistema híbrido debe considerar las normativas específicas de cada una de las tecnologías de R&T de agua residual que lo compone. Por lo que, el alcantarillado convencional se dimensionará siguiendo sus propias restricciones, mientras que el alcantarillado simplificado se extenderá con su normativa hasta donde sea viable.

Las siguientes consideraciones de diseño descritas en la tabla 3 se basan en la Resolución 0330 del 2017 (Ministerio de Vivienda, 2017):

**Tabla 3**

*Criterios de diseño para cada alternativa*

<b>Criterios</b>	<b>Convencional</b>	<b>Simplificado</b>
Velocidad ( <b>V</b> ) [m/s]	$0.45 < V < 5$	$0.4 < V < 5$
Esfuerzo cortante ( <b><math>\tau</math></b> ) [Pa]	$\tau_{min} = 1$	$\tau_{min} = 1.5$
Relación de llenado ( <b>y/D</b> )	$y/D_{m\acute{a}x} = 85\%$	$y/D_{m\acute{a}x} = 80\%$
Caudal de diseño ( <b>Q</b> ) [l/s]	$Q_{min} = 1.5$	
Profundidad a cota clave [m]	Mínimo 0.75 en peatonales Mínimo 1.2 en vías	Mínimo 0.6 en peatonales Mínimo 1 en vías
Diámetros ( <b>D</b> ) [in]	$D_{min} = 8$	$D_{min} = 6$
Distancia entre estructuras hidráulicas [m]	Máximo 120 m	

*Nota.* Fuente (Ministerio de Vivienda, 2017)

### 2.4.3.2 Características de la combinación del sistema convencional y simplificado

La combinación de los sistemas de alcantarillado convencional y simplificado presenta un conjunto de características distintivas que la convierten en una opción atractiva para diversas aplicaciones:

Sistema flexible, que permite optimización, según el contexto y ubicación del proyecto, lo que indica finalmente una alta eficiencia.

Es posible realizar ampliaciones llevando un mejor control en el diseño, dimensionamiento y trazado de la red híbrida.

Reduce considerablemente los costos del proyecto, sin afectar significativamente el funcionamiento óptimo del sistema.

### 3. Metodología

La investigación fue dividida en tres fases metodológicas, descritas a continuación:

Recopilación de información de abastecimiento y saneamiento del asentamiento y las variables que influyen en los parámetros de diseño para el drenaje urbano.

Planteamiento de cuatro escenarios de suministro de agua, considerando el consumo de agua potable y la reutilización de AG en las viviendas del asentamiento.

Propuesta de alternativas para la recolección y transporte de agua residual doméstica con los escenarios definidos, considerando sus ventajas, desventajas y costos en la selección del más conveniente para el asentamiento Miradores de la UIS.

#### 3.1 Zona de estudio

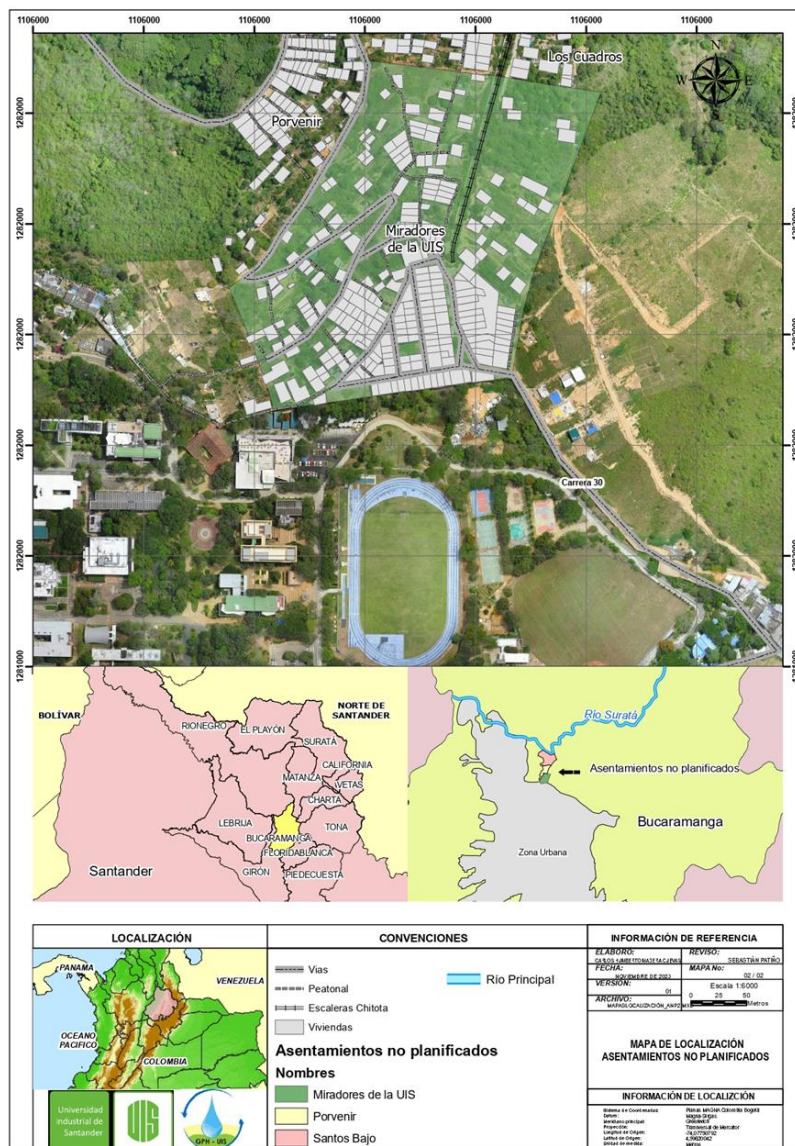
Este estudio se realizó en el asentamiento no planificado Miradores de la UIS, localizado al norte de la Universidad Industrial de Santander, en el norte de Bucaramanga, Santander, (Colombia), limita con los asentamientos de El Porvenir y Santos Bajo, con características similares. Esta zona está caracterizada por pendientes que abarcan valores que van desde el 3% hasta el 60%, situado la periferia de la ciudad.

Hasta el momento no se ha logrado la formalización del asentamiento Miradores de la UIS ya que se ha enfrentado a grandes dificultades por su ubicación. Miradores de la UIS se encuentra en una zona considerada Distrito de Manejo Ambiental Especial por la CDMB, zona de protección y área rural en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Además, es catalogado como zona con riesgos de desastres; estas restricciones han dificultado el acceso a servicios públicos básicos (Ver figura 2).

La comunidad del asentamiento, ante la nula posibilidad de construir un sistema de saneamiento legalizados, ha tomado la iniciativa de diseñar, construir y operar un alcantarillado artesanal con el que han trabajado desde su origen.

**Figura 2**

*Imagen satelital del asentamiento Miradores de la UIS*



Nota. Fuente (Patiño et al., 2024)

### **3.2 Fase I: Diagnóstico de sistema actual**

Para realizar un correcto diseño de las estructuras de R&T de aguas residuales domésticas, fue necesaria una investigación preliminar con la información topográfica, sanitaria y demográfica del asentamiento, seguida de una adecuada estructuración de los datos encontrados. Esto permitió dar un contexto de las condiciones en las que se encuentra la comunidad, y cómo estas condiciones inciden sobre el manejo de las AR.

#### ***3.2.1 Topografía del asentamiento***

Se solicitó a los miembros de la comunidad, a la Junta de Acción Comunal del asentamiento, y al Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) información topográfica y distribución de viviendas del asentamiento Miradores de la UIS, recopilada mediante la investigación “Desarrollo de estrategias para el manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos, con enfoques de sostenibilidad y economía circular, en la cuenca del río Alto Lebrija”.

La información suministrada por el grupo de investigación contenía un archivo en ArcGIS® (software GIS) con capas que describían información sobre la superficie topográfica, las curvas de nivel y la distribución de las viviendas actualmente construidas en los asentamientos Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo (Ver Apéndice A).

La distribución de las viviendas en los planos presenta discrepancias con la realidad. En particular, los polígonos asignados a las viviendas no coinciden con el tamaño real de las mismas, ni con el área del lote correspondiente. Adicionalmente, se proporcionó una ortofotografía del asentamiento, la cual muestra en detalle la ubicación actual de las viviendas, lotes y zonas verdes.

Dada la poca precisión de las superficies ocupadas marcadas, y la necesidad de conocer la división de viviendas y lotes de todo el asentamiento Miradores de la UIS, se realizó una solicitud a los miembros del comité de agua, que a través de la Junta de Acción Comunal, facilitaron un plano físico con el plan catastral del asentamiento realizado por la comunidad en el año 2015, el cual contenía una descripción detallada de la distribución y división de las áreas del asentamiento, con los espacios ya construidos y los lotes dispuestos para construcciones futuras (Ver Apéndice B).

### Figura 3

*Mapa digitalizado suministrado por la comunidad*



*Nota.* Fuente Comité de agua.

Finalmente, a través de las curvas de nivel, extraídas de ArcGIS, se determinó la elevación del terreno; y se contrastó la información de las superficies ocupadas entre el catastro y la ortofotografía, con el fin de delimitar correctamente los espacios ocupados que influyen en un diseño de SR&TAR. La información fue organizada, migrándose al software Autodesk Civil 3D® para facilitar el prediseño del alcantarillado en la fase III.

### ***3.2.2 Caracterización del sistema de abastecimiento y saneamiento del asentamiento***

Se usó información primaria suministrada por el grupo GPH sobre el estado actual de la infraestructura del SR&TAR. Paralelamente, se solicitó información sobre las características del sistema, y el consumo actual de agua potable de la comunidad medido a través del contador principal ubicado en la carrera 30. A partir de la información estadística recopilada por GPH mediante encuestas, se consideraron los usos de reutilización de aguas residuales y posibles fuentes, teniendo en cuenta las necesidades de la comunidad debidas a la baja capacidad del sistema de suministro de agua para abastecer a toda la población, con el fin de plantear escenarios adecuados en el contexto del asentamiento.

Se recolectó la información sobre la distribución actual del alcantarillado artesanal, incluyendo información de: la localización de las tuberías del alcantarillado, las cajas domiciliarias, cámaras de inspección, vertimientos, pozos sépticos y box culverts, suministrados en una de las capas del archivo GIS. Esta información es esencial como base para el trazado de los sistemas de alcantarillado definidos en la fase III.

De toda la información suministrada, se tomó únicamente la distribución de tuberías, ya sean colectores o acometidas y la hidrografía del asentamiento Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo. Estos datos fueron exportados al software Civil 3D®, como capas que permitieron

visibilizar la distribución actual de las redes de (R&T) de aguas residuales domésticas y los posibles espacios por donde es factible realizar el trazado preliminar del alcantarillado (Ver Apéndice C).

### ***3.2.3 Aspectos demográficos del asentamiento***

Para la información demográfica se tomaron los resultados de las encuestas realizadas por el GPH a los representantes del asentamiento Miradores de la UIS. La información se ordenó a través de tablas y gráficos que muestran la cantidad de personas por vivienda y el incremento poblacional a lo largo de los años desde la creación del asentamiento. Estos datos se utilizaron en la fase III para definir las dimensiones del alcantarillado según la cantidad de agua a transportar generada por la población dada.

### **3.3 Fase II: Planteamiento de escenarios de abastecimiento y uso de agua**

Los escenarios de abastecimiento y uso de agua se definieron considerando la reutilización de agua gris y el suministro de agua potable, esta última tomada con los resultados de la fase I.

La investigación para definir valores de reutilización de AG en el asentamiento incluyó: la justificación de la necesidad de reutilización, la identificación de las fuentes (puntos de generación) y los usos potenciales (destino) de estas aguas.

Para esta fase fue necesaria una revisión de la literatura sobre la reutilización de AG y sus fuentes de abastecimiento, consultando bases de datos científicas como Scopus® y el catálogo bibliográfico de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander.

Se emplearon palabras claves como “wastewater reuse” and greywater. Se seleccionaron artículos que analizaran la generación de AG dentro de los hogares y su posible reutilización y de esta manera potencializar su aprovechamiento. Los resultados de la búsqueda fueron organizados

y tabulados en Excel®, incluyendo información de los artículos como autor/referencia, ubicación, objetivos, metodología, resultados, limitaciones y uso/empleo.

Con el propósito de definir las fuentes de generación de agua gris se tuvieron en cuenta parámetros de cantidad y calidad extraídos de la literatura y las encuestas realizadas a la comunidad Miradores de la UIS, tomadas de la fase I.

A través de la literatura, se investigó la percepción de diferentes comunidades frente a los posibles usos del agua gris reutilizada. La información encontrada en la literatura se utilizó para contrastar los resultados de la encuesta de usos de agua gris suministrada por el grupo de investigación GPH en la fase I y así definir el uso final del agua gris en el asentamiento.

A partir de las condiciones sanitarias del asentamiento miradores de la UIS, se propusieron los escenarios bajo los que van a circular las aguas residuales según la reutilización de AG y la dotación de agua asignada al asentamiento.

Las características del reúso de aguas residuales se definieron a partir de los resultados encontrados en el apartado de reutilización de AG de la fase II. La definición de la dotación actual se basó en los datos proporcionados por el comité del asentamiento durante la fase I. Para la dotación mejorada, se consideraron las directrices establecidas en la normativa estatal.

### **3.4 Fase III: Formulación de alternativas**

Se propusieron las alternativas por medio de diseños de sistemas de (R&T) de aguas residuales, para los escenarios propuestos en la Fase II, considerando enfoques convencionales y no convencionales.

### ***3.4.1 Selección y trazado de sistema de alcantarillado***

Para la selección del sistema de alcantarillado se tuvieron en cuenta los resultados de la fase I sobre las características topográficas en el contexto del asentamiento Miradores de la UIS. El objetivo primordial era elegir un sistema que garantizara un servicio óptimo y con cobertura total para todos los habitantes de la comunidad que estuvieran dentro de las consideraciones y recomendaciones de la normativa (Ministerio de Vivienda, 2017).

Se realizó el trazado de la red de alcantarillado garantizando cubrir todos los lotes según el diseño urbanístico dado y cumpliendo con la normativa vigente (Ministerio de Vivienda, 2017).

### ***3.4.2 Distribución de áreas de drenaje***

Se realizó la distribución de áreas para cada estructura hidráulica, empleando el método de polígonos de Thiessen, a través del software ArcGIS ®.

### ***3.4.3 Diseño del alcantarillado sanitario***

Se realizó el cálculo de los alcantarillados sanitarios con base en los requisitos de diseño según el RAS y el Decreto 0330 (De & Sobrinho, n.d.)(Ministerio de Ambiente, 2010)(Ministerio de Ambiente, 2010). Siendo así, se mantuvo siempre la condición de pendiente y diámetro mínimo empleando la ecuación de Manning, realizando el cálculo con el siguiente proceso y ecuaciones:

#### **Proyección de la población**

##### **Método aritmético**

##### **Ecuación 1**

*Estimación de la población usando el método aritmético*

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{t_{uc} - t_{ci}} (t_f - t_{uc})$$

**Método geométrico****Ecuación 2***Estimación de la población usando el método geométrico*

$$P_f = P_{uc} \left( 1 + \left( \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(t_{uc}-t_{ci})}} - 1 \right) \right)^{t_f-t_{uc}}$$

**Método exponencial****Ecuación 3***Estimación de la población usando el método exponencial*

$$P_f = P_{ci} * e^{\left( \left( \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{t_{cp} - t_{ca}} \right) * (t_f - t_{ci}) \right)}$$

Donde:

 **$P_f$**  : Población futura **$t_f$** : Año proyección **$P_{uc}$**  : Población último censo **$P_{cp}$** : Población censo posterior **$t_{uc}$** : Año último censo **$t_{cp}$** : Año censo posterior **$P_{ci}$**  : Población censo inicial **$P_{ca}$** : Población censo anterior **$t_{ci}$** : Año censo inicial **$t_{ca}$** : Año censo anterior**Ecuación 4***Densidad poblacional*

$$\text{Densidad poblacional} = \frac{\text{Área total}}{\text{Población futura}}$$

**Ecuación 5**

*Población*

$$Población = Área_i * densidad poblacional$$

Donde:

**Área<sub>i</sub>**: área acumulada por estructura hidráulica

**Ecuación 6**

*Caudal de aguas residuales domésticas*

$$Q_D = \frac{C_R * P * D_{neta}}{86400}$$

Donde:

**C<sub>R</sub>**: Coeficiente de retorno

**P**: Habitantes proyectados al período de diseño

**D<sub>neta</sub>**: Dotación de agua potable proyectada por habitante

**Nota:** Para este proyecto el  $Q_D = Q_{MD}$ , donde  $Q_{MD}$  es el caudal máximo diario.

**Factores de mayoración****Ecuación 7**

*Factor de mayoración de Harmon*

$$F = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

**Ecuación 8**

*Factor de mayoración de Flores*

$$F = \frac{3.5}{(P^{0.1})}$$

**Ecuación 9**

*Factor de mayoración de Los Ángeles*

$$F = \frac{3.53}{(Q_{MD}^{0.062})}$$

**Ecuación 10**

*Factor de mayoración de Gaines*

$$F = \frac{3.114}{(Q_{MD}^{0.062})}$$

Donde:

**P:** Población servida en miles de habitantes (hab/1000)

**F:** Factores de mayoración

**Caudales****Ecuación 11**

*Caudal máximo horario*

$$Q_{MH} = F * Q_{MD}$$

**Ecuación 12**

*Caudal conexiones erradas*

$$Q_{CE} = C_{ce} * A_{acumulada}$$

Donde:

**C<sub>ce</sub>:** Coeficiente de conexiones erradas

**Ecuación 13**

*Caudal de infiltración*

$$Q_{INF} = C_{INF} * A_{acumulada}$$

Donde:

$C_{INF}$ : Coeficiente de infiltración

**Ecuación 14**

*Caudal de diseño*

$$Q_{dis} = Q_{MH} + Q_{CE} + Q_{INF}$$

**Ecuación 15**

*Pérdidas de energía en estructuras hidráulicas*

$$\Delta H_C = 0.1 * (\Delta H_v) + (\Delta H_E)$$

Donde:

$\Delta H_v$ : Diferencia de energía por velocidad entre el tramo entrante y saliente de la estructura hidráulica.

$\Delta H_E$ : Diferencia de energía específica entre el tramo entrante y saliente de la estructura hidráulica.

Posteriormente, se emplearon las relaciones hidráulicas para verificar el cumplimiento de los parámetros de diseño establecidos en las secciones 2.7, 2.8 y 2.9 de este documento, en particular, los chequeos de  $y/D$ , velocidad, tipo de flujo, cortante, energía calculada y alturas claves mínimas. Ver Apéndice D para las relaciones hidráulicas.

### 3.4.4 Costos de materiales

Se realizó el análisis de costos de materiales, a partir de los insumos requeridos en las estructuras hidráulicas, tuberías y cámaras de caída, a través de bases de datos como CYPE Ingenieros S.A. y catálogos de empresas como Pavco Wavin (Mexichem Colombia S.A.S), además se tuvo en cuenta el juicio de expertos y el listado de precios unitarios fijos para Bucaramanga, con el fin de verificar si los valores asignados a el presupuesto son coherentes. (Banca de Desarrollo Territorial, 2022), (Cype ingeniería, n.d.), (Pavco Wavin, 2022).

### 3.4.5 Costos evitados

Se realizó una estimación aproximada de los costos evitados o ahorrados mensualmente por la comunidad del asentamiento considerando el planteamiento de escenarios de abastecimiento y uso de agua de la fase II, donde se incorporó la reutilización de AG. El cálculo del costo se basó en la tarifa mensual del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP suministrada por el contador de agua potable del asentamiento, así:

#### Ecuación 16

*Cargo mensual*

$$Cm_i = cm_i * \frac{t}{m^3} + cf + cm_i * \frac{ta}{m^3}$$

#### Ecuación 17

*Costo evitado*

$$Ce_i = cm_{i-1} - cm_i$$

Donde:

$Cm_i$ : Cargo mensual

$cf$ : Cargo fijo

$cm_i$ : Consumo mensual

$ta$ : Tasa ambiental

$t$ : Tasa de consumo

$Ce_i$ : Costo evitado

#### ***3.4.6 Comparación de escenarios y diseños de alcantarillados propuestos***

Se compararon los diseños de alcantarillados propuestos para diferentes escenarios de abastecimiento, considerando ventajas y desventajas de las alternativas en conjunto y costos de materiales por escenario, por medio de cuadros comparativos. Además, se identificaron las características más relevantes de cada diseño, como cantidad de estructuras hidráulicas, rango de pendientes, cantidad de tramos, diámetros y longitud de tubería, y cantidad de cámaras de caída requeridas.

## 4. Resultados

### 4.1 Fase I: Diagnóstico de sistema actual

Los resultados de esta fase fueron en su mayoría información secundaria como planos e información estadística mostrados a través de gráficos, como se describe a continuación.

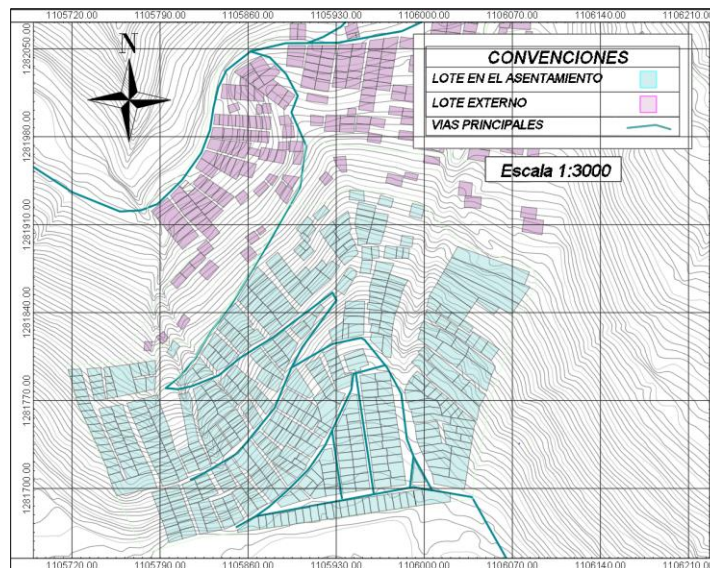
#### 4.1.1 Topografía del asentamiento

El asentamiento se caracteriza por tener una superficie con pendientes pronunciadas y una distribución densa de viviendas y lotes. La mayoría de las calles son caminos peatonales y existen pocas vías principales, lo que dificulta la circulación vehicular y peatonal.

Como resultado final del contraste entre la distribución catastral y la imagen ortofotográfica, se obtuvo el loteo definitivo presentado en la Figura 4.

### Figura 4

*Loteo final*



#### ***4.1.2 Caracterización del sistema de abastecimiento y saneamiento del asentamiento***

El resultado final de la migración de la información sanitaria espacial a Civil 3D, incluyendo la distribución de las tuberías de alcantarillado y la hidrografía, se encuentra detallado en el Apéndice E.

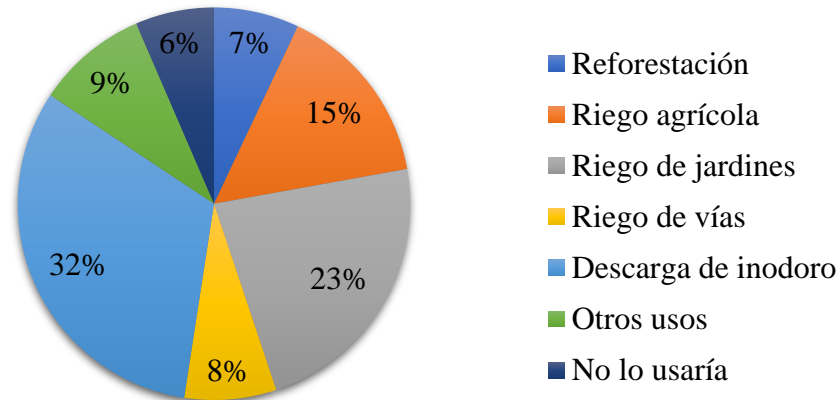
De la encuesta realizada a 163 viviendas de la comunidad se evidencia que en su mayoría las viviendas cuentan con todos los servicios domiciliarios, exceptuando el gas y la telefonía móvil. El 13 % de los encuestados no tiene un sistema de alcantarillado, y a su vez el 2% no tiene acceso al agua potable. El 96% de las viviendas tienen acceso al agua todos los días, entre 4 a 7 horas diarias. Algunas personas complementan el servicio que reciben comprando botellones de agua y recolectando aguas lluvias, sin embargo y pese a las circunstancias el 66% de las familias están satisfechas con el servicio (Patiño et al., 2024).

Evaluando el sistema de alcantarillado actual, el 47% de la comunidad indicó que era bueno, sin embargo, el 63% considera que el sistema de alcantarillado debe cambiarse, principalmente por los malos olores y para mejorar su capacidad. Así mismo, el 66% de la comunidad está dispuesta a pagar un poco más por el servicio con el fin de mejorar el sistema.

En la misma encuesta se evidencia que el 93% de viviendas considera importante el tratamiento de aguas residuales con el objetivo de reusarlas y disminuir la contaminación. Además, el 88% está de acuerdo y emplearía la reutilización de aguas residuales tratadas, destinadas principalmente en actividades como descarga de inodoros (59%) y riego de jardines (42%). Además, la comunidad manifestó preferencia para el uso de agua residual tratada como se observa en la figura 5.

**Figura 5**

*Identificación de usos de preferencia por parte de la comunidad*



*Nota.* Fuente GPH.

Por otra parte, la información suministrada indicó que la mayor cantidad de aparatos con desagüe por cada vivienda en el asentamiento son lavaplatos (98%), lavaderos (95%), lavamanos (94%) y duchas (97%).

El consumo de agua potable es registrado por el contador instalado en el punto de agua del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP (amb) que abastece la comunidad, localizado en la carrera 30. Durante el período comprendido entre junio y septiembre del año 2023, el contador arrojó un valor mensual promedio de 4380 m<sup>3</sup>. Este valor se obtuvo a partir del análisis de los datos proporcionados por el dispositivo, considerando que la comunidad reportó un daño en el contador a partir del mes de octubre. En consecuencia, la información relativa a los meses posteriores no se consideró confiable.

Las viviendas que reciben agua potable de este contador son el 100% de Miradores de la UIS (2160 personas), y un 25% de las personas del Porvenir (400 personas). Considerando estos habitantes y el tiempo de suministro dado, se obtuvo una dotación aproximada de 57.14 L/hab/día.

**Tabla 4**

*Consumo de agua potable registrado por el contador de la carrera 30*

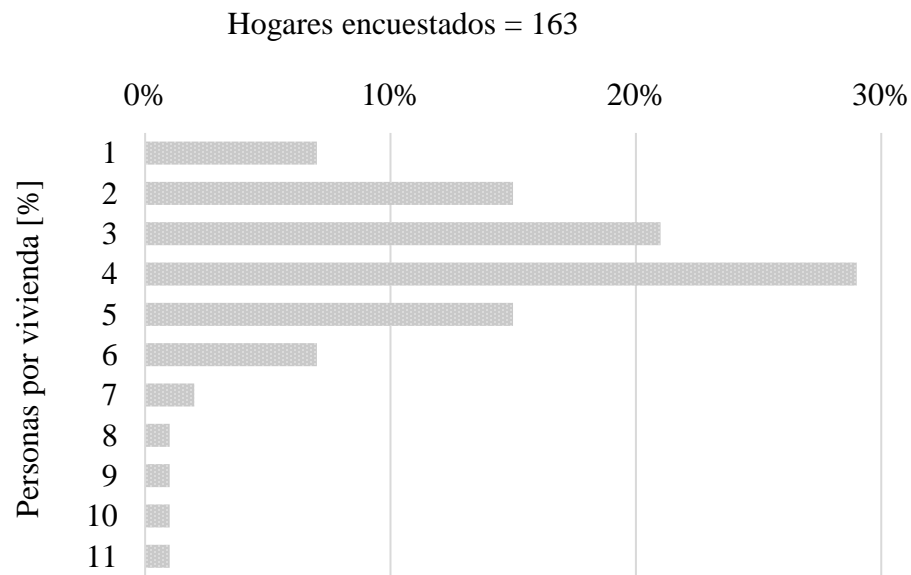
	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Consumo [m <sup>3</sup> ]	4686	4686	4090	4090	3906	3906	3894

#### 4.1.3 Aspectos demográficos del asentamiento

La figura 6 muestra el número de personas por vivienda o familia dentro del asentamiento.

**Figura 6**

*Cantidad de personas por vivienda en el asentamiento Miradores de la UIS*

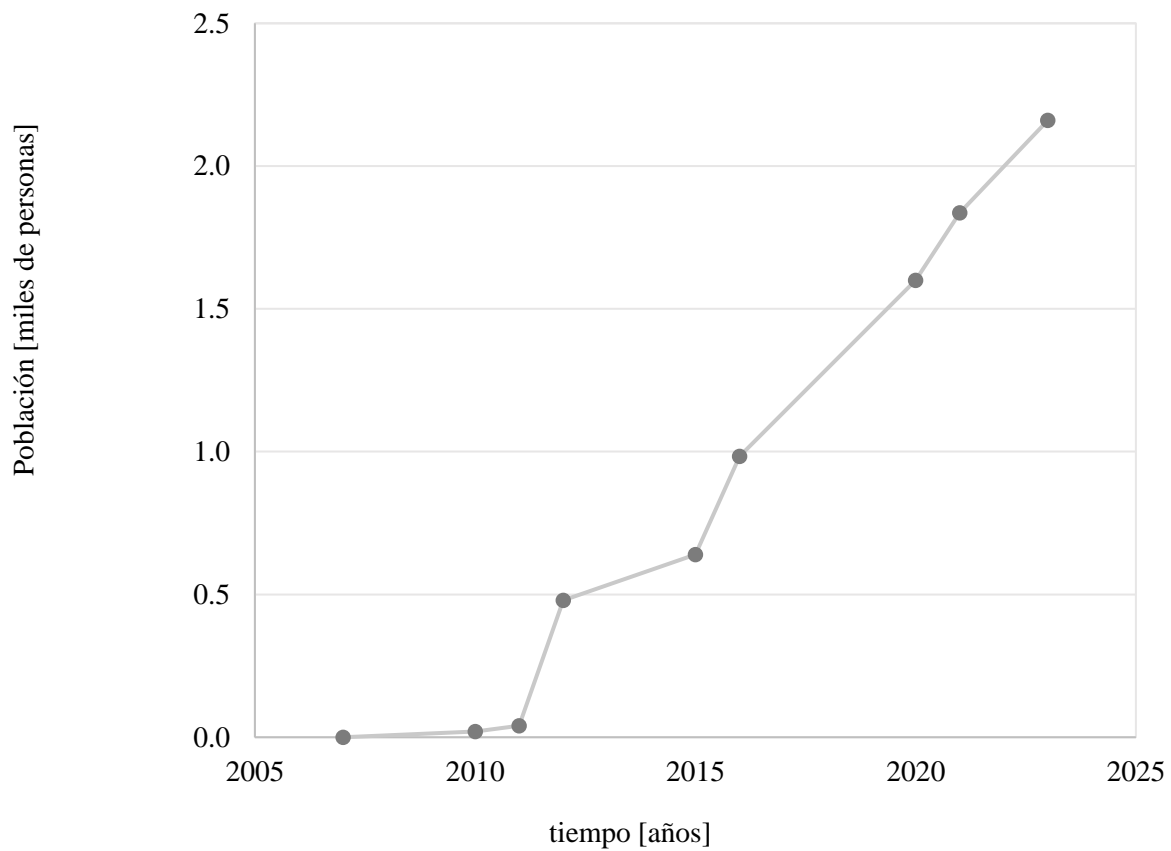


*Nota.* Con esta información se estimó una media de 4 personas por vivienda. Fuente GPH.

La figura 7 muestra la información histórica sobre la población del asentamiento desde su fundación en el año 2007 al 2023. Nota: la información fue dada respecto al número de viviendas, o familias, por lo que se hizo el cálculo para estimar la población respecto al número de personas (4 por familia).

### Figura 7

*Población en el asentamiento Miradores de la UIS*



*Nota.* Fuente GPH.

#### **4.2 Fase II: Planteamiento de escenarios de abastecimiento y uso de agua.**

Los resultados del diagnóstico entregado por el grupo GPH en la fase I, indican que el 93% de las viviendas encuestadas del asentamiento Miradores aprueban el tratamiento de aguas residuales con el fin de reutilizarlas porque consideran que disminuirían la contaminación del medio ambiente. Esto es consistente con estudios realizados en Sudáfrica donde se determinó la percepción al reúso de AG antes y después de implementar un sistema de reutilización, dando como resultado que antes de la instalación del sistema muchos encuestados mostraban preocupación por su salud y consideraban que era repugnante esta práctica, sin embargo, después de su instalación incrementó su aceptación, pero exigían menor contacto con dichas aguas (Ilemobade et al., 2013). Adicionalmente, un estudio desarrollado en un complejo residencial del área metropolitana de Bucaramanga arrojó que el 86% de los participantes se mostraron dispuestos a emplear sistemas de suministro de aguas alternativas como AG (Oviedo et al., 2018). Además, la reutilización de AG puede llegar a dar buenos resultados en ahorro hídrico y por ende económico: según investigaciones realizadas en instituciones educativas en Chile, la reutilización de AG puede llegar a ahorrar alrededor de un 35% del agua potable consumida anualmente (López Trujillo, 2009).

La revisión de literatura permitió obtener información sobre la distribución de aguas grises crudas domésticas por fuente, generadas en un hogar respecto al suministro de agua potable, obteniendo la información contenida en la Tabla 5. La revisión de literatura utilizada para la tabla 5, se puede ver a detalle en el Apéndice F.

**Tabla 5***Distribución de aguas grises crudas domésticas por fuente, extraídas de la literatura*

Fuente	Distrito de Chitré, Panamá (Gómez et al., 2021)	Bogotá, Colombia (Niño Rodríguez & Martínez Medina, 2013)	Chile (Díaz et al., 2021)	UCV, Venezuela (Blanco S et al., 2014)	OMS (Blanco S et al., 2014)	Aguas de Mérida (Blanco S et al., 2014)	España (Blanco S et al., 2014)	Rango
Ducha	33.97%	14.00%	18.18%	42%	20%	31%	33%	14% - 42%
Lavamanos	8.55%	2.80%	13.41%	12%	4%		25%	4% - 25%
Lavadora	0.85%	30.80%	16.99%					0.85% - 30.8%
Cocina	21.63%	15.40%	11.32%					11.32% - 21.63%
Lavadero		4.20%	11.62%	7%	24%	14%	10%	4.20% - 24%
Limpiar de casa		2.80%		2%	4%	8%		2.80% - 8%
Lavado de platos				10%	8%	7%	5%	5% - 10%
Preparación de alimentos				7%		4%	4%	4% - 7%
AG	65.0%	70 %	71.52%	80%	60%	64%	77%	60% - 80%
AN+ANR	35%	30 %	28.48%	20%	40%	36%	23%	20% - 40%

*Nota.* AG: Agua Gris; AN: Agua Negra; ANR: Aguas de No Retorno.

Estos estudios se realizaron bajo diferentes contextos sociales y económicos. De esta manera, el método de selección de porcentaje de generación de AG correspondió al estudio con

el contexto más cercano a un asentamiento como Miradores de la UIS, es decir, el realizado en Bogotá, Colombia, por la Pontificia Universidad Javeriana, ya que tuvo en cuenta tres niveles socioeconómicos: bajo (estrato I), medio (estrato III) y alto (estrato V), realizando mediciones de uso de AG por fuentes para cada una de estas. Los resultados de la Tabla 5, corresponden al de una vivienda estrato I (Niño Rodríguez & Martínez Medina, 2013). La Tabla 6 presenta los parámetros de calidad de los efluentes de algunos aparatos sanitarios de la vivienda.

**Tabla 6**

*Parámetros de calidad de agua para diferentes fuentes de aguas grises*

Parámetro	Baño	Cocina		Lavamanos (Oviedo et al., 2018)	Ducha (Oviedo et al., 2018)	Lavadora (Oviedo et al., 2018)	Rango
	(Ilemobade et al., 2013)	Zona de lavado (Ilemobade et al., 2013)	(Ilemobade et al., 2013)				
pH	6.4 - 8.1	7.1 - 10	5.9 - 7.4	6.8 - 8	7.8 - 8.2	9.8 - 10.2	5.9 – 10.2
Turbidez [NTU]	28 - 240	50 - 444	210 -357	59 - 82	18 - 38	58 - 95	18 – 357
DQO [mg/L]	100 - 633	231 - 2950	26 - 2050	285 - 405	120 - 350	280 - 320	26 – 2950
DBO <sub>5</sub> [mg/L]	26 - 300	48 - 472	536 - 1460	110 - 365	50 - 115	55 - 105	26 – 1460
Conductividad [µs/cm]		503 - 1043 [16]		150-200	90-140	280-380	90 – 1043

Analizando los datos en conjunto, se infiere que el AG con mayor contaminación respecto al DBO<sub>5</sub> en orden descendente, es: Cocina, zona de lavado, lavamanos, baño, ducha y lavadora.

Respecto a la aceptación social sobre las fuentes de AG se encontró por medio de una encuesta que, en Villa real, Portugal, la comunidad prefiere que el origen de AG para reutilización sea, en orden descendente: Lavamanos, ducha/bañera, bidé, lavadora, lava platos, lavadero, lava

vajillas (Meléndez-Pérez et al., 2019). Sin embargo, teniendo en cuenta el contexto del asentamiento, los aparatos sanitarios existentes y la distribución de aguas grises crudas domésticas presentes en la Tabla 5, las fuentes adecuadas se limitan a: Lavamanos, Ducha/bañera y lavadora, que, además, poseen una baja contaminación, por lo que, la selección de las fuentes de reutilización de AG y porcentaje se indican en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Selección de porcentaje de generación de AG*

<b>Fuente</b>	<b>Porcentaje definido</b>
Ducha	14.00%
Lavamanos	2.80%
Lavadora	30.80%
<b>Total</b>	<b>47.60%</b>

A partir de la literatura se encontraron estudios en diferentes contextos, como en Portugal, el cual evidencia que los usos de preferencia de AG tratada, en orden descendente, son inodoros, jardín, lavavajillas, lavadora y lavadero (Meléndez-Pérez et al., 2019). Así mismo, en un análisis realizado en Johannesburgo, un porcentaje considerable de sudafricanos encuestados prefiere la reutilización de aguas no potables para descargas de inodoro, por encima de otros usos como el lavado de automóviles (Ilemobade et al., 2013). Reforzando los hallazgos, las encuestas realizadas en viviendas del área metropolitana de Bucaramanga, indicaron que los usos del agua que presentan mayor preferencia, en orden decreciente, son: inodoros, patios y jardines, fregaderos, lavadoras, lavamanos, duchas y lavavajillas.

Finalmente, se consideró la opinión de la comunidad del asentamiento Miradores de la UIS, la cual fue consistente con los resultados de la literatura. Según los datos de la encuesta recopilada en la fase I, gráfica 1 muestran prioridad por el uso de descarga de inodoros, riego de jardines y riego agrícola con un porcentaje que abarca el 69.73%.

Conforme a lo establecido en la Resolución 1207 de 2014, se verificaron los resultados de la tabla 6 con el fin de cumplir los criterios para el reúso del agua gris proveniente de ducha, lavamanos y lavadora. Se constató que el pH se encuentra dentro del rango permisible (6 - 9), con excepción del agua gris de la lavadora. En cuanto a la conductividad, todas las fuentes cumplen con el límite establecido, siendo este inferior a 1500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , por lo que es aplicable su uso para riego y descarga de inodoros.

En cuanto a los parámetros restantes de turbidez, DQO y DBO5, si bien no se establecen límites específicos en la resolución 1207, su análisis a partir de la tabla 6, permiten concluir que los valores de turbidez, DQO y DBO5 son inferiores en lavamanos, duchas y lavadoras. Lo anterior refuerza la idea de que estos aparatos son los más idóneos para el empleo de agua gris en ellos.

Los resultados de la fase II, determinaron el escenario tipo de reutilización de AG a partir de sus fuentes y usos. Como se ilustra en la Figura 8.

### Figura 8

#### *Escenario tipo de reutilización de AG*



La definición de los escenarios respecto al abastecimiento y uso de agua es la siguiente:

**Tabla 8***Escenarios de abastecimiento y uso del agua*

<b>Escenarios de abastecimiento y uso del agua</b>		
1	Sin reúso de aguas grises	Dotación actual del asentamiento
2	Sin reúso de aguas grises	Dotación mejorada del asentamiento
3	Con reúso de aguas grises	Dotación actual del asentamiento
4	Con reúso de aguas grises	Dotación mejorada del asentamiento

Dotación actual del asentamiento = 57.14 L/hab/día. Calculada en la fase I.

Dotación mejorada del asentamiento = 140 L/hab/día.

Según [27], para una altura promedio de metros sobre el nivel del mar inferior a mil m.s.n.m.

La no reutilización de AG equivale a 0 L/hab/día de reutilización.

El reúso de AG se midió respecto a la dotación actual y la mejorada, con:

**Ecuación 18***Reúso de AG*

$$R.Dot(i) = Dotación(i) * AG.R\%$$

Donde R.Dot (i), es el reúso de AG según corresponda, Dotación(i), es la dotación según corresponda y AG.R%, es el porcentaje total de AG reutilizadas de la tabla 7.

**Tabla 9***Escenarios de abastecimiento y uso del agua para Miradores de la UIS*

Escenario	Reúso de AG [L/hab/día]	Dotación	Dotación
		actual/mejorada [L/hab/día]	de diseño [L/hab/día]
1	0	57.14	57.14
2	0	140.00	140.00
3	27.20	57.14	29.94
4	66.64	140.00	73.36

Los escenarios de abastecimiento de la Tabla 9 equivalen a los valores de dotación con los que se realizó el dimensionamiento del alcantarillado, calculados como la diferencia entre la Dotación actual/mejorada y el reúso de AG.

#### **4.3 Fase III: Formulación de alternativas de sistemas de alcantarillado**

A continuación, se presentan los resultados del dimensionamiento y costos del alcantarillado.

##### **4.3.1 Selección y trazado de sistema de alcantarillado**

Según Tilley et al (Ministerio de Ambiente, n.d.) se parte de la implementación de un sistema convencional normalmente instalado bajo el paso vehicular, sin embargo, al revisar la información topográfica y el diseño urbanístico proyectado suministrado en la fase I, se identificaron pasos peatonales, en pendientes que llegan a superar el 50%, con espacio limitado y escaleras ya construidas en concreto; la información permite ver factible en estos casos la

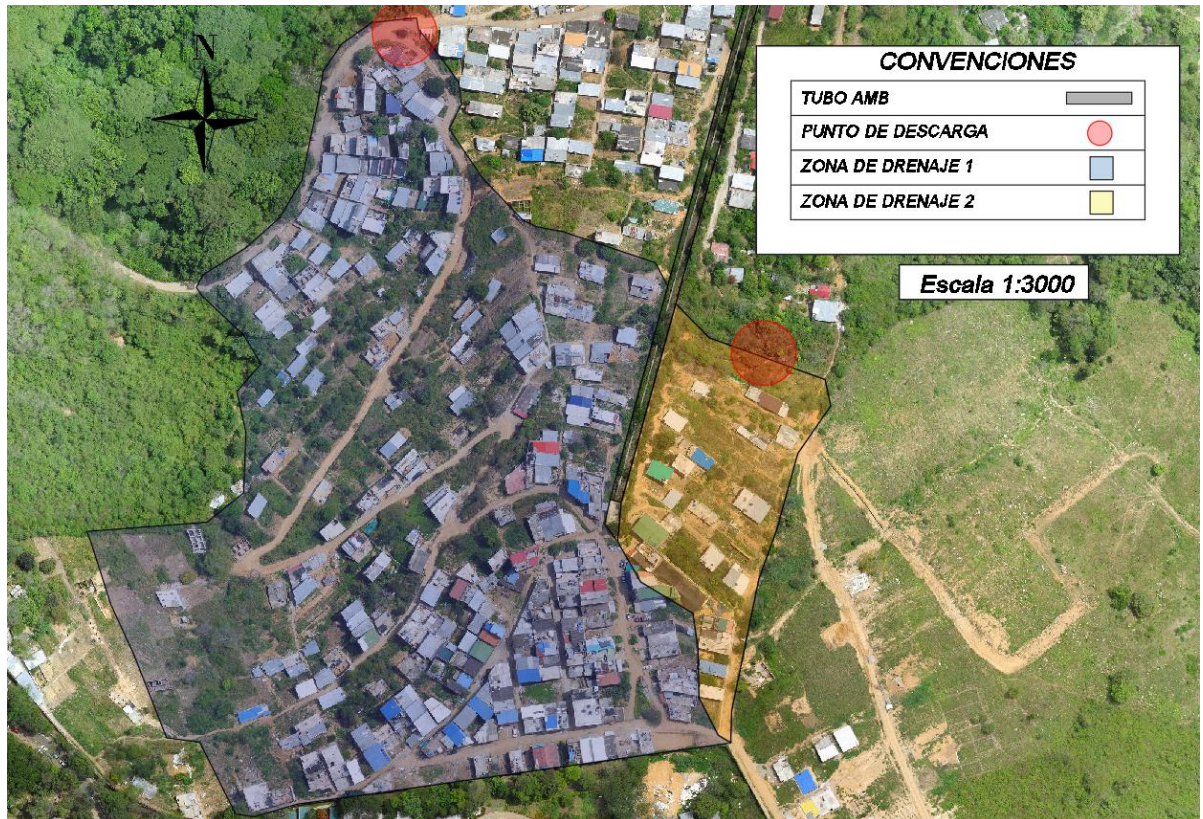
implementación del alcantarillado simplificado, especialmente en áreas de alta densidad poblacional como estas (Tilley et al., n.d.).

En vista de ello, se requirió diseñar un único sistema, combinación de convencional y simplificado que cumpliera con sus requisitos individuales. De esta manera, teniendo en cuenta el poco espacio disponible, para los pasos peatonales se emplearon cajas de inspección y manijas. Las cajas garantizan que las viviendas de zonas peatonales tengan la conexión al sistema. Para las carreteras y vías futuras se emplearon pozos de inspección y colectores, correspondientes al alcantarillado convencional. Los pozos permitieron la conexión de viviendas adyacentes, centrar los colectores en el eje de la vía y conectar los tramos del alcantarillado simplificado.

Dada la topografía y el tubo de red matriz de agua potable del acueducto, el trazado (planta general) se dividió, dirigiendo el agua residual a dos puntos de descarga previstos como futuras conexiones para la expansión y continuidad del sistema, como se puede apreciar en la figura 9. El trazado completo se puede ver el Apéndice G.

**Figura 9**

*Bosquejo zonas de drenaje del asentamiento*



#### ***4.3.2 Distribución de áreas de drenaje***

Se realizaron correcciones para las zonas donde no se cumplía a cabalidad el método de polígono de Thiessen, sugerido por ArcGIS ®. La suma de toda el área analizada correspondió a 8.5 Ha. Finalmente, la distribución de las áreas se presenta en el Apéndice H.

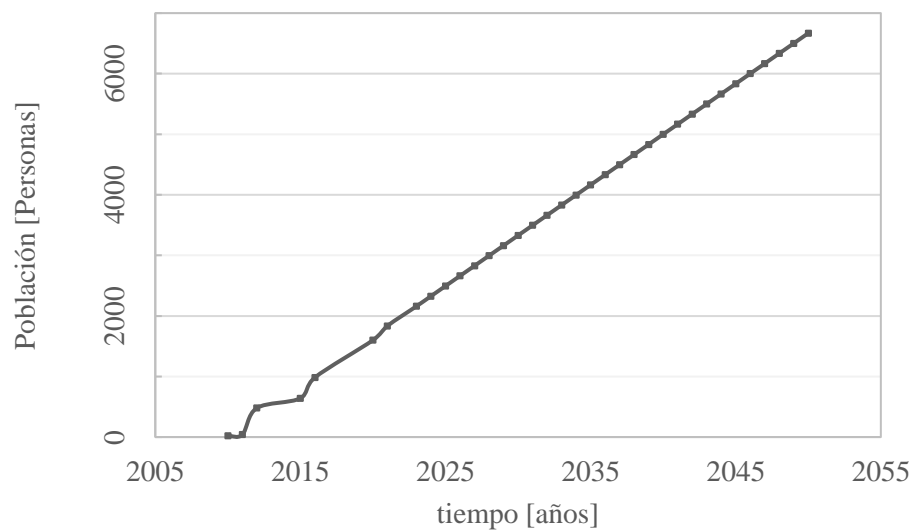
#### ***4.3.3 Diseño alcantarillado sanitario***

El resultado de las proyecciones a 25 años, según la normativa (Ministerio de Ambiente, 2016) y arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 10***Proyecciones población futura*

Método	Población futura [Personas]
Aritmético	6,668
Geométrico	345,372
Exponencial	12,868,083,062

Teniendo en cuenta el crecimiento población de Miradores de la UIS, encontrado en la fase I, y la posibilidad de expansión, el resultado más coherente es el arrojado por el método aritmético, como se muestra a continuación.

**Figura 10***Proyección aritmética del asentamiento*

El resultado gráfico del método geométrico y exponencial se encuentra en el Apéndice I, donde se muestra como el incremento poblacional es excesivo y poco ajustado a la realidad.

Se continuó con el proceso de diseño, el cual arrojó diámetros mínimos; para el alcantarillado simplificado se tienen todas las tuberías con diámetro de 6" y para el convencional diámetro de 8". Si bien la topografía del terreno provocó que algunos tramos de la tubería se ubicaran a grandes profundidades, esta medida era indispensable para garantizar el correcto flujo de las aguas residuales hasta el punto de descarga. Así mismo, en donde se encontró una diferencia de nivel entre cotas bateas mayor a 0.75 m se entregó por medio de cámaras de caída de 6" (Ver figura 11).

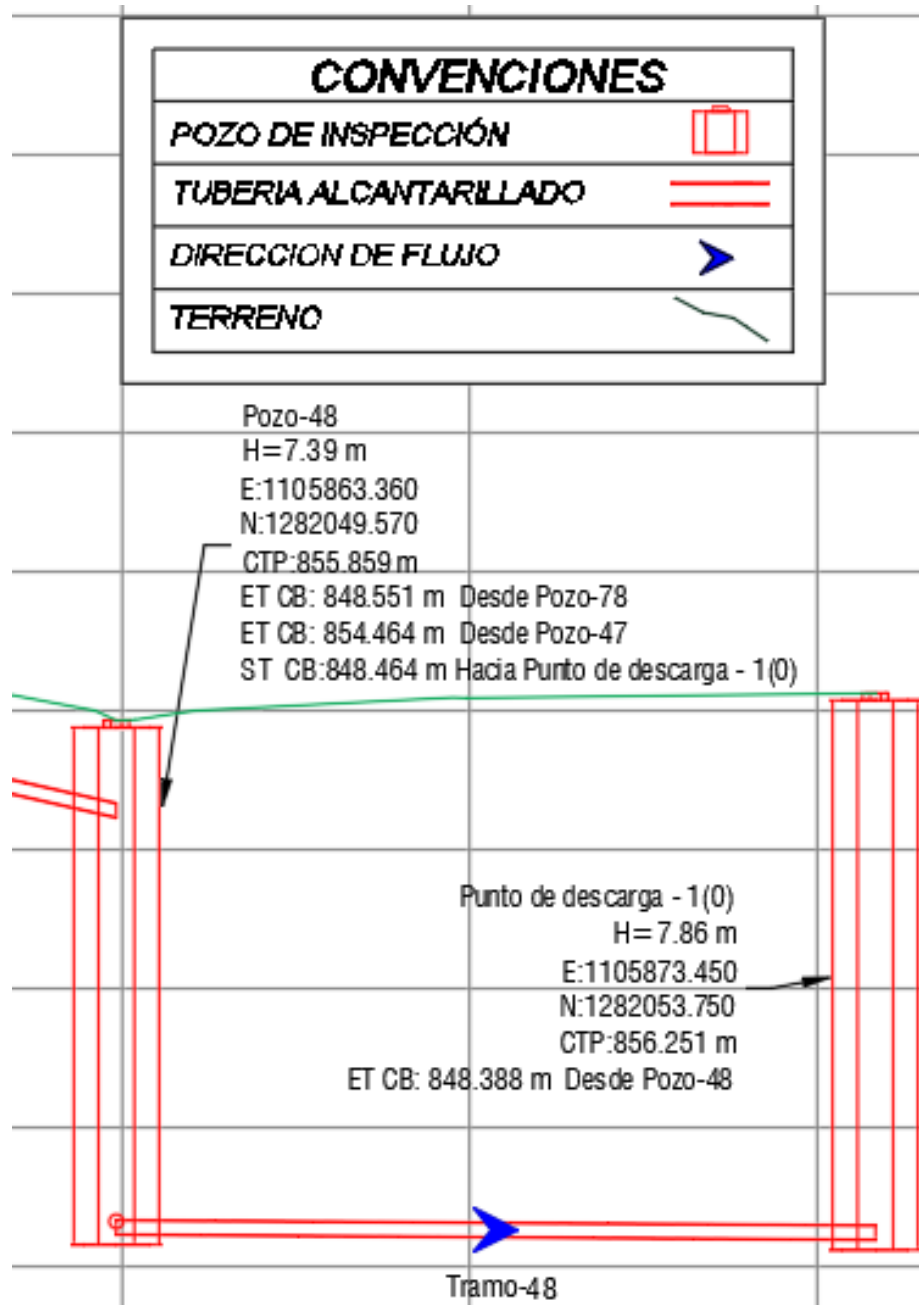
Las tablas de diseños se pueden ver en el Apéndice K. Se realizaron perfiles donde se podía apreciar la ubicación y el avance de los tramos a través del terreno.

Nota: Teniendo en cuenta que no se contaba con un levantamiento topográfico, se presentaron condiciones en las que las cotas de terreno no coincidían con lo encontrado en campo, donde las vías mantienen una pendiente uniforme en este caso se realizó una aproximación de dicha cota.

Los perfiles y plantas con los elementos diseñados para cada escenario (alternativa) propuesto se encuentran en el Apéndice J (Ver figura 12 y 9).

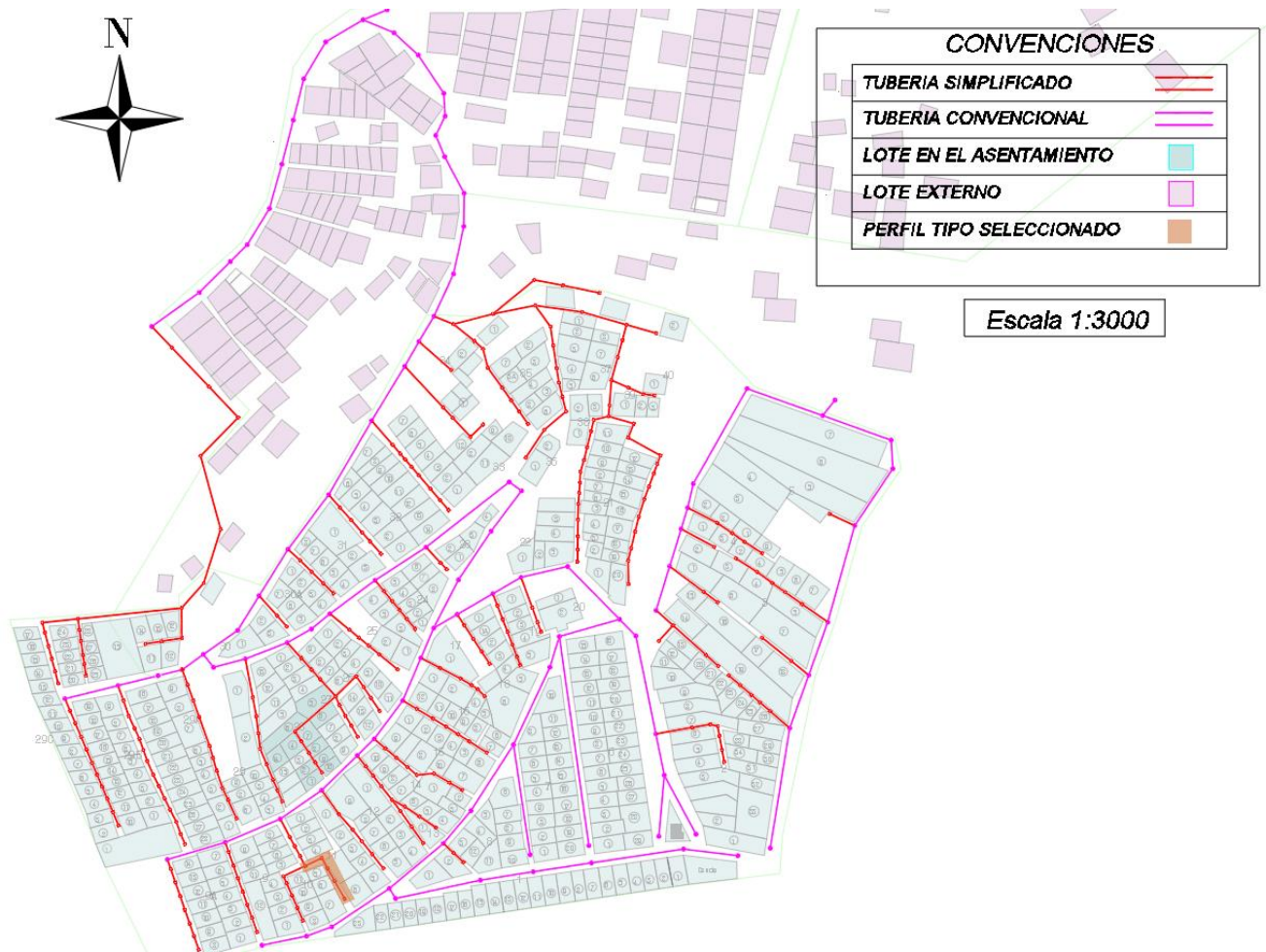
**Figura 11**

*Ejemplo de cámara de caída y pozo profundo (tramo 48)*



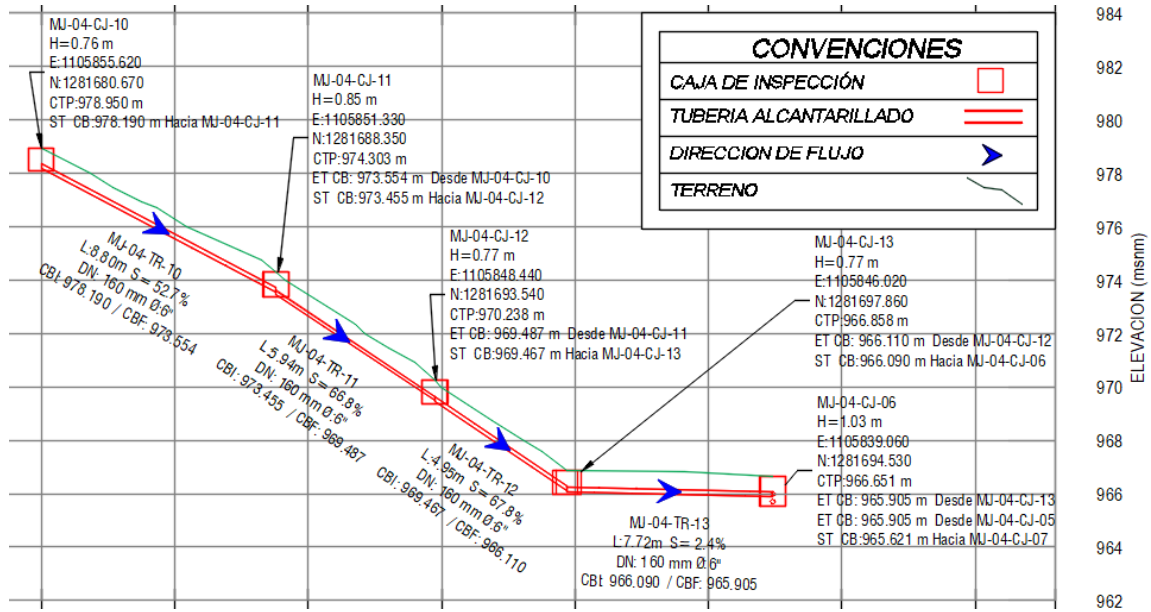
**Figura 12**

*Planta tipo con tramos convencional y simplificado*



**Figura 13**

*Perfil Tipo*



**4.3.4 Costos de materiales**

El análisis de costos de materiales para los diferentes escenarios de abastecimiento con diseños de diámetros mínimos dio los resultados mostrados en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Costos de materiales por escenario*

Escenario	Dotación [L/hab*día]	Materiales
1	57.14	\$ 564,072,030.56
2	140	\$ 566,691,035.12
3	29.94	\$ 572,537,707.64
4	73.36	\$ 564,580,487.89

El detalle del análisis de precios unitarios y presupuesto de materiales final se presentan en el Apéndice L.

La validación de precios requiere una comparación entre elementos similares. Para ello, se decidió comparar los costos unitarios de los materiales y así determinar si los precios se ajustan a los valores de mercado. Teniendo en cuenta las bases de datos mencionadas en la metodología, se encontró que el valor unitario de las cajas de inspección con características similares ronda entre \$ 471,319.00 – \$ 1,569,149.00 (Cype ingeniería, n.d.), para los pozos \$ 1,250,073.00 – \$ 6,423,454.08 (Cype ingeniería, n.d.) y cámaras de caída entre \$421,546.00 – \$ 486,941.96 (Banca de Desarrollo Territorial, 2022) y por último para el valor unitario de las tuberías ronda entre \$ 44,713 – \$ 71,494 (Pavco Wavin, 2022). Por lo que se puede decir que los valores de la propuesta de presupuesto son coherentes.

#### ***4.3.5 Costos evitados***

Los costos evitados se estimaron con una referencia de 4380 m<sup>3</sup> de consumo mensual, con \$ 3,063.00/m<sup>3</sup> para consumo, \$ 5.8/m<sup>3</sup> por tasas ambientales y cargo fijo de \$ 10,078. Los costos evitados están sujetos a cambios ya que no se tuvieron en cuenta, descuentos o subsidios asignados por parte del amb y se pueden apreciar en la tabla 12.

**Tabla 12***Costo evitado por escenario*

Escenario	Dotación [L/hab*día]	Cargo mensual	Costo evitado
1	57.14	\$ 13,475,972	\$ ---
2	140	\$33,017,783	\$ ---
3	29.94	\$7,061,089	\$ 6,414,884
4	73.36	\$17,301,318	\$15,716,465

**4.3.6 Comparación de escenarios y diseños de alcantarillados propuestos**

Con base en el proceso de diseño y los resultados de la fase I, se muestran a continuación las ventajas y desventajas, según los resultados de cada escenario. Teniendo en cuenta que el trazado es el mismo para todos los escenarios, los criterios de mantenimiento, futuras expansiones y responsabilidad de la población, tienen las mismas ventajas y desventajas.

**Tabla 13***Ventajas y desventajas de los escenarios*

Criterios	Ventajas	Desventajas
Mantenimiento	El mantenimiento de las cajas de inspección no es tan complejo por lo tanto no requiere personal especializado. Garantiza un buen funcionamiento en el sistema de alcantarillado y menor riesgo de filtración.	La topografía del terreno impide el acceso de camiones para su mantenimiento (vactor). Las cajas de inspección requieren mantenimiento frecuente.

	Asegura una mejora en la salubridad en comparación con el sistema actual	El reusó de aguas grises puede producir taponamientos o desgaste prematuro.
Futuras expansiones	El trazado permite la conexión futura de los asentamientos aledaños ya que los puntos de descarga se definieron en puntos estratégicos, para facilitar su conexión.	Para el loteo, se consideró una distribución predefinida que no se ajusta estrictamente a la realidad. Esta situación podría generar cambios en la proyección estimada o en la ubicación de los lotes a construir. El trazado considerado para garantizar la conexión de las viviendas requiere, en algunos tramos, de profundidades grandes.
Responsabilidad de la población	Fomenta la participación comunitaria en la gestión del agua y el saneamiento, lo que contribuye a un mayor sentido de responsabilidad y empoderamiento.	El descuido del sistema por parte de la comunidad podría ocasionar obstrucciones y colapsos en el sistema de alcantarillado.

Si bien, todos los escenarios (alternativas) comparten el mismo trazado, se presentaron diferencias en algunas características del diseño, principalmente en las pendientes y longitud total de cada sistema, como se puede ver en la tabla 14.

Según la tabla 11, la diferencia en costos de materiales para el diseño de las alternativas R&T no es significativa, a pesar de que las dotaciones de diseño fueron diferentes. Sin embargo, su diferencia radica en la altura de las estructuras hidráulicas.

**Tabla 14***Características de diseños por escenario*

	Alcantarillado	Estructuras hidráulicas	Pendientes	Tramos	Diámetro	Longitud [m]	Cámaras de caída
Escenario	Convencional	95	0.7%-54.6%	93	8	2056.41	10
1	Simplificado	276	0.7%-111.2%	276	6	2392.63	11
Escenario	Convencional	95	0.7%-55%	93	8	2055.8	10
2	Simplificado	276	0.7%-111.2%	276	6	2392.3	11
Escenario	Convencional	95	0.7%-50.2%	93	8	2392.7	10
3	Simplificado	276	0.9%-111.2%	276	6	2056.6	11
Escenario	Convencional	95	0.7%-52.8%	93	8	2056.3	10
4	Simplificado	276	0.8%-111.2%	276	6	2392.6	11

## 5. Conclusiones

Este estudio reveló la situación actual del asentamiento no planificado Miradores de la UIS, respecto al sistema de abastecimiento de agua y recolección y transporte de aguas residuales, en el cual se evidencia que el terreno se caracteriza por tener pendientes pronunciadas y una distribución densa de lotes. Adicionalmente, el sistema de recolección y transporte de aguas residuales no fue construido siguiendo los parámetros técnicos adecuados para un funcionamiento óptimo. En consecuencia, la comunidad considera que el sistema de alcantarillado debe ser reemplazado principalmente por los malos olores y estarían dispuestos a pagar más por el servicio y mejorar el sistema. Además, manifestaron su acuerdo con la reutilización de aguas residuales tratadas.

Con base en el diagnóstico del asentamiento Miradores de la UIS, se llevó a cabo una revisión bibliográfica que evidenció que las fuentes idóneas para la reutilización de aguas grises se restringen a lavamanos, duchas/bañeras y lavadoras. Esta selección se fundamenta en que dichas fuentes presentan baja contaminación permisible de acuerdo con los estándares de calidad establecidos por la normativa vigente, además de ser las que generan mayor volumen de aguas grises y las más comunes en las viviendas del asentamiento. En concordancia con la literatura revisada y la opinión de la comunidad, se determinó la viabilidad del uso de aguas grises para la descarga de inodoros y el riego.

Este proyecto, a través del diagnóstico marca un precedente para el estudio de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales para asentamientos no planificados o en contextos similares, además, considera la reutilización de aguas grises como solución a el déficit de abastecimiento continuo de agua potable.

Se planteó un único trazado para el sistema de recolección y transporte de aguas residuales, considerando la topografía y el diseño urbanístico proyectado. Este trazado contempla dos puntos de descarga, permitiendo la conexión de futuras viviendas. En cuanto al diseño, se concluye que dado que el terreno es muy escarpado (Pendiente  $> 50\%$ ) se determinaron diámetros mínimos de 6" para el sistema simplificado y de 8" para el sistema convencional. En lo que respecta a los costos de materiales, no se observaron diferencias significativas entre los cuatro escenarios evaluados. Esta conclusión sugiere que, en este caso de estudio, la reutilización de aguas grises no ejerce una influencia notable en el diseño y operación de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales, pero sí representa una disminución en la tarifa del servicio para el asentamiento no planificado miradores de la UIS.

## 6. Recomendaciones

Teniendo en cuenta la propuesta de reúso de AG en usos como la descarga de aparatos sanitarios, se sugiere que las aguas residuales resultantes deben someterse a un tratamiento no doméstico. Con el fin de garantizar la eliminación de patógenos y contaminantes adicionales que no se eliminan en el proceso inicial, para asegurar la seguridad sanitaria y la protección del medio ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Dada la variabilidad en la calidad del agua gris proveniente de lavadoras según los ciclos de lavado, se sugiere realizar una investigación específica sobre este aspecto. Esta investigación debería analizar la calidad del agua gris por ciclo, considerando parámetros microbiológicos, químicos, iónicos, metales y pH, con el fin de que cumplan el rango permisible establecido en la norma (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Debido a la falta de estudios de suelos, no es posible determinar con certeza si las alternativas de diseño de alcantarillado propuestas requieren de estructuras de contención, como entibados. En caso de que se contemple la construcción a futuro, se recomienda enfáticamente realizar estudios geotécnicos para evaluar las características del terreno y determinar la necesidad de implementar medidas de contención adecuadas.

Si bien la propuesta presentada en este estudio ofrece una solución viable para la implementación del servicio de alcantarillado en el Asentamiento Miradores de la UIS, es importante destacar que existen diversas alternativas de trazado que también podrían cumplir con los objetivos planteados. Se recomienda evaluar en detalle las distintas opciones disponibles.

### Referencias Bibliográficas

- Banca de Desarrollo Territorial. (2022). Listado de precios unitarios fijos.
- Blanco S, H. A., De Williams, M. L., Velezmoro, A. C., & Aguilar, V. H. (2014). Consumo de agua en actividades domésticas. caso de estudio: estudiantes de la asignatura saneamiento ambiental de la UCV (Vol. 29, Issue 1).
- Cardenas Rey, J. C. (n.d.). Acuerdo\_013\_2020-Adopcion-plan-de-desarrollo-2020-2023.
- Carrillo Diaz, J., Mendoza, E., Manuel, P., & Baena, P. (2005). Diseño de las redes de acueducto y alcantarillado del barrio Nuevo Triunfo de Soledad (Atlántico). <https://doi.org/10.1/JQUERY.MIN.JS>
- Connor, R., Cordeiro, A., Koncagül, E., & Uhlenbrook, S. (2017). Aguas residuales. [www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en](http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en)
- Cype ingenieria. (n.d.). Generador de precios. Retrieved April 27, 2024, from <https://info.cype.com/es/software/generador-de-precios/>
- De, H., & Sobrinho, T. (n.d.). Simplified Sewerage Systems and Potential Application to Rural Louisiana Communities Recommended Citation Recommended Citation. Retrieved May 2, 2024, from [https://scholarworks.uno.edu/honors\\_theses/100](https://scholarworks.uno.edu/honors_theses/100)
- Díaz, M. A., Decinti, A., Blanco, D., & Vasquez, K. (2021). Methodology for the reuse of grey water in dwelling located in areas of water stress and extreme hydric stress - Characterization, quality and treatment options for reuse in Chile. *Informes de La Construccion*, 73(563), 1–12. <https://doi.org/10.3989/ic.80823>

- Donald, J. Mac, Otava, F., Simioni, D., & Komorizono Iizuka, M. (1998). Desarrollo sustentable de los asentamientos humanos: logros y desafíos de las políticas habitacionales y urbanas de América Latina y el Caribe. CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/5754>
- Gómez, L., Moreno, M., Vargas, M., & Cedeño, M. (2021). Análisis de la generación de aguas grises en los hogares y evaluación de sistemas de tratamiento.
- Ilemobade, A. A., Olanrewaju, O. O., & Griffioen, M. L. (2013). Greywater reuse for toilet flushing at a university academic and residential building. *Water SA*, 39(3), 351–360. <https://doi.org/10.4314/wsa.v39i3.2>
- López Trujillo, C. (2009). Guía para la reutilización de AG en lavamanos de establecimientos educativos.
- Meléndez-Pérez, J. A., Lemos-Lima, M. M. C., Dominguez, I., & Oviedo-Ocaña, E. R. (2019). Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 223–236. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n1-2019020>
- Ministerio de Ambiente, V. y D. Territorial. (n.d.). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. Territorial. (2010). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-Título J.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. Territorial. (2016). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Título D.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Resolución 1207 de 2014 ,Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.  
<https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-1207-de-2014/>
- Ministerio de Vivienda, C. y T. de C. (n.d.). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Título K.
- Ministerio de Vivienda, C. y T. de C. (2017). Resolución 0330 - 2017 | Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.Minvivienda. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>
- Ministerio de Vivienda, C. y T. de C. (2022). ¿Cómo se define un asentamiento humano ilegal?  
<https://www.minvivienda.gov.co/node/46722>
- Naciones Unidas. (n.d.). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. Retrieved October 24, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Navarro Sousa, S., & Estruch Guitart, A. V. (2023). Ahorro hídrico y análisis económico del aprovechamiento del agua de lluvia y reutilización de aguas grises en edificios: estimación en una población del Levante mallorquín (España). Cuadernos Geográficos de La Universidad de Granada, ISSN 0210-5462, ISSN-e 2340-0129, Vol. 62, No 2, 2023, Págs. 5-29, 62(2), 5–29. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i2.26054>
- Niño Rodríguez, E. D., & Martínez Medina, N. C. M. (2013). Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá.

- Organización Mundial de la Salud. (n.d.). Saneamiento. Retrieved October 24, 2023, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- Oviedo, E., Dominguez, I., Ward, S., Rivera, M., & Zaraza, J. (2018). Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. <https://doi.org/19200-19216>
- Patiño, S., Domínguez, I., & Oviedo, R. (2024). Área de prestación de servicio del sistema de recolección y transporte de aguas residuales: Miradores de la UIS, El Porvenir, Los Cuadros y Santos bajo. En: Desarrollo de estrategias para el manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos, con enfoques de sostenibilidad y economía circular, en la cuenca del río Alto Lebrija. Universidad Industrial de Santander.
- Pavco Wavin. (2022). Lista de precios: construyendo entornos saludables y sostenibles. [www.pavcowavin.com.co](http://www.pavcowavin.com.co)
- Tilley, Schertenleibpe, Zurbrügg, Ulrich, Lüth, & Reymond. (n.d.). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento 2 a edición revisada.