

Diagnóstico de la infraestructura de recolección y transporte de aguas residuales en asentamientos no planificados en países en vía de desarrollo. Caso de estudio: Área Metropolitana de Bucaramanga

Daniel Felipe Alvarado Velásquez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Isabel Cristina Domínguez Rivera

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

Codirector

Sebastián Elías Patiño Gutiérrez

M. Sc en Ingeniería Civil - Énfasis en Recursos Hídricos y Medio Ambiente

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis padres, familia y amigos por prestar siempre un apoyo incondicional a mis proyectos.

A las comunidades de Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo, este trabajo es para ustedes.

Agradecimientos

A mi directora y co-director de trabajo de grado, por estar siempre presentes en el desarrollo de esta investigación y atender todas las inquietudes que se presentaron en el proceso.

A Timothy John McClellan, por su apoyo y condescendencia.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Marco Teórico.....	15
1.1 Aguas Residuales	15
1.1 Asentamientos no Planificados	15
1.2 Sistemas de Recolección y Transporte de Aguas Residuales	15
1.3 Tipos de sistemas de recolección y transporte de aguas residuales	18
1.3.1 Sistemas convencionales.....	18
1.3.2 Sistemas no convencionales.....	18
1.3.3 Sistemas in situ	18
1.3.4 Normativa vigente.....	19
2. Objetivos	20
2.1 Objetivo General.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. Metodología	21
3.1 Zona de Estudio	21
3.2 Fase I: Formulación de protocolos.....	22
3.2.1 Protocolo de geolocalización de los elementos del sistema de R&T de AR	23
3.2.2 Protocolos de inspección de componentes del sistema de R&T de AR	23
3.3 Fase II: Inspección del sistema de recolección y transporte de aguas residuales	24
3.3.1 Geolocalización de estructuras del sistema de R&T de AR	24
3.3.2 Inspección de cámaras, colectores e interceptores del sistema de R&T de AR	25

3.4	Fase III: Diagnóstico del sistema de R&T de AR en los ANP	26
3.4.1	Trazado del sistema de R&T de AR	26
3.4.2	Evaluación de la Infraestructura de R&T de AR	27
4.	Resultados	30
4.1	Fase I: Formulación de protocolos.....	30
4.1.1	Protocolo de geolocalización de los elementos del sistema de R&T de AR	30
4.1.2	Protocolos de inspección del sistema de R&T de AR	31
4.2	Fase II: Inspección del sistema de recolección y transporte de aguas residuales	32
4.2.1	Geolocalización de estructuras del sistema de R&T de AR	32
4.2.2	Trazado del sistema de R&T de AR	34
4.2.3	Inspección de cámaras, colectores e interceptores del sistema de R&T de AR	34
4.3	Fase II: Diagnóstico del sistema de recolección y transporte de aguas residuales ...	35
4.3.1	Evaluación de la infraestructura de R&T de AR	35
5.	Conclusiones	43
6.	Limitaciones y recomendaciones	45

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Valores permitidos para los indicadores constructivos de las cámaras de inspección ...	27
Tabla 2. Estado recomendado para los indicadores funcionales de las cámaras de inspección ...	28
Tabla 3. Características del rango establecido para los indicadores funcionales	29
Tabla 4. Valor para indicadores funcionales de las cámaras de inspección	30
Tabla 5. Cámaras de Inspección ubicadas	34
Tabla 6. Cumplimiento de indicadores constructivos en las cámaras de inspección.....	36
Tabla 7. Estado de los indicadores funcionales de las cámaras de inspección	37

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Sumidero con rejilla	16
Figura 2. Cámara de inspección cilíndrica.....	17
Figura 3. Ubicación de los asentamientos en estudio al noreste de Bucaramanga	21
Figura 4. Diagrama del proceso metodológico	22
Figura 5. Cámaras de inspección localizadas	33
Figura 6. Localización de los vertimientos	33
Figura 7. Distribución de los diámetros por colectores	37
Figura 8. Diámetro del anillo de la cámara.....	38
Figura 9. Altura interna de la cámara.....	38
Figura 10. Diámetro interno de la cámara	38
Figura 11. Profundidad de la cámara	38
Figura 12. Estado estructural de la cámara	38
Figura 13. Presencia de escombros.....	38
Figura 14. Evidencia de grietas.....	39
Figura 15. Evidencia de infiltraciones	39
Figura 16. Estado de impermeabilización.....	39
Figura 17. Estancamiento.....	39
Figura 18. Mapa del sistema de R&T de AR con puntos críticos.....	42
Figura 19. Perfil de elevación de los ANP.....	43

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el repositorio institucional

Apéndice A. Características de los artículos revisados

Apéndice B. Protocolo de Geolocalización de estructuras del sistema de R&T de AR en ANP

Apéndice C. Indicadores seleccionados

Apéndice D. Protocolo de Inspección de estructuras del sistema de R&T de AR en ANP

Apéndice E. Mapa de puntos y estructuras geolocalizadas

Apéndice F. Formatos digitalizados de inspección de cámaras

Glosario

Agua residual: agua que procede de viviendas, poblaciones o zonas industriales y su calidad ha sido alterada por intervención humana

Asentamiento: lugar donde se establece una persona o una comunidad

Indicador: característica específica, observable y medible generalmente utilizada para evidenciar alteraciones, resultados y cualidades

Resumen

Título: Diagnóstico de la infraestructura de recolección y transporte de aguas residuales en asentamientos no planificados en países en vía de desarrollo. Caso de estudio: Área Metropolitana de Bucaramanga*

Autor: Daniel Felipe Alvarado Velásquez**

Palabras Clave: aguas residuales; alcantarillado; asentamientos; indicadores; diagnóstico.

Descripción: La gestión deficiente de las aguas residuales genera problemas de insalubridad, al ser foco de varias enfermedades. En asentamientos no planificados, las comunidades carecen de acceso al alcantarillado, obligando a sus habitantes a gestionar su propio sistema, sin tomar en cuenta los criterios técnicos adecuados para su funcionamiento. La presente investigación tiene como objetivo diagnosticar el sistema de recolección y transporte de aguas residuales en tres asentamientos no planificados de Bucaramanga, inspeccionando las estructuras que lo conforman. Se visitaron tres asentamientos ubicados en el norte de la ciudad: Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo. Primero, se formularon los protocolos de geolocalización e inspección; segundo, se desarrollaron las salidas de geolocalización e inspección; tercero, se diagnosticó el sistema, comparando las estructuras inspeccionadas con los valores recomendados por la normativa. Un 83% de la infraestructura del sistema estaba en buenas condiciones, sus parámetros de diseño y funcionamiento no cumplen con la normativa actual. El desarrollo del diagnóstico sienta un precedente para el estudio de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales en asentamientos no planificados, marginalizados por sus condiciones económicas y sociales.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. PhD in Agriculture, Food and Rural Development. Codirector: Sebastián Elías Patiño Gutiérrez. M. Sc en Ingeniería Civil.

Abstract

Title: Assessment of the wastewater collection and transport infrastructure in unplanned settlements from developing countries. Case study: Metropolitan Area of Bucaramanga*

Author(s): Daniel Felipe Alvarado Velásquez**

Key Words: wastewater; sanitary sewage; unplanned settlements; indicators; assessment.

Description: Poor wastewater management generates unsanitary problems, as it is the focus of several diseases such as cholera, hepatitis, and dysentery. In unplanned settlements, as they lack access to sanitary sewage, forcing their inhabitants to manage their own systems. The absence of a regulatory entity during the design and execution of these self-managed systems generates deficiencies in operation and infrastructure, as systems are not developed fulfilling standards. This research aims to assess the wastewater collection and transport system in the unplanned settlements in the Bucaramanga, surveying the system structures and evaluating the indicators in accordance with current regulations. To do this, three settlements were analyzed: Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo. First, geolocation and inspection protocols of the system structures were formulated. Second, visits to implement the geolocation and inspection protocols were developed. Third, the system assessment was carried out, comparing the indicators with reviewed standards, which included a map of the infrastructure. Although 83% of the system's infrastructure was in good condition, its design and operating parameters do not comply with current regulations. The development of the assessment sets a precedent for the investigation of wastewater collection and transportation systems in unplanned settlements.

* Degree Work

**Physic-mechanic Engineering Faculty. Civil Engineering School. Civil Engineering. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. PhD in Agriculture, Food and Rural Development. Co-director: Sebastián Elías Patiño Gutiérrez. M. Sc in Civil Engineering

Introducción

La ausencia de una red de alcantarillado adecuada es una situación crítica que afecta la salud y el bienestar de millones de personas que disponen sus aguas residuales a cielo abierto. Esta deficiente gestión de las aguas residuales genera focos de enfermedades como el cólera, diarrea, disentería, hepatitis y otras que se consideraban ya erradicadas como la poliomielitis (OMS, 2022). Como consecuencia de esta contaminación, cerca de 829,000 personas fallecen cada año por enfermedades asociadas al agua insalubre (OMS, 2022).

Paralelamente, esta mala disposición de las aguas residuales afecta la calidad del agua de fuentes hídricas superficiales y subterráneas destinadas para consumo humano, industrial y/o agropecuario. En el caso de América Latina, un 70% de las aguas residuales no son tratadas por lo que son vertidas a los ríos ocasionando contaminación (Banco Mundial, 2013). La deficiente gestión de las aguas residuales (AR) se agrava en áreas urbanas marginales como los asentamientos no planificados (ANP). [3]

Los ANP se establecen en zonas ausentes de planificación urbana, es decir, en áreas donde el plan de ordenamiento territorial (POT) no permite la construcción de viviendas (ONU Habitat, 2015). Esto se debe principalmente a que las zonas donde se establecen los ANP presentan riesgos ambientales o geológicos, o bien pueden ser destinadas para otra actividad (Zambrano & Macias, 2020).

En el Área Metropolitana de Bucaramanga, para 2020 se reportó la existencia de 120 ANP, albergando más de 118 mil personas (20.3% de la población) (ONU Habitat, 2015). Históricamente, el crecimiento de la población en los ANP ha aumentado producto de la migración de personas desde los inicios de la segunda mitad del siglo XX (Rocha García et al., 2006), por situaciones como el desplazamiento por razones socioeconómicas, conflicto armado interno,

desastres naturales y, en años recientes, la migración proveniente de Venezuela (Zambrano & Macias, 2020). La falta de planificación del territorio, la desigualdad y el desamparo institucional, generan que los ANP carezcan de acceso a servicios públicos, entre ellos alcantarillado, lo que lleva a sus habitantes a evacuar sus AR de forma artesanal, siendo vertidas comúnmente directamente en el ambiente (Pineda, 2021).

Esta investigación tiene como objetivo diagnosticar la infraestructura del sistema de recolección y transporte de AR de tres ANP en el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB): Miradores de la UIS, El Porvenir y Santos Bajo; ubicados en el nororiente de Bucaramanga, llevando a cabo una inspección de la infraestructura, con el fin del evaluar el estado y las características principales de los sistemas de alcantarillado implementados en poblaciones marginalizadas. Este trabajo pretende responder la pregunta: ¿Cuál es el estado actual del sistema de recolección y transporte de aguas residuales en los asentamientos no planificados: Miradores de la UIS, El Porvenir y Santos Bajo?

Antecedentes

Investigaciones sobre la R&T de AR en ANP se han desarrollado en África (Katukiza et al., 2012; Sane, 2017), América (Flores Lucero, 2014; Rojas Vaca & Sastoque, 2018; Rueda Morales & Zambrano, 2018), y Asia (Parkinson, Tayler, & Mark, 2007); donde, a pesar de las diferencias culturales, geográficas, políticas y sociales, existen sistemas autogestionados por las comunidades. En los casos estudiados, cada comunidad utilizó el sistema que más se ajusta a las condiciones geológicas, topográficas y socioeconómicas del asentamiento.

Desglosando el tipo de sistemas utilizados en cada caso de estudio, se encontró que, en los ANP, para la R&T de AR se usan mayormente sistemas in-situ (pozos sépticos), debido a la insuficiencia de la pendiente del terreno (Sane, 2017), un nivel freático muy cercano a la superficie

(Parkinson, Tayler, & Mark, 2007) y ausencia de recursos para la elaboración de sistemas más complejos (Rueda Morales & Zambrano, 2018). Otras localidades contaban con la favorabilidad del terreno para la realización de sistemas no convencionales (Rojas Vaca & Sastoque, 2018).

Las investigaciones se orientaron a la revisión y discusión de los sistemas de R&T, buscando: analizar alternativas sostenibles de saneamiento para los ANP (Parkinson, Tayler, & Mark, 2007), contemplar la posibilidad de integrar aguas pluviales al sistema y analizar de manera interdisciplinaria las condiciones de las AR en los ANP (Rueda Morales & Zambrano, 2018), (Rojas Vaca & Sastoque, 2018), y determinar las consecuencias del manejo deficiente de AR a nivel socioeconómico y ambiental. De acuerdo con la información recolectada a partir de los textos consultados, se destacan entre las metodologías empleadas: la realización de un trazado del sistema de R&T de AR de los ANP estudiados (Rojas Vaca & Sastoque, 2018), y la consulta a líderes de las comunidades sobre el estado del sistema de R&T (Rueda Morales & Zambrano, 2018), (Flores Lucero, 2014). El Apéndice A incluye una síntesis de los artículos analizados.

Adicionalmente, se evidenció un vacío con respecto a la literatura sobre AR proveniente de ANP en Santander, lo cual incluye al AMB, región en la que no existen estudios sobre el tópico de la presente investigación, más allá de menciones sobre la existencia de asentamientos que carecen de un sistema R&T de AR y otros servicios.

1. Marco Teórico

Los conceptos más relevantes acerca de la recolección y transporte (R&T) de AR en asentamientos no planificados son presentados a continuación.

1.1 Aguas Residuales

Son Se denominan aguas residuales a aquellas aguas que han sido afectadas por su uso agrícola, industrial y/o doméstico. Las aguas residuales domésticas son generadas en zonas residenciales, que se caracterizan por no poseer ningún tipo de tratamiento ni utilidad en el momento que se le dispone (Zarza, 2019). Generalmente se componen de 99.9% de agua y 0.1% de materia orgánica, microorganismos y compuestos inorgánicos. Las aguas residuales se pueden subcategorizar en aguas grises y aguas negras. Las aguas grises provienen de bañeras, duchas, lavamanos, patios y lavadoras, mientras que las aguas negras salen del sanitario (Hydraulic Institute, 2021).

1.1 Asentamientos no Planificados

Son zonas ausentes de planificación urbana, cuyas tierras y viviendas carecen del derecho de tenencia, haciendo uso de ellas mediante apropiación ilícita y arriendo informal. Estos asentamientos se caracterizan comúnmente por la falta de infraestructura y servicios públicos, usualmente se encuentran ubicados en áreas de alto riesgo ambiental y geológico (ONU Habitat, 2015). De igual forma, se les denomina infraviviendas, asentamientos irregulares, invasiones; y según la región de origen pueden ser favelas, tugurios y barrios marginales (Ducoling, Silva, & Monroy, 2012).

1.2 Sistemas de Recolección y Transporte de Aguas Residuales

Para evacuar las aguas residuales domésticas, las viviendas cuentan con redes de infraestructura sanitaria diseñadas para acopiar y llevar aguas residuales provenientes de uso

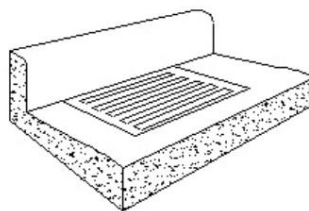
residencial a una planta de tratamiento de aguas residuales, o a su punto de disposición final. Estas redes son denominadas sistemas de recolección y transporte de aguas residuales, y usualmente están conformadas por elementos como tuberías, sumideros, cajas o cámaras de inspección y emisores (Minvivienda, 2017).

Las tuberías son estructuras cilíndricas huecas encargadas de recoger las aguas residuales hasta llevarlas a una planta de tratamiento o punto de disposición final. Normalmente están elaboradas con policloruro de vinilo, concreto o acero dúctil y su tamaño comúnmente oscila entre 4 y 24 pulgadas (EPA, 2000). De acuerdo con su capacidad son denominadas: Colectores primarios, cuando reciben varias tuberías domiciliarias dirigiéndolas hacia un interceptor o un punto de disposición final; secundarios, que llevan menos tuberías domiciliarias hasta una tubería más grande. También existen los interceptores, tuberías principales más grandes que los colectores, que dirigen las aguas residuales hasta una planta de tratamiento o vertimiento.

Los sumideros son estructuras con cámaras ubicadas de manera transversal o longitudinal en vías vehiculares y peatonales, con el objetivo de captar la escorrentía superficial, por lo que deben tener una pendiente mínima del 2%. Comúnmente, poseen una rejilla hecha con metales o polímeros, la cual impide el paso de sólidos de gran tamaño (Figura 1).

Figura 1

Sumidero con rejilla



Nota. Adaptado del RAS (Minvivienda, 2017)

Las cajas o cámaras de inspección son estructuras que recogen las aguas residuales de distintas tuberías, direccionándolas en un tubo interceptor, contando con una tapa removible, permitiendo el acceso de ventilación y personal de mantenimiento. También existen las cajas de inspección domiciliarias, que recogen las aguas residuales provenientes de una vivienda. Pueden estar elaboradas a partir de bloques, ladrillos, hormigón, polímeros, o la combinación de dos o más materiales. Usualmente tienen forma cilíndrica en su base y un cono truncado en su parte superior, cubierto con una tapa de metal o concreto, como en la Figura 2, aunque también se pueden encontrar cajas con forma rectangular, especialmente las domiciliarias (Urueta, 2019).

Figura 2

Cámara de inspección cilíndrica



Nota. Adaptado del Manual de Cámaras de Inspección vaciadas en sitio (EPM, 2021)

La cámara de inspección cilíndrica posee una cañuela en medio de la banquetta en su parte inferior (a), una cámara cilíndrica con peldaños metálicos (b), un cono de reducción en su parte superior que puede venir con o sin refuerzo (c) y una tapa que puede ser fabricada en metal o concreto (d). Los emisores, son el punto de disposición final de las tuberías de aguas residuales. Se recomienda que los emisores descarguen en plantas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, es frecuente realizar vertimientos al suelo o cuerpos hídricos.

1.3 Tipos de sistemas de recolección y transporte de aguas residuales

El Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento (RAS) clasifica los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales en tres tipos diferentes, tomando en cuenta principalmente la condición socioeconómica del entorno donde se implementa el sistema (Minvivienda, 2017).

1.3.1 Sistemas convencionales

Son los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales más utilizados en Colombia y, a su vez, se dividen en sistemas separados y sistemas combinados. Los sistemas separados se caracterizan por evacuar las aguas residuales y las aguas pluviales mediante redes independientes. Por otra parte, los sistemas combinados evacúan las aguas residuales y las aguas pluviales en el mismo sistema de tuberías (Minvivienda, 2017).

1.3.2 Sistemas no convencionales

Presentan una alternativa de menor costo con respecto a los sistemas convencionales, haciendo que su implementación sea más factible en comunidades con menor capacidad económica. A diferencia de los sistemas convencionales, las tuberías se ubican en los linderos de la propiedad, la fachada, el jardín o la vía peatonal, comprendiendo distancias más cortas y menor cantidad de tubos, además de requerir poca excavación pues están menos expuestos al tránsito vehicular (Tilley et al., 2018).

1.3.3 Sistemas in situ

Son sistemas de muy bajo costo, que pueden ser adecuados a zonas urbanas con poca densidad poblacional, tomando en cuenta las características de la topografía. Sin embargo, conforme aumenta la densidad poblacional, se recomienda sustituirlos por sistemas

convencionales, debido a la urbanización de la zona donde se emplean (Minvivienda, 2017). Los sistemas in-situ más comunes son letrinas, tanques, pozos sépticos y campos de riego.

1.3.4 Normativa vigente

La reglamentación técnica en Colombia con respecto a sistemas de recolección y transporte de aguas residuales es la establecida en el Título D del RAS, promulgado y actualizado en las Resoluciones 330 de 2017 y 799 de 2021 (Minvivienda, 2017). De igual forma, existen manuales y normas regionales, como Norma de Construcción de Cámaras de Inspección Vaciadas en Sitio de Empresas Públicas de Medellín (EPM, 2021), o el Manual de Cálculo de alcantarillado de la Empresa Pública de Alcantarillado de Santander (EMPAS, 2021).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diagnosticar el sistema de recolección y transporte de aguas residuales en asentamientos no planificados en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

2.2 Objetivos Específicos

- Inspeccionar las estructuras de recolección y transporte de aguas residuales en tres asentamientos no planificados: Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo.
- Examinar los atributos del sistema de recolección y transporte de aguas residuales de acuerdo con la normativa actual.

3. Metodología

Para garantizar un cumplimiento eficaz de los objetivos planteados, se proyectaron tres fases en el proceso de investigación. Fase I: revisión documental, recolectando datos oficiales de los asentamientos no planificados Miradores de la UIS, El Porvenir y Santos Bajo, revisando censos y demás información proporcionada por los entes gubernamentales. Fase II: visitas a los asentamientos, caracterización y delimitación de los asentamientos no planificados mediante sistemas de información geográfica, observación directa y toma de material fotográfico de la infraestructura sanitaria. Fase III: realizar el tratamiento de los datos recolectados para analizar y proponer soluciones viables a la problemática asociada a la infraestructura de recolección y transporte de aguas residuales en los asentamientos no planificados.

3.1 Zona de Estudio

Esta investigación se desarrolló en tres asentamientos no planificados del AMB, señalados en la Figura 3: Miradores de la UIS (morado), Porvenir (naranja) y Santos Bajo (azul). Estos asentamientos están ubicados en la Comuna 3, en la escarpa al noreste de la ciudad. El estudio se dividió en tres fases como se muestra en la

Figura 4 y se describe a continuación.

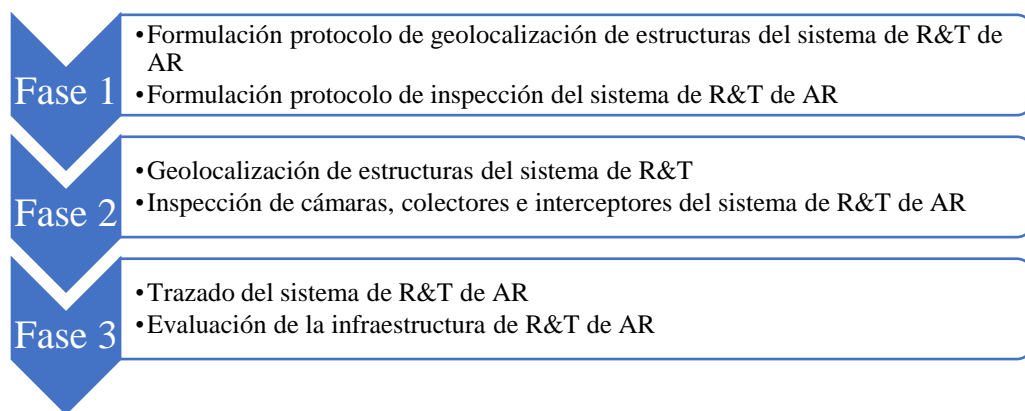
Figura 3

Ubicación de los asentamientos en estudio al noreste de Bucaramanga



Figura 4

Diagrama del proceso metodológico



3.2 Fase I: Formulación de protocolos

Para una adecuada recolección de datos sobre los sistemas de R&T de AR en los ANP, se formularon dos protocolos. El primer protocolo es de Geolocalización de los elementos del sistema de R&T de AR en cada ANP, utilizado para describir la ubicación de las estructuras que forman parte del sistema, al igual que las principales características geológicas y socioeconómicas del asentamiento. Por otra parte, el segundo protocolo corresponde a la inspección de cada una de las estructuras del sistema de R&T de AR ubicadas en los ANP en estudio.

3.2.1 Protocolo de geolocalización de los elementos del sistema de R&T de AR

Se elaboró un protocolo de geolocalización con la finalidad de obtener detalles de las características de los asentamientos, ubicar las estructuras que forman parte del sistema de R&T de los AR y localizar los puntos de vertimiento. Este protocolo toma como referencia al Protocolo de Monitoreo del Agua emitido por el IDEAM (IDEAM, 2018). De esta referencia, se siguieron las instrucciones para la toma de datos de los cuerpos de agua, estructuras hidráulicas, actividades económicas, y coordenadas de los emisores. Esto, con el fin de geolocalizar los puntos de vertimientos provenientes de los ANP estudiados en la investigación (Patiño, Dominguez, & Oviedo, 2023).

Como ayuda para el protocolo de geolocalización, se elaboró un mapa a partir de una ortofoto con resolución de 5906 x 4134 píxeles en ArcGis 10®, en el cual se incluyeron polígonos que representan las viviendas, calles, caminos y límites de los ANP objeto de estudio: Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo. Posteriormente, se exportó en formato PDF a la aplicación móvil Avenza Maps®, donde se geolocalizaron las estructuras del sistema de R&T de AR. Buscando una estructuración conveniente, el protocolo se divide en dos formatos. El primer formato corresponde al reconocimiento del sistema de recolección y transporte de aguas residuales, mientras que el segundo corresponde a la localización de puntos de vertimiento de AR (IDEAM, 2018).

3.2.2 Protocolos de inspección de componentes del sistema de R&T de AR

Se formularon tres protocolos de inspección: uno para cajas/cámaras de inspección, otro para sumideros, y otro para la evaluación de tuberías de AR conectadas a las cámaras de inspección. Estos protocolos se basan en el Operation and Maintenance Manual for Separate

Sanitary Sewer Systems del MWRD de Chicago, Estados Unidos, siguiendo las generalidades, herramientas, personal requerido y el procedimiento de inspección (Metcalf and Eddy Inc, 1989).

La revisión de este manual se realizó con el fin de establecer los pasos a realizar en el proceso de inspección. De igual forma, se seleccionaron las herramientas utilizadas para las etapas del procedimiento de inspección, indicando los implementos de seguridad requeridos para cada actividad. Finalmente, se seleccionaron las variables más relevantes para evaluar los atributos de las estructuras del sistema de R&T de AR, tomando en cuenta el registro de inspección establecido por la norma del MWRD (Metcalf and Eddy Inc, 1989). Todo esto, seleccionando los atributos que podrían encontrarse en el contexto de los ANP.

3.3 Fase II: Inspección del sistema de recolección y transporte de aguas residuales

El proceso de inspección se llevó a cabo en dos visitas a los asentamientos, haciendo uso de los protocolos desarrollados en la fase anterior. En la primera visita se realizó la geolocalización de las estructuras que conforman el sistema de R&T de AR, caracterizando el asentamiento donde se encontraban. Allí también se localizaron los puntos de vertimiento de los asentamientos, con los cuales se definieron los puntos de monitoreo de la calidad del agua. En la segunda visita se realizó la inspección de las estructuras previamente geolocalizadas, donde se implementó el protocolo de inspección de componentes del sistema de R&T de AR y se registraron los datos e indicadores necesarios para evaluar el sistema en la Fase III.

3.3.1 Geolocalización de estructuras del sistema de R&T de AR

El proceso de geolocalización de las estructuras que forman parte del sistema de R&T de AR en los asentamientos contó con el apoyo de tres líderes comunitarios que estuvieron direccionando el recorrido, indicando la ubicación de cámaras de inspección, colectores,

interceptores y emisores. En cada estructura del sistema se puso un pin con coordenadas, una breve descripción del elemento y una fotografía del exterior. La ubicación de puntos en el mapa permitió trazar una ruta para la inspección, buscando el recorrido más eficiente pasando por cada estructura del sistema de R&T de AR.

Para la ubicación de los vertimientos, se recorrió la fuente hídrica principal, río Suratá, en el sentido de la pendiente. Además de los vertimientos, se identificaron otros puntos críticos, tales como actividades productivas agropecuarias, lavaderos de carros, estaciones de gasolina, talleres, lavaderos de ropa. También se localizaron estructuras hidráulicas como canales, estructuras de aforo, entre otros, al igual que tributarios que no aparecían en el mapa inicial.

3.3.2 Inspección de cámaras, colectores e interceptores del sistema de R&T de AR

Se inspeccionó el sistema de R&T de AR en los tres asentamientos objeto de estudio, siguiendo el protocolo establecido en la Fase I. Para mitigar riesgos y salvaguardar la integridad del personal de inspección, se usaron elementos de protección personal: Gafas de seguridad, overol impermeable tipo escafandra, máscara de gases y guantes de carnaza. El procedimiento de inspección inició con la delimitación del área de trabajo, para evitar accidentes con el tránsito vehicular y los peatones. Enseguida, se ubicaron los materiales y equipos dentro del área delimitada, alistando el formato correspondiente y un bolígrafo para llenarlo. Se evidenció que no había escorrentía superficial, escombros ni otros materiales que pudiesen caer en la cámara y obstruirla.

Con ayuda de la pica y la pata de cabra se retiró la tapa cuidadosamente, dejando ventilar el acceso a cada cámara de inspección por alrededor de 10 minutos, evitando alta presencia de gases nocivos (sulfuro de hidrógeno) y combustibles (metano, dióxido de carbono) durante el

proceso de inspección. Se verificó la seguridad de la estructura previo al ingreso a la cámara de inspección, evitando accidentes por colapso de muros o peldaños.

Posteriormente, se iluminó el interior de la cámara, observando el estado de las superficies, juntas y elementos que conforman la cámara de inspección, tomando nota de los principales indicadores en el formato. Para finalizar, se limpió el anillo de acceso a la cámara de inspección, revisando la presencia de grietas y daños en la estructura y se colocó la tapa para culminar con la inspección. Los formatos se diligenciaron para cada cámara de inspección considerada accesible, al tiempo que se tomaron las medidas correspondientes a cada interceptor, colector primario y secundario conectado al sistema, indicando los valores del diámetro y dirección, con la finalidad de ubicar y trazar correctamente el sistema de tuberías en el mapa.

3.4 Fase III: Diagnóstico del sistema de R&T de AR en los ANP

La fase del diagnóstico del sistema comprendió la preparación de un mapa con el trazado de las estructuras más importantes del sistema de R&T de ANP y una evaluación de cada una de esas estructuras. En la evaluación, se compararon los valores de los indicadores inspeccionados con las recomendaciones de las normas recopiladas.

3.4.1 Trazado del sistema de R&T de AR

Se realizó un levantamiento cartográfico de las estructuras del sistema de R&T de AR encontradas en las inspecciones realizadas en los ANP durante la Fase II, empleando el software de ArcGis 10 ®. Para incluir elementos como cámaras de inspección, pozos sépticos, box culverts y vertimientos, se crearon capas en formato shapefile (.shp) y se representaron en forma de puntos, con diferentes leyendas para cada tipo. Para las viviendas, asentamientos y áreas de infiltración, las capas se crearon en forma de polígonos. Se emplearon líneas para el trazado de caminos, carreteras, ríos y quebradas, al igual que las tuberías (acometidas, colectores e interceptores). El

trazado de las tuberías se realizó siguiendo las direcciones anotadas, la conexión entre cámaras de inspección y la pendiente, la cual se estimó mediante el perfil de elevación de Google Earth Pro ®. El mapa se exportó a un formato PDF, el cual se imprimió y fue mostrado a los líderes de cada asentamiento en una reunión para la validación del trabajo realizado. Este proceso consistió en una serie de preguntas realizadas a los líderes, buscando verificar si el sistema de R&T de AR contaba con un diseño preliminar, existencia de planos del sistema, financiamiento del servicio, mano de obra utilizada para la construcción y mantenimiento de la infraestructura.

La exposición del mapa permitió comprobar la veracidad de la información plasmada en el trazado, asegurando que la ubicación de las estructuras fuese acertada, sin excluir ningún elemento de los sistemas de R&T de los ANP. Con ello, se pudo complementar la información recolectada en el proceso de inspección.

3.4.2 Evaluación de la Infraestructura de R&T de AR

Para los indicadores constructivos de las cámaras de inspección (Tabla 1) se consideraron las Normas Técnicas Colombianas, NTC 1393 y NTC 2802, recomendadas por el RAS para las tapas y para las cámaras de inspección fabricadas en ladrillo, respectivamente (ICONTEC, 1998) (ICONTEC, 1990).

Tabla 1

Valores permitidos para los indicadores constructivos de las cámaras de inspección

Indicador	Valor Permitido	Norma
Material	Ladrillo, Concreto	(Minvivienda, 2017)
∅ Anillo	≥ 60 cm	(ICONTEC, 1998)
∅ Interno	≥ 120 cm	(ICONTEC, 1990)

Altura interna	≥ 80 cm	(ICONTEC, 1990)
Profundidad	80 cm – 160 cm	(Minvivienda, 2017)
\varnothing Interceptor	$\geq 6''$	(Minvivienda, 2017)

En el caso de los indicadores funcionales, se tomaron en cuenta los criterios establecidos por el RAS, Austin Water y Coquitlam City Council (Austin Water, 2021). Austin Water indica que, ante la presencia de grietas mayores de $3/8''$, aplastamiento, deterioro por raíces, erosión o infiltraciones, la cámara de inspección deberá ser reemplazada (Minvivienda, 2017). Por otra parte, Coquitlam City Council establece una escala de condición del funcionamiento de cada cámara de inspección del 1-5, donde 1 es “Muy buena” y 5 es “deplorable”. Pequeñas infiltraciones en la tapa y el cono no representan un peligro; sin embargo, infiltraciones mayores en el resto de la cámara, banqueta/cañuela rota, colapso parcial, peldaños rotos y ausencia de la tapa requieren acción inmediata (Coquitlam City Council). La Tabla 2 indica el estado recomendado para cada indicador.

Tabla 2

Estado recomendado para los indicadores funcionales de las cámaras de inspección

Indicador	Estado recomendado	Norma
Estado de la cámara	Bueno	(Coquitlam City Council)
Tamaño de grietas	$\leq 3/8''$	(Austin Water, 2021)
Infiltraciones	Solo en la tapa y el cono	(Coquitlam City Council)
Raíces	Ninguna	(Austin Water, 2021)

Estancamiento	Nulo	(Austin Water, 2021), (Coquitlam City Council)
----------------------	------	--

Se organizaron los formatos de la inspección en una base de datos en Excel ®, dentro de la cual se seleccionaron los indicadores más importantes por medio de listas desplegadas para facilitar la comparación con las recomendaciones de las respectivas normas. Se elaboró un inventario de las estructuras encontradas durante la inspección, indicando las coordenadas de las estructuras, además de las dimensiones y pendiente en el caso de los interceptores. La comparación con la norma se realizó en dos hojas de cálculo. Una, para los indicadores constructivos, donde se seleccionaron como indicadores el diámetro del anillo, diámetro interno, altura y profundidad de la cámara de inspección. Se elaboró una tabla para las cámaras de inspección de cada asentamiento, llevando a cabo la comparación mediante la función “SI” de Excel ®.

La segunda hoja de cálculo incluyó los indicadores funcionales, donde se estableció un rango de valores permitidos de acuerdo con las recomendaciones de las normas citadas (Tabla 3). Se comparó el estado estructural, la presencia de escombros, grietas, evidencia de infiltración, estado de impermeabilización y estancamiento, definiendo los valores correspondientes al rango establecido (

Tabla 4).

Tabla 3

Características del rango establecido para los indicadores funcionales

Rango	Características
Bueno	El estado es óptimo, la estructura es funcional

Regular Estado regular, que puede ser corregido mediante mantenimiento

Malo Estado deficiente, la estructura debe ser reemplazada a corto plazo

Tabla 4

Valor para indicadores funcionales de las cámaras de inspección

Indicador	Bueno	Regular	Malo
Escombros	Ninguno	Poco	Alto
Grietas	Ninguno	Solera	Cañuela
Infiltración	Ninguna	Manchas	Goteo
Estado de impermeabilización	Bueno	Regular	Malo
Estancamiento	Nulo	Medio	Alto

4. Resultados

4.1 Fase I: Formulación de protocolos

Se formularon los protocolos de Geolocalización e Inspección con sus formatos correspondientes. Los protocolos se exportaron a un archivo de Word ® y se imprimieron los formatos para facilitar su diligenciamiento durante las visitas a los asentamientos.

4.1.1 Protocolo de geolocalización de los elementos del sistema de R&T de AR

Se obtuvo el protocolo propuesto en la metodología. El primer formato está destinado a la Geolocalización de los elementos del sistema de R&T de AR. En este formato se diligencian las principales características del asentamiento, tales como su ubicación, vías de acceso, topografía, riesgos geológicos, tipo de sistema de alcantarillado, el material de las viviendas, y si el

asentamiento dispone de uno o más puntos de vertimiento. Paralelamente, como ayuda para este formato, se obtuvo el mapa en el cual se ubicaron las estructuras del sistema de R&T de AR: cámaras, sumideros, tuberías, canales y emisores.

En el segundo formato se anotan las características de los vertimientos encontrados durante el recorrido por el río, señalando si el origen de las aguas residuales es doméstico o industrial. El protocolo detallado puede ser consultado en el Apéndice B.

4.1.2 Protocolos de inspección del sistema de R&T de AR

Se elaboraron los tres protocolos propuestos, es decir, uno para cada tipo de estructura: cámaras de inspección, sumideros y tuberías. El protocolo de evaluación de cámaras de inspección contiene siete páginas en total, con cuatro de ellas conformadas por los formatos. Estos tres protocolos están estructurados de la misma manera, comenzando con un párrafo introductorio donde se define la estructura, las posibles causas de su deterioro, y recomendaciones para el mantenimiento de las estructuras. Luego, se indica la cantidad de individuos para la inspección de las estructuras, tomando en cuenta capacidades y habilidades necesarias para el proceso de evaluación de las estructuras. Posteriormente, se indican los materiales y equipos requeridos para el desarrollo de la inspección.

Finalmente, se encuentran los formatos de evaluación, que se diligenciaron durante el proceso de inspección. El formato para tuberías comprende dos tablas. En la primera, se diligenciaron las características generales de la tubería, indicando el tipo, material, obstrucciones, juntas, y el tipo de daños o fallas en la tubería. La segunda tabla se usó para anotar dirección y flujo de las tuberías, indicando las cámaras de inspección que se encuentran conectadas por la tubería evaluada. Los formatos para cámaras de inspección, al igual que los formatos para sumideros, comprenden cuatro partes. La parte inicial corresponde a la inspección externa, donde

se detallan las características de los alrededores de la estructura, señalando características del material con el que fue construida, el tipo de estructura, si ha estado expuesta a lluvias o sobrecarga, y la distancia al paramento más cercano. La segunda parte corresponde a la inspección estructural, la cual se realiza una vez retirada la tapa de la cámara o la rejilla del sumidero, según corresponda. Allí, se anotan detalles de la funcionalidad y estado interno de la estructura.

En la tercera parte se indican detalles constructivos, específicamente, dimensiones, materiales, pendiente y las características del interceptor conectado a las estructuras. La cuarta parte indica si la estructura presenta obstrucciones, sedimentos, escombros, raíces, o cualquier elemento que pueda estar afectando el flujo dentro de la estructura. Los criterios escogidos para los formatos fueron seleccionados de acuerdo con su relevancia, de las normas investigadas para la evaluación, como se aprecia en el Apéndice C. Los protocolos detallados pueden ser consultados en el Apéndice D (Patiño, Dominguez, & Oviedo, 2023).

4.2 Fase II: Inspección del sistema de recolección y transporte de aguas residuales

Se realizaron los dos recorridos propuestos. En el primero, se ubicaron las estructuras del sistema de R&T de AR para ser inspeccionadas en el segundo recorrido. Cada visita a los asentamientos se realizó con el apoyo de los protocolos elaborados en la Fase I con sus respectivos formatos.

4.2.1 Geolocalización de estructuras del sistema de R&T de AR

Se localizaron 85 puntos relacionados con el sistema de R&T de AR entre cajas domiciliarias, cámaras de inspección, tuberías visibles, box culverts, vertimientos y pozos sépticos. Se ubicaron 4 cajas domiciliarias y 3 box culverts, todos pertenecientes al ANP Santos Bajo. Asimismo, se encontraron 18 cámaras de inspección, distribuidas como lo indica la Figura 5.

Finalmente, se localizaron 17 puntos de vertimiento en los tres asentamientos, los cuales son dispuestos en el suelo, quebradas y ríos, conforme a lo señalado en la Figura 6.

Figura 5

Cámaras de inspección localizadas

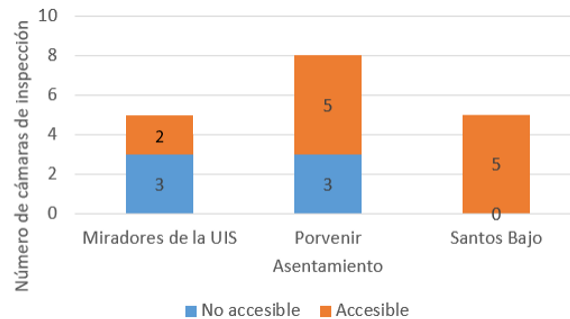
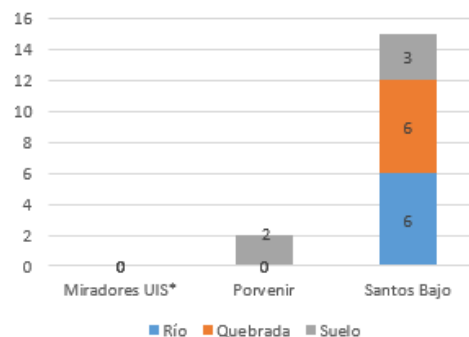


Figura 6

Localización de los vertimientos



Por otra parte, un ANP aledaño a la zona de estudio, denominado Los Cuadros, presentaba una menor densidad de viviendas, lo que hizo factible la elaboración de pozos sépticos, encontrando 10 de ellos. Sin embargo, algunas viviendas de este mismo ANP disponían sus aguas residuales en un canal a cielo abierto, desembocando en la quebrada Chitota. El mapa obtenido en el proceso de Geolocalización, junto con los puntos y estructuras ubicadas, se encuentra en el Apéndice E.

4.2.2 Trazado del sistema de R&T de AR

Se elaboró el mapa del sistema de R&T de AR en la zona de estudio. En los ANP Miradores de la UIS, Porvenir y Santos Bajo se ubicaron las cámaras de inspección, cajas, box culverts y vertimientos, los cuales se unieron mediante polilíneas que representan los interceptores, colectores y acometidas. También se ubicaron los pozos sépticos y el canal del ANP Los Cuadros, aledaño a la zona de estudio.

El mapa impreso se presentó a los líderes de los cuatro ANP, quienes verificaron la exactitud de la información plasmada en el mapa. De acuerdo con la participación de los líderes comunitarios, no se presentaron inconsistencias en el mapa. Asimismo, los líderes indicaron que el sistema no ha presentado colapsos ni fallas hasta el momento. Sin embargo, la observación del líder de Santos Bajo añadió que existe una cámara de inspección de elaboración reciente, la cual fue visitada y ubicada en el mapa.

4.2.3 Inspección de cámaras, colectores e interceptores del sistema de R&T de AR

En la segunda visita a los ANP se utilizaron los protocolos de inspección formulados, exceptuando el protocolo de inspección de sumideros, pues no se encontró esta estructura en ninguno de los ANP. Se realizó el recorrido por cada cámara de inspección geolocalizada. Sin embargo, de las dieciocho cámaras de inspección, seis de ellas fueron consideradas inaccesibles, debido a que la tapa se encontraba sellada por concreto o pavimento. Las cámaras se nombraron de acuerdo con la nomenclatura propuesta en la Tabla 5.

Tabla 5

Cámaras de Inspección ubicadas

Cámaras Accesibles CM2, CM4, CP7, CP8, CP9, CP10, CP12, CS14, CS15, CS16, CS17,
CS18

Cámaras CM1, CM3, CM5, CP6, CP11, CP13

Inaccesibles

Se realizó el proceso de inspección en las cámaras accesibles, evaluando las características y estado de las cámaras de inspección, al igual que las tuberías que se pueden apreciar dentro de la estructura. Se diligenciaron 12 formatos en total, es decir, uno para cada cámara de inspección considerada accesible.

4.3 Fase II: Diagnóstico del sistema de recolección y transporte de aguas residuales

Con los datos recolectados en las Fases I y II, se elaboró un diagnóstico de la infraestructura de recolección y transporte de aguas residuales de los asentamientos en estudio. A partir de los formatos digitalizados, se compararon los valores recolectados con los parámetros establecidos en las normas.

4.3.1 Evaluación de la infraestructura de R&T de AR

Se elaboraron fichas técnicas para cada cámara inspeccionada a partir de la digitalización de los protocolos (Apéndice F). La inspección externa de las estructuras evidenció que todas las cámaras contaban con tapa fabricada en concreto con ajuste regular al anillo de la cámara, a pesar de no estar impermeabilizadas, permitiendo en menor medida la entrada de aguas lluvias, situación que se podía agravar en cuatro cámaras propensas a estancamiento (CP9, CP10, CP12, CS17). En la inspección estructural se encontró que las cámaras de los ANP Miradores de la UIS y Porvenir estaban fabricadas en ladrillos y concreto, a diferencia de Santos Bajo, cuyas cámaras eran de hormigón armado. Ninguna de las cámaras de inspección tenía peldaños de acero para su acceso.

La pendiente de la banqueta era inclinada en las estructuras de Miradores de la UIS y Porvenir, en contraste con Santos Bajo, donde la banqueta era plana en todas las cajas y no garantizaba las condiciones de autolimpieza recomendadas por el RAS. La forma de la cañuela era inadecuada en todas las cámaras de inspección, al no presentar la curvatura recomendada.

La forma de las cámaras de Santos Bajo era rectangular, forma inadecuada para cámaras de inspección, a diferencia de Miradores UIS y Porvenir, donde las cámaras de inspección presentaban forma cilíndrica con un cono truncado en la parte superior. Dos de las cámaras de inspección presentaron intrusión de raíces, señal de posibles infiltraciones, siendo el caso más crítico el de la cámara CP9. Todas las cámaras de inspección eran de tipo convencional, incluyendo las cámaras CP10, CP12 y CS17, las cuales presentaban estancamiento de AR. La NTC 2802 recomienda que para este tipo de casos la cámara de inspección sea elaborada con cámara de caída.

Con respecto a las tuberías, un 25% del tramo de los colectores presentaba un diámetro menor al recomendado por la norma para el alcantarillado sanitario (6"). La distribución de diámetros de colectores está representada en la Figura 7. Los valores recolectados para los indicadores constructivos se compararon con la norma, como se evidencia en la Tabla 6, obteniendo las proporciones mostradas en las Figuras 7-11. De igual forma, la evaluación de los indicadores funcionales de las cámaras de inspección arroja los resultados evidenciados en la Tabla 7, cuya proporción se observa en las Figuras 12-17.

Tabla 6

Cumplimiento de indicadores constructivos en las cámaras de inspección

INDICADOR	ASENTAMIENTO			
	Miradores UIS		Porvenir	
	Cumple	No	Cumple	No

Diámetro anillo	2	0	5	0
Altura interna	1	1	4	1
Diámetro interno	1	1	3	2
Profundidad	1	1	5	0

Nota. El ANP Santos Bajo no cumplió con ningún indicador constructivo.

Tabla 7

Estado de los indicadores funcionales de las cámaras de inspección

Indicador	Asentamiento								
	Miradores UIS			Porvenir			Santos Bajo		
	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo
Estado estructural	2	0	0	3	2	0	5	0	0
Escombros	2	0	0	4	1	0	1	4	0
Grietas	1	0	1	2	2	1	3	2	0
Infiltraciones	0	1	1	1	2	2	1	4	0
Impermeabilización	1	1	0	0	5	0	4	1	0
Estancamiento	2	0	0	0	3	2	4	0	1

Figura 7

Distribución de los diámetros por colectores

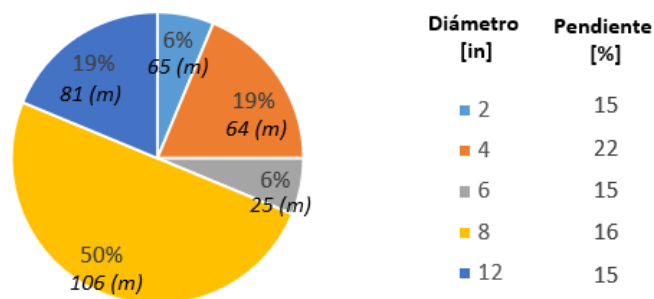


Figura 8

Diámetro del anillo de la cámara

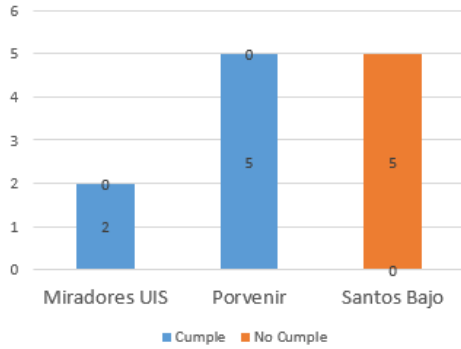


Figura 11

Profundidad de la cámara

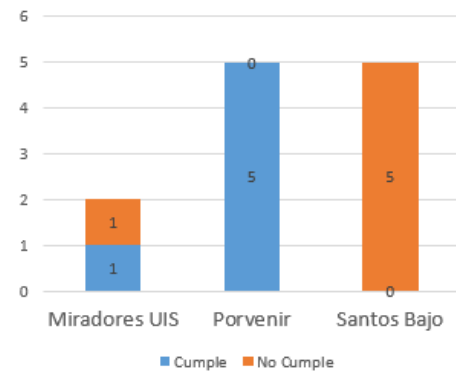


Figura 9

Altura interna de la cámara

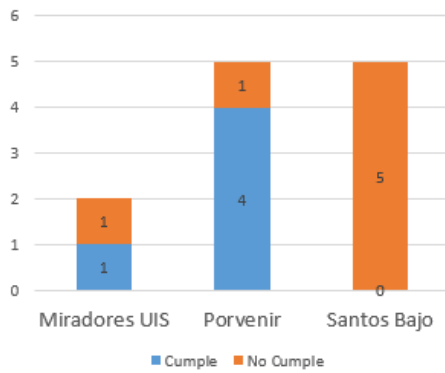


Figura 12

Estado estructural de la cámara

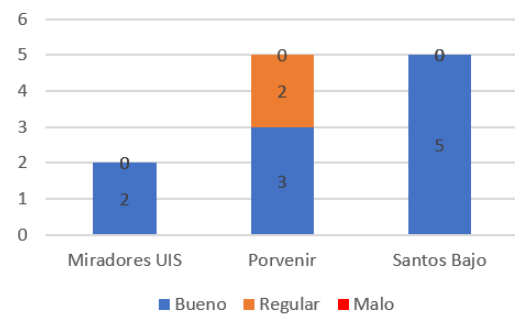


Figura 10

Diámetro interno de la cámara

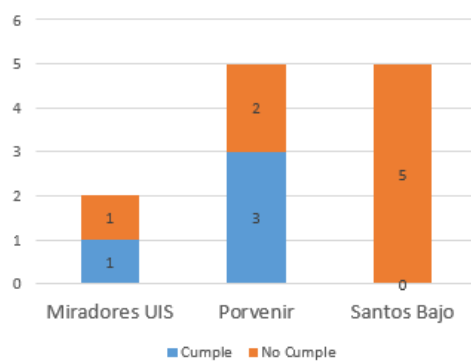


Figura 13

Presencia de escombros

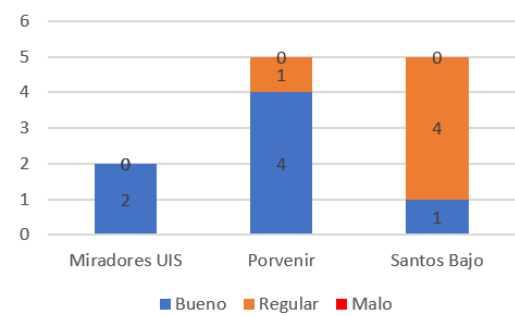


Figura 14

Evidencia de grietas

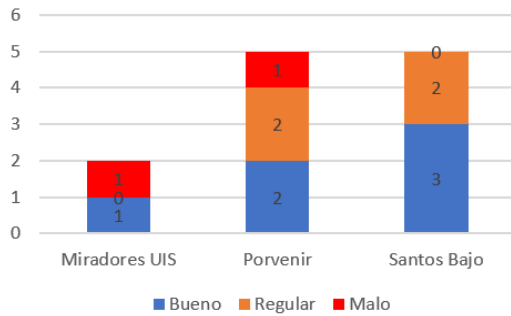


Figura 16

Estado de impermeabilización

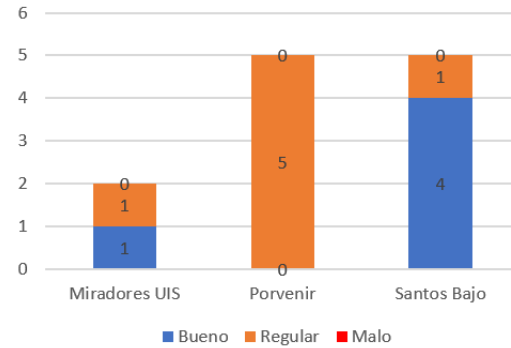


Figura 15

Evidencia de infiltraciones

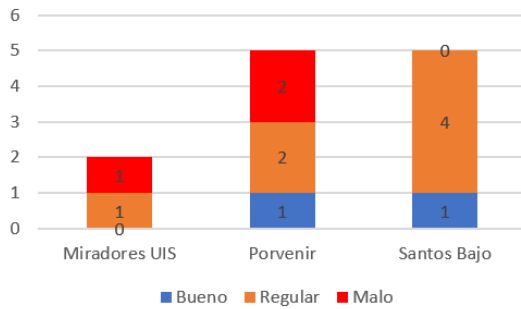
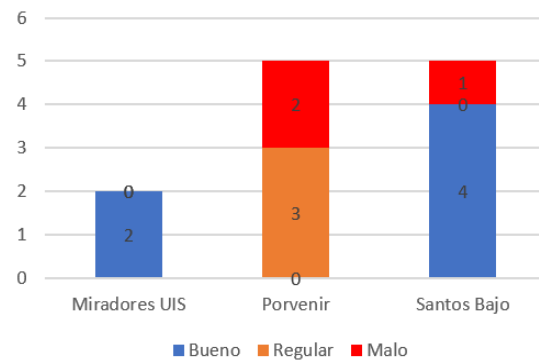


Figura 17

Estancamiento



La revisión de literatura permitió obtener información de otros estudios sobre la gestión de AR en ANP, encontrando distintas metodologías para llevar a cabo un diagnóstico de los sistemas de R&T de AR. Si bien, la problemática existente en los ANP estudiados en la literatura es similar a la problemática de los ANP estudiados en esta investigación (AR dispuestas directamente en fuentes hídricas, infraestructura en riesgo de colapso), la aplicación de los protocolos realizados en este estudio permitió obtener mayores detalles sobre indicadores de la infraestructura del sistema, resultando en un diagnóstico más exhaustivo y detallado.

Este nivel de detalle se debe a que los protocolos empleados en este trabajo investigativo han sido amoldados a las características propias de los ANP, tomando en cuenta el tipo de viviendas, características socioeconómicas, estructuras hidráulicas y situaciones geográficas típicas de estas localidades. De igual forma, los protocolos elaborados en esta investigación presentan una abundante lista de indicadores, que contemplan el estado de la estructura a nivel externo e interno, garantizando una recolección total de los datos que puede aportar cada elemento estructural que hace parte del sistema de R&T de AR.

La evaluación detallada de los resultados constatados en las gráficas permitió obtener el diagnóstico de la infraestructura del sistema de R&T de AR. Comenzando por los indicadores constructivos, se puede evidenciar que en el ANP Santos Bajo hubo nulo cumplimiento con las normas. Las dimensiones de las cámaras son insuficientes, como consecuencia de la forma rectangular con la cual fueron construidas, asemejándose más a cámaras domiciliarias que cámaras de inspección. La profundidad es muy pequeña en todos los casos, dejando a las cámaras expuestas a daños externos producto del tránsito, lluvias y erosión.

Tanto Miradores de la UIS como Porvenir cuentan con un diámetro adecuado para el anillo externo, permitiendo una sujeción funcional para la tapa. Sin embargo, el diámetro interno es insuficiente para un 43% de las cámaras de inspección de ambos asentamientos, destacando que comparten red principal. Esto dificulta el acceso para la limpieza y mantenimiento de la estructura, sumado a la ausencia de peldaños.

Con respecto a los indicadores funcionales, se obtuvo una impresión mayormente positiva al observar el estado estructural de las cámaras de inspección, donde 83% de las estructuras se encontraban en buen estado. Sin embargo, al realizar una observación más exhaustiva de los demás indicadores, se evidenciaron escombros, especialmente en Santos Bajo, ANP donde un 80% de las

cámaras contaban con una presencia regular de fragmentos de ladrillos y agregado, producto de la erosión causada por la velocidad con la que bajan las AR en ese tramo.

La evidencia de grietas fue grave en dos cámaras de inspección, ubicadas en Miradores de la UIS y Porvenir, respectivamente, presentando infiltraciones, tal como se esperaba. Existe una cámara adicional en Porvenir que presenta infiltraciones, las cuales pueden estar asociadas al nivel freático de la zona, condiciones sísmicas, a juntas deficientes o a un pésimo estado de impermeabilización, tal como se observa en todas las cámaras de inspección del ANP Porvenir. Consecuencia de la mala impermeabilización, la ubicación en la parte baja de la escarpa y la reducción de los diámetros de las tuberías en los tramos finales de la red de Porvenir, se presenta un nivel de estancamiento bastante alto. La colmatación pone en riesgo de colapso a las estructuras, cuyas AR bajan a flujo lleno.

Con el análisis mencionado, se pueden ubicar tres puntos críticos, plasmados en el mapa del sistema de R&T de AR en los ANP, evidenciado en la Figura 18. El primero, en la cámara CP9 (1), que presenta una amplia intrusión de raíces, que han causado grietas en la estructura, permitiendo la infiltración del agua proveniente del subsuelo. En la cámara CP12 (2) el AR baja a presión, consecuencia de la reducción del diámetro de la tubería y la pendiente, por lo que está propensa a una erosión constante, un posible agrietamiento y un posterior colapso. Finalmente, la cámara CS17 (3) recibe más tuberías de lo recomendado, su estructura es rectangular y presenta estancamiento. Su riesgo de colapso afecta a varias viviendas aledañas. La pendiente de los ANP de la escarpa se puede apreciar en la Figura 19.

Figura 18

Mapa del sistema de R&T de AR con puntos críticos

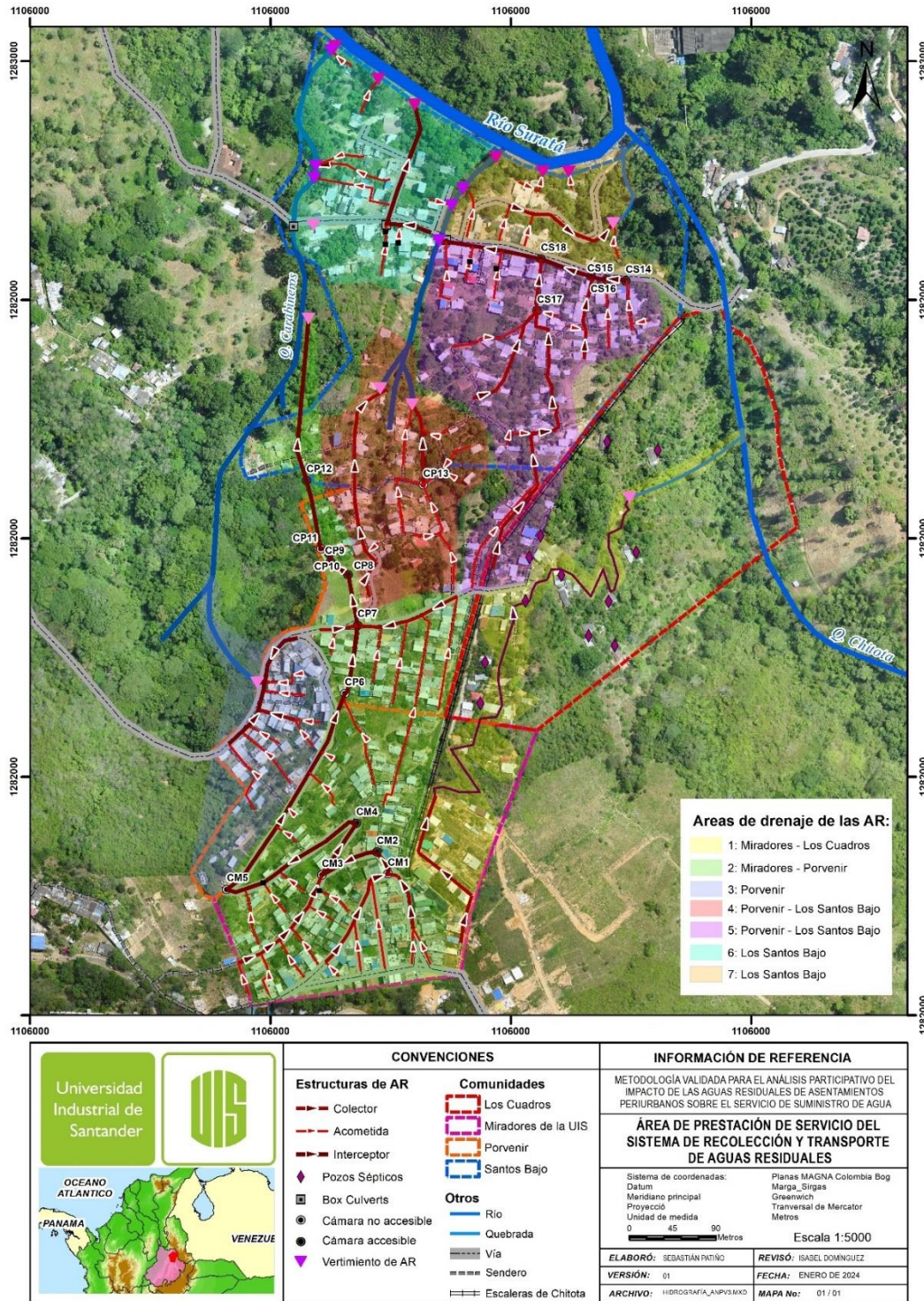
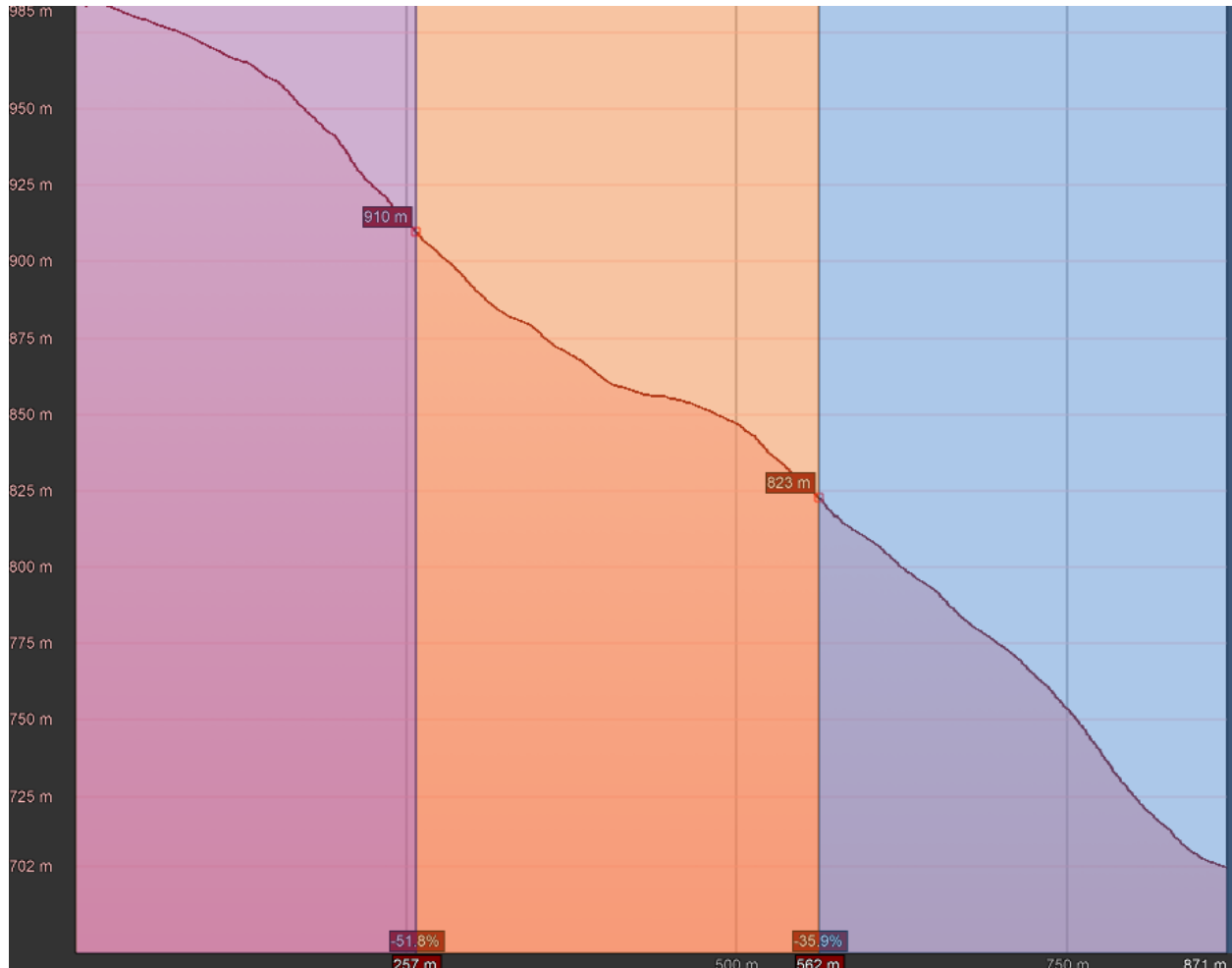


Figura 19*Perfil de elevación de los ANP*

Nota. Miradores de la UIS (morado), El Porvenir (naranja), Santos Bajo (azul)

5. Conclusiones

Se inspeccionó el sistema de R&T de AR en los tres ANP, encontrando una infraestructura rudimentaria, que ha sido adaptada a las condiciones de los asentamientos, teniendo en cuenta que se tratan de los linderos de la escarpa de la meseta de Bucaramanga, zona caracterizada por una pendiente marcada y rodeada de arroyos naturales. Los protocolos de geolocalización e inspección fueron adecuados para el trabajo de campo, permitiendo recolectar los datos de los asentamientos,

las características geográficas y socioeconómicas, al igual que los indicadores más relevantes para un diagnóstico integral del sistema.

Se evaluaron los indicadores constructivos y funcionales de la infraestructura, estableciendo un rango de valores que condensan las recomendaciones de la normativa nacional y otros estándares internacionales. Esto permite integrar distintos criterios para adaptarlos en el contexto de los ANP, elaborando un sistema de evaluación apropiado para las estructuras que forman parte de los sistemas de R&T de AR en los ANP.

Se preparó un mapa que resultó ser de gran ayuda para las comunidades de los ANP, pues se tiene una referencia precisa y actualizada de la ubicación de las estructuras del sistema de R&T de AR, al igual que viviendas, caminos, y otras estructuras que forman parte de los asentamientos. Con ello, en caso de que se requiera hacer mantenimiento, modificaciones, alteraciones y demás proyectos futuros al sistema, el trazado contribuye de forma minuciosa a la localización de los elementos que lo conforman.

Se diagnosticó el sistema de R&T de AR, concluyendo que, a pesar de la capacidad de autogestión que poseen las comunidades que forman parte de los ANP, quienes desarrollaron un sistema funcional, este carece del cumplimiento con la normativa. Un 25% de los diámetros de tubería presentaban valores por debajo de lo recomendado y un 43% de las cámaras de inspección contaban con un diámetro interno inferior al requerido. Consecuentemente, se presenta un deterioro que es crítico en algunos tramos, generando riesgo de colapso. El desarrollo de este diagnóstico, al igual que los protocolos de geolocalización e inspección, y el levantamiento cartográfico de la infraestructura, afianzan un precedente para el estudio de los sistemas de R&T de AR en demás localidades con características similares a la zona de investigación.

6. Limitaciones y recomendaciones

A pesar de que el diseño actual del sistema de R&T de AR en los ANP ha funcionado como medida transitoria, las dimensiones con la que están construidas algunas tuberías y cámaras de inspección se quedan cortas ante el crecimiento poblacional. Este factor obliga a la concepción de un sistema de mayor capacidad, contemplando un periodo de diseño que garantice la longevidad de la estructura, reduciendo la frecuencia con la cual se realiza una inversión considerable en el aumento de la capacidad del sistema. Consecuentemente, se recomienda la realización de estudios que propongan diseños de sistemas de recolección, transporte y tratamiento de las AR en los ANP.

Para futuras inspecciones en los sistemas de R&T de AR en los ANP, se recomienda contemplar el uso de dispositivos electrónicos que permitan determinar la pendiente. En la presente investigación se pudo determinar con ayuda del perfil de elevación de Google Earth Pro ®. Sin embargo, esta herramienta cuenta con una menor precisión que dispositivos como el clinómetro o tecnologías más novedosas. Finalmente, se recomienda la realización de estudios que contemplen una evaluación hidráulica de los sistemas de R&T de AR en los ANP, tomando la presente investigación como punto de partida. La realización de investigaciones en ANP facilita una visión más inclusiva del territorio, permitiendo a las poblaciones marginalizadas acceder a recursos que mejoren su sistema y garantizando el acceso de las comunidades a servicios públicos.

Referencias

- Austin Water. (2021). *Manhole inspections*. Austin: City of Austin. Retrieved from [https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Water/Pipeline_Operations/Pipeline_Engineering/NEW_UPDATE - Austin Water Manhole Inspections Report 20190423.pdf](https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Water/Pipeline_Operations/Pipeline_Engineering/NEW_UPDATE_-_Austin_Water_Manhole_Inspections_Report_20190423.pdf)
- Banco Mundial. (2013). Un 70% de las aguas residuales de latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. Retrieved from <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Coquitlam City Council. (2023). *Manhole visual inspection criteria*. Coquitlam: Retrieved from <https://www.coquitlam.ca/DocumentCenter/View/4549/21-052---Appendix-E?bidId=>
- Ducoling, E., Silva, B., & Monroy, O. (2012). *Asentamientos humanos irregulares*. Ciudad de México: Retrieved from <https://web.archive.org/web/20131212132823/http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4099/1/ASENTAMIENTOSIRREG.pdf>
- EMPAS. (2021). *Manual para el cálculo de alcantarillado*. Retrieved from <https://www.empas.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/maed-03-01-manual-para-el-calculo-de-alcantarillados.pdf>
- EPA. (2000). Wastewater technology fact sheet: Pipe construction and materials. *United States Environmental Protection Agency*, 832-F-00-068 Retrieved from https://www3.epa.gov/npdes/pubs/pipe_construction.pdf

- EPM. (2021). *Norma de construcción de cámaras de inspección vaciadas en sitio*. Retrieved from https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/documentos/NC_AS_IL02_05_Camaras_de_inspeccion_vaciadas_en_sitio.pdf?ver=rJFE8jXo-TVk45fIcwMG_Q%3D%3D
- Flores Lucero, M., de Lourdes. (2014). Technical and management alternatives for sanitation in settlements: The case of san juan tulcingo, puebla. *Nova Scientia*, 5(10), 151-169. doi:10.21640/ns.v5i10.150
- Hydraulic Institute. (2021). What is the definition of wastewater? Retrieved from <https://www.pumpsandsystems.com/what-definition-wastewater>
- ICONTEC. (1990). *NTC 2802. cámaras de inspección para alcantarillados, construidas en mampostería de ladrillo tolete recocido*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (1998). *NTC 1393. tapas para pozos de inspección* (Segunda Actualización ed.). Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- IDEAM. (2018). *Protocolo de monitoreo del agua*. Bogotá: IDEAM.
- Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Niwagaba, C. B., Foppen, J. W. A., Kansime, F., & Lens, P. N. L. (2012). Sustainable sanitation technology options for urban slums. *Biotechnology Advances*, 30(5), 964-978. doi:10.1016/j.biotechadv.2012.02.007

Metcalf and Eddy Inc. (1989). *Separate sanitary sewer collection system operation and maintenance manual for local agencies tributary to the metropolitan sanitary district of greater chicago*. Chicago, USA: Metcalf and Eddy, Inc. Retrieved from <https://mwrđ.org/operation-and-maintenance-manual-separate-sanitary-sewer-systems-mwrđ-1989>

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico - RAS, Resolución U.S.C. (2017). Retrieved from <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>

ONU Habitat. (Mayo 29, 2015). Asentamientos informales. Paper presented at the *Conferencia De Las Naciones Unidas Sobre La Vivienda Y El Desarrollo Urbano Sostenible*, 1. Retrieved from https://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-22_ASENTAMIENTOS-INFORMALES-SP.pdf

Organizacion Mundial de la Salud. (2022). Agua para consumo humano. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Parkinson, J., Tayler, K., & Mark, O. (2007). Planning and design of urban drainage systems in informal settlements in developing countries. *Urban Water Journal*, 4(3), 137-149. doi:10.1080/15730620701464224

Patiño, S., Dominguez, I., & Oviedo, R. (2023). Modelo conceptual para el análisis participativo del impacto de las aguas residuales de los asentamientos periurbanos no planificados sobre el servicio hidrológico de suministro de las cuencas receptoras.

Pineda, J. (2021). Inició gestión para legalizar cinco asentamientos en bucaramanga durante 2021. Retrieved from <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/inicio-gestion-para-legalizar-cinco-asentamientos-en-bucaramanga-durante-2021-XL3397404>

Rocha García, R. E., Jaramillo González, E. S., 1950-, Tovar Mora, J. A., García Orbezo, L.,|d1956-, Salazar, L., & Saboyá, O. (2006). *Informalidad de la vivienda y el suelo en bucaramanga y cartagena* Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1992/8032>

Rojas Vaca, J., & Sastoque, J. (2018). Protocolo para la identificación de las condiciones de saneamiento básico en los asentamientos informales: Colina ciudad bolívar y fortuna usme. *Ingeniería Civil*, Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/344

Rueda Morales, M., & Zambrano, D. A. (2018). Analysis of the sanitation management in the informal settlement bajo los anonos, san josé, costa rica, from a social, technical and institutional perspective. *Población Y Salud En Mesoamérica*, 1(1)
doi:10.15517/psm.v1i1.32031

Sane, B. (2017). Gestion des eaux usées domestiques et pluviales dans le quartier de santhiaba-ouest (commune de ziguinchor) : Incidences sanitaires et environnementales. *UFR Des*

Sciences Et Technologies (ST), Retrieved from

<https://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/1252>

Tilley, E., Williams, C., Parkinson, J., Zurbrügg, C., Lüthi, C., Schertenleib, R., & Reymond, P. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Dübendorf, Suiza: Eawag.

Retrieved from

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnolog%C3%ADas%20de%20saneamiento.pdf

Cámaras de inspección y empalmes a cámaras existentes, Especificación Técnica U.S.C. (2019).

Retrieved from

<http://acuacarapps.com:8095/AcuacomprasRepositorio/Concurso/2456/ESP2044Camarasdeinspeccionyempalmesacamarasexistentes.pdf>

Zambrano, O., & Macias, A. (2020). El proceso socio-histórico de degradación urbana en la ciudad de Bucaramanga-Santander (Colombia). La desigualdad urbana y sus consecuencias sociales. *Revista Nuevo Humanismo*, 8(2) doi:10.15359/rnh.8-2.1

Zarza, L. (2019). ¿Qué son las aguas residuales? Retrieved from

<https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>