

**CREACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA - SEDE
CAMPUS CAJICÁ**

LAURA CATALINA SAAVEDRA RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CAJICÁ, JULIO, 2020**

**CREACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA - SEDE
CAMPUS CAJICÁ**

Propuesta de grado presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director: Ing. RICARDO VARGAS LAVERDE

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CAJICÁ, AGOSTO, 2020**

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

BRIGADIER GENERAL (R.A) LUIS FERNANDO PUENTES TORRES

Rector

CORONEL (RA) GUSTAVO ENRIQUE BECERRA PACHECO

Vicerrector General Campus

ING. YANNETH MÉNDEZ MARTÍN

Director académico Campus

CORONEL JULIO ERNESTO CANIZALES PADILLA

Director administrativo Campus

ING. HEBERT GONZALO RIVERA, PH.D.

Decano Facultad de Ingeniería Campus

ING. ANDRÉS NIETO LEAL, PH.D.

Director programa Ingeniería Civil Campus

APROBACIÓN

La propuesta de trabajo de grado titulada **“CREACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA - SEDE CAMPUS CAJICÁ”**, presentada por la estudiante Laura Catalina Saavedra Rodríguez en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el director.

Ing. RICARDO VARGAS LAVERDE

Director

Jurado 1

Jurado 2

Cajicá, agosto de 2020

Advertencia

La universidad Militar Nueva Granada no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados por los autores en sus respectivos trabajos de grado; solo vela porque no se publique nada contrario al dogma ni a la moralidad católica y porque el trabajo no contenga ataques personales y únicamente se vea en él el anhelo de buscar la verdad científica.

AGRADECIMIENTOS

Expreso gratitud por el tiempo que pude estar en la Universidad Militar Nueva Granada y a las personas que estuvieron durante el proceso de mi carrera, extendiendo mi agradecimiento a las personas que voy a nombrar:

En primer lugar, a mis padres por su apoyo, entrega y ayuda para que cumpliera mi sueño de ser Ingeniera, a ellos gracias por ser los principales motores de mi vida ya que siempre estuvieron conmigo para hacer este sueño realidad.

Al director de este trabajo, el Ingeniero Ricardo Vargas Laverde por su ayuda, orientación y disposición para apoyarme en este proceso de mi opción de grado.

A la Arquitecta Sofía Cárdenas, colaboradora de la oficina de Proyecto Campus, por su ayuda y por ser facilitadora de documentos y archivos necesarios para el desarrollo de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
1.4 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE	13
1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES	14
1.6 OBJETIVOS	14
1.6.1 Objetivo general	14
1.6.2 Objetivos específicos.....	15
2. MARCO DE REFERENCIA	15
2.1 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	15
2.1.1 Redes de alcantarillado, operación y mantenimiento.	15
2.1.2 Sistemas de Información Geográfica – SIG	17
2.1.3 SIG aplicados a redes de alcantarillado.....	19
2.2 MARCO NORMATIVO	20
2.1.1 Título D RAS 2016.....	20
2.1.2 Resolución 0330 de 2017	20
3. METODOLOGÍA	20
4. RESULTADOS	22
4.1 Verificación y recolección de la información.....	22
4.2 Diagnóstico general.....	29
4.3 Manejo de la información y creación del SIG.	29
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS	42
ANEXOS	43

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Esquema SIG Fuente: (Fazal, 2008)	19
Ilustración 2. Metodología usada para el desarrollo del trabajo. Elaboración Propia.....	21
Ilustración 3. Plano récord de las redes de aguas residuales.....	23
Ilustración 4. Plano récord de las redes de aguas lluvias.....	23
Ilustración 5. Formato de anotaciones de campo de inspección de pozos.	24
Ilustración 6. Pozo 40.	24
Ilustración 7. Pozo 51	24
Ilustración 8. Pozo 42A.....	25
Ilustración 9. Caja Restaurante Quizz.....	25
Ilustración 10. Sellamiento Tubos	25
Ilustración 11. Grasa en bloques tubería restaurante.	25
Ilustración 12. Caja con grasa.....	26
Ilustración 13. Estado cajas del restaurante.	26
Ilustración 14. Pozo 32C.	26
Ilustración 15. Pozo 32B.	27
Ilustración 16. Pozo P54.	27
Ilustración 17. Pozo 16.	27
Ilustración 18. Plano actualizado de las redes de aguas residuales.....	28
Ilustración 19. Plano actualizado de cruces de las redes de alcantarillado.	28
Ilustración 20. Mapa base UMNG Sede Cajicá. Escala 1:5000.	31
Ilustración 21. Ubicación pozos de inspección verificados y modificados. Escala 1:10000.	32
Ilustración 22. Ubicación de pozos, tramos y dirección del agua. Escala 1:5000.	33
Ilustración 23. Estado de tapas. Escala 1:5000.	34
Ilustración 24. Fecha de inspección y limpieza del pozo. Escala 1:10000.....	35
Ilustración 25. Notas y etiqueta de color correspondiente a las observaciones. Escala 1:10000.	36
Ilustración 26. Objetos encontrados en los pozos, color y etiqueta del objeto correspondiente. Escala 1:5000.....	37
Ilustración 27. A. Lluvia, etiqueta y color. Escala 1:10000.	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen atributos Sistema Información Geográfico.....	30
Tabla 2. Atributos complementarios propuestos pozos Sistema Información Geográfico	40
Tabla 3. Atributos propuestos tramos Sistema Información Geográfico.....	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Planos récord existentes.

- 1.1. Plano récord de las redes de aguas residuales.
- 1.2. Plano récord de las redes de aguas lluvias.

Anexo 2. Formato de anotaciones de campo de inspección de pozos.

Anexo 3. Planos actualizados de las redes de alcantarillado.

- 3.1. Plano actualizado de las redes de aguas residuales.
- 3.2. Plano actualizado de cruces de redes de alcantarillado.

Anexo 4. SIG Redes de alcantarillado residual de la UMNG Sede Campus Cajicá

- 4.1. Archivos SIG.
- 4.2. Manual de construcción y mantenimiento del SIG.

RESUMEN

En el desarrollo de trabajo se recopila información para llegar al diseño de un Sistema de Información Geográfica – SIG en el cual se hace énfasis en la base cartográfica, temática y atributiva de dicho sistema de la red de alcantarillado de aguas residuales de la UMNG Sede Cajicá, por medio de la validación de los planos récord existentes, y la verificación y limpieza detallada en campo de cada pozo de inspección que hace parte de la red. Con la creación de este SIG se facilita el manejo de información y las futuras modificaciones ya puede ser utilizado por cualquier persona interesada y se encuentra en un programa libre y gratuito denominado Q-GIS. A partir de este proceso, se hace un análisis de la información recopilada para el establecimiento de un diagnóstico de la red de alcantarillado de agua residual, se establecen los atributos iniciales del SIG, y se realizan recomendaciones específicas para el mejoramiento del estado actual de la red y la complementación y actualización del SIG, del cual también se entrega un manual.

Palabras claves: SIG, Sistema de Información Geográfica, Alcantarillado.

ABSTRACT

In the development of this work, information was collected to reach the creation of a Geographic Information System – GIS of the wastewater sewerage System in the UMNG Sede Cajicá, through the validation of existing record plans, and the detailed field verification and cleaning of each manhole in the system. The creation of this GIS, facilitates the handling of information and future modifications can already be used by any interested person because it works on a free open program called Q-GIS. From this process, an analysis of the information collected were used in a diagnosis of the wastewater sewerage system is made, the initial attributes of the GIS were established, and specific recommendations are made for improving the current state of the system and the complementation and updating of the GIS, from which a handbook is also written.

Key words: GIS, Geographic Information System, Sewerage system.

INTRODUCCIÓN

Dentro del crecimiento de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá se han realizado diferentes modificaciones a las redes de alcantarillado debido principalmente a la adición de conexiones provenientes de las nuevas edificaciones provocando que se generen continuos e importantes cambios; en consecuencia, se han encontrado evidencias de posibles conexiones erradas que están afectando la calidad y cantidad del agua que llevan dichas redes. Por esta razón, surge la necesidad de hacer una inspección y verificación de las redes de la universidad iniciando por las de aguas residuales para tener certeza del estado de los pozos y la dirección de los tramos del alcantarillado que se encuentran en todo el campus.

Por tanto, en el presente trabajo de grado se recopila el proceso de verificación de las redes de aguas residuales con el propósito de eliminar la incertidumbre derivada de su expansión y con la intención de tener un adecuado control de la calidad y continuidad del agua residual. Esto para poder optimizar su evacuación y su proceso de tratamiento en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y así permitir un correcto control de las aguas que son vertidas en el Río Bogotá y avanzar de mejor manera en el trámite del permiso de vertimientos que hace varios años adelanta la Universidad.

Por otra parte en la inspección y verificación de las redes en mención se identifica que es fundamental el establecimiento de un mecanismo para la continua actualización de la información que se tiene para la operación y mantenimiento de las redes, por lo cual se procedió a plasmarla dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en el que se va a poder tener control de la ubicación de los pozos, la ubicación y dirección de los tramos del alcantarillado sanitario teniendo en cuenta características específicas como lo son la limpieza, fecha de inspección, estado de tapas, objetos extraños encontrados y posible existencia de conexiones de aguas lluvias, entre otros.

En este documento se presentan los objetivos del trabajo de grado, el marco de referencia, la metodología con la que fue desarrollado, se describe el proceso de verificación y recolección de información con sus respectivos resultados y se recopilan las especificaciones del SIG implementado, el cual a futuro será una herramienta de gran ayuda para tener un control continuo de la red y puede ser usado por cualquier persona que lo requiera de manera sencilla y gratuita. Por último, se entregan unas conclusiones y recomendaciones derivadas de toda la experiencia de campo y análisis de la información obtenida durante el desarrollo del trabajo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Desde el año 2017 la sección denominada Proyecto Campus de la sede Cajicá de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), que es la encargada de los proyectos de construcción y expansión del campus, ha venido adelantando una serie de estudios para determinar la idoneidad de la infraestructura, entre los que se destacan análisis de la infraestructura de las redes de alcantarillado, tanto de aguas lluvias como de aguas residuales, el sistema de lagos interiores de la universidad, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y el cabezal de descarga de aguas lluvias en el Río Bogotá.

En este sentido, de acuerdo con lo escrito en un informe realizado en febrero de 2018 con la participación de autoridades municipales y de la Universidad (UMNG, 2018), se ha venido sospechando desde entonces de la posible existencia de conexiones erradas en las redes de alcantarillado de la UMNG, con lo que se podrían explicar algunos cambios y alteraciones en la calidad del agua y caudales tanto en las redes, como en la PTAR y de los lagos presentes en la institución.

Por otra parte, se poseen planos récord de las redes de alcantarillado pluvial y de las de aguas residuales con fecha de 2010, pero desde entonces, varias construcciones nuevas del Campus han venido realizando sus propias conexiones que no han sido correctamente identificadas y actualizadas en dichos planos, a los que se tienen acceso actualmente. Esta situación, genera por tanto incertidumbre sobre el estado actual de las redes, sus conexiones y direcciones, aumentando la posibilidad de existencia de conexiones erradas con su consecuente impacto negativo en el sistema. Por otra parte, se estima que, con el proceso de construcción de nuevas edificaciones, algunos pozos y tramos se han eliminado o han podido terminar obstruidos y, de igual forma, se puede inferir que se han debido generar nuevos pozos y tramos de los cuales no se tiene conocimiento o registro hasta la fecha.

Adicionalmente, por el incremento que ha tenido la UMNG en programas académicos y en su infraestructura de edificaciones, se debe tener un mejor control y seguimiento de la consecuente expansión de las redes de alcantarillado, como lo recomienda una investigación realizada en el año 2013 por un estudiante del programa de ingeniería civil, teniendo como referencia los datos de rendimiento de la PTAR, que pese a que en su momento presentaba buen funcionamiento, alerta sobre la necesidad de un seguimiento y monitoreo continuo, en parte por la vulnerabilidad que representan las bajas poblaciones presentes en la universidad y los cambios derivados de la estacionalidad de sus servicios (Mora, 2013).

Finalmente, en la PTAR de la Universidad, se tiene un registro de aumentos considerables e instantáneos de los caudales, que también se pueden explicar debido a potenciales conexiones erradas en las redes de aguas lluvias y residuales, que además dificultan el tratamiento del agua en la planta y por tanto entorpecen el proceso de permiso de vertimientos al Río Bogotá, que lleva varios años adelantando la Universidad.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los sistemas de alcantarillado son redes diseñadas para transportar las aguas residuales, industriales y pluviales que son generadas de viviendas, universidades, locales de comida, hospitales, industrias, entre otras hasta el lugar donde realizará su tratamiento como lo es una PTAR para posteriormente hacer un vertimiento seguro, Título D del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (MVCT, 2016). En este sentido, dentro de una institución como la Sede Campus Cajicá de la UMNG, las redes de aguas lluvias deberían ser construidas de forma completamente independiente de las de aguas residuales y el catastro de las redes debería estar constantemente actualizado, para su correcta operación y mantenimiento.

No obstante, desde hace varios años y hasta la actualidad, existen argumentos para pensar en potenciales problemas en las conexiones existentes dentro de la Universidad, y se ha demostrado que el catastro se encuentra desactualizado, por lo que se tiene la hipótesis de que existan conexiones erradas que están generando un mayor caudal del que normalmente transporta la red de aguas residuales de la universidad, alterando a su vez la calidad del agua en dicha red.

De acuerdo con los estudios y análisis recopilados en los antecedentes, estos aumentos de caudal pueden ser originados por filtraciones de agua que existan en las redes de alcantarillado o por posibles conexiones generadas en las nuevas construcciones realizadas dentro del Campus y que no fueron restringidas o cerradas correctamente.

Lo anterior da lugar al presente proyecto, que busca adelantar, en principio, un proceso de diagnóstico de las redes de alcantarillado de aguas residuales en conjunto con contratistas especializados en el tema, y más adelante, la creación de un SIG que permita una fácil actualización y una correcta visualización de la información para la operación y el mantenimiento de dichas redes a futuro.

1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la información presente en los planos récord que existen de la Universidad y las labores de inspección y verificación de redes que se realizan para la posterior implementación del SIG, la pregunta de investigación que sirve como guía del proyecto es:

¿Qué características de las redes de alcantarillado de aguas residuales dentro de la Sede Campus de la UMNG se deben recopilar en un SIG para su correcta operación y mantenimiento?

1.4 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

Dentro del crecimiento de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá, se han tenido que crear conexiones provenientes de las edificaciones que se han venido adhiriendo a las redes matrices que se tienen de aguas residuales y aguas lluvias, en diferentes puntos y sectores de la Universidad, lo cual deja un indicio de la posible existencia de algunas conexiones erradas que estén afectando la calidad y cantidad del agua que debe llevar cada una de estas redes.

Por esta razón, surge la necesidad de hacer una verificación y estudio de las redes, iniciando por las redes de aguas residuales en los diferentes puntos tanto de los colectores principales como de cada una de las edificaciones que se tienen y aquellas que aún están en construcción.

Se hará uso de los planos récord que se tienen de las redes de aguas residuales y aguas lluvias para poder tener claridad de estos sistemas y el recorrido que hacen dentro de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá, a partir de los cuales se realizará un reconocimiento y verificación del estado y dirección de las redes de aguas residuales. Adicionalmente, se hará una revisión de esta información teniendo en cuenta que pueden existir algunas conexiones erradas que están afectando la calidad del agua que estas redes llevan, puesto que se debe tener claridad y certeza de que su funcionamiento sea de manera separada.

Por último, se creará un SIG a través del software Q-GIS que es libre, gratuito y permite el montaje de bases de datos asociadas a los elementos geográficos para facilitar la futura alimentación de dichas bases en la operación y el mantenimiento de las redes iniciando por las de aguas residuales de la Universidad.

1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance del proyecto se basa en hacer la verificación de la red de alcantarillado de aguas residuales de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá basada en los pozos de inspección y los tramos que los conectan a partir de unos planos record entregado por proyecto campus del año 2010; por medio de los cuales con una inspección en campo y análisis de la información recolectada dará lugar a construir una base cartográfica y temática para la implementación de un Sistema de Información Geográfica – SIG de dicha red teniendo en cuenta que en un futuro puede ayudar en las labores de mantenimiento y operación de la red en mencionada. Por otro lado, los atributos que se tienen en cuenta para el SIG son relacionados a mantenimiento pues se van a tener en cuenta los siguientes: fecha de limpieza, estado de las tapas, notas, objetos encontrados y A. Lluvia.

Esta limitado por la falta de actualización de los planos record que se entregan es probable que se hayan realizado modificaciones y no estén registrados en los planos. Además, no se tendrá en cuenta toda la información entregada en los planos pues no se cuenta con los equipos necesarios para su verificación como lo son cotas, pendientes y diámetros de las tuberías que son características que se pueden analizar en otras investigaciones futuras logrando complementar la base de datos con más atributos.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Construir la base cartográfica y temática para la implementación de un Sistema de Información Geográfica de las redes de alcantarillado de aguas residuales para su futura operación y mantenimiento, a partir de la verificación de los planos récord, pozos de inspección y tramos existentes dentro de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá.

1.6.2 Objetivos específicos

- Verificar las redes de alcantarillado de aguas residuales en conjunto con un contratista especializado, teniendo como base la información de los planos récord que se tienen en la Universidad.
- Elaborar un diagnóstico general de las redes de aguas residuales de la Sede, actualizando la información catastral existente y construyendo una base de datos que soporte dicho diagnóstico.
- Realizar un SIG con la información recolectada de los planos y la verificación en campo de las redes estudiadas, para permitir la oportuna operación y mantenimiento a futuro de las mismas.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1.1 Redes de alcantarillado, operación y mantenimiento.

A lo largo de los años, la ingeniería ha venido evolucionando en las técnicas y tecnologías para la construcción, diseño, operación y mantenimiento de redes de alcantarillado, lo que da lugar a que se hagan modificaciones a los sistemas tradicionales buscando mayor eficiencia, pero siempre manteniendo el objetivo principal de dichas redes, que es evacuar de manera adecuada las aguas domésticas, industriales, institucionales, comerciales y lluvias, con seguridad, para su posterior tratamiento y seguro vertimiento de nuevo al ambiente.

En este sentido, la literatura especializada define los alcantarillados como el conjunto de tuberías, estructuras de inspección y estructuras complementarias que se requieren para evacuar las aguas residuales de una población y la escorrentía superficial producida por la lluvia (López Cualla, 2002) y distingue entre sistemas convencionales, que pueden ser separados (siendo diferente el alcantarillado sanitario del pluvial) o combinados; y sistemas no convencionales, como los alcantarillados simplificados o condominiales. Así, las redes de alcantarillado de la UMNG Sede Campus Cajicá, están concebidas y construidas como redes convencionales separadas, teniendo desde su diseño una independencia entre los sistemas de alcantarillado de aguas residuales o sanitarias y de alcantarillado de aguas lluvias o pluviales.

Por otro parte, las redes de alcantarillado deben cumplir en su diseño y operación con la normativa vigente para Colombia y deben ser funcionales en la separación del agua con diferentes calidades para poder lograr un tratamiento eficiente, además, las aguas residuales deben cumplir con los requisitos para poder hacer el vertimiento de forma segura, teniendo en cuenta que son tratadas en la PTAR de la Universidad para su posterior vertimiento. Por su parte, el agua lluvia alimenta los lagos artificiales que hacen parte de la Universidad, para luego ser drenada directamente al Río Bogotá, a través de un cabezal de descarga de aguas lluvias.

Se debe garantizar entonces la integralidad del drenaje urbano como se establece en el Título D del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (MVCT, 2016) que define las partes de dicho drenaje urbano como el sistema de redes de alcantarillado, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y el cuerpo receptor de los vertimientos; y establece que no se debe realizar el diseño y la construcción de ninguna de las partes sin tener en cuenta las posibles afectaciones en las demás, que los sistemas deben planificarse de tal manera que minimicen los impactos negativos con los ecosistemas que los rodean, y que deben en todo momento ser funcionales y garantizar el cumplimiento de los objetivos para los que fueron creados.

Estos requerimientos hacen evidente la necesidad de tener programas continuos de operación y mantenimiento rutinario y preventivo como se indica en la Resolución 0330 de 2017 que actualiza el RAS (MVCT, 2017) en donde se definen como “todas las actividades necesarias para el correcto funcionamiento de los sistemas, encaminadas a prevenir fallas en los mismos”, siendo necesario para ello implementar sistemas de instrumentación, monitoreo y control que permitan el permanente y continuo control de la calidad de los servicios que prestan las infraestructuras.

Esta Resolución indica que para el diseño o expansión de todo sistema de acueducto o alcantarillado existen una serie de actividades preliminares entre las que hay una fundamental denominada diagnóstico y evaluación del sistema existente cuyo primer paso consiste en la recolección y análisis de información en la que se deben recopilar estudios existentes, registros de operación y mantenimiento, reportes de construcción, registros de caudales, información sobre el estado de los elementos, entre otros, donde se deben documentar las actividades de diagnóstico y de campo en un Sistema de Información Geográfica para establecer el correcto catastro de redes.

El uso de SIG para este tipo de sistemas no es extraño, pues en las últimas décadas se ha producido la implementación de los Sistemas de Información Geográfica en diversos aspectos de la vida cotidiana en proyectos de ingeniería y se han desarrollado numerosos avances en la implementación de SIG en el caso específico de las redes de alcantarillado u otros sistemas hidráulicos como una herramienta para la gestión de las mismas, pues brindan facilidades a la hora de reconocer los elementos que las componen con su ubicación espacial real, y permiten asignar a dichos elementos información útil a la hora de hacer mantenimientos, reparaciones, reconocimiento del estado, funcionamiento y un sinúmero de características, dependiendo de las necesidades del usuario.

Un ejemplo de la utilización de estos sistemas es el SIG implementado en la Habana - Cuba desarrollado por la empresa de abastecimiento y saneamiento de agua de la región integrada por 8 municipios. La operación del sistema se divide en tres grupos de cartografía, abastecimiento y saneamiento, y en cada uno de ellos hay unas subcategorías las cuales permiten que varias dependencias puedan tener ingreso y hagan revisiones, visitas, elaboren planos temáticos, realicen procesamiento digital de imágenes, inventario, análisis de conectividad y seguimientos, para la correcta operación del sistema.

A pesar de los esfuerzos, la empresa no ha logrado por completo la actualización e integración por lo cual sugieren que se debe trabajar aún más en la herramienta SIG para obtener un resultado efectivo del software y que pueda brindar todo lo que se quiere por medio de su utilización generalizada en toda la empresa (Amorós Núñez & Sánchez Cruz, 2012). Este ejemplo demuestra el potencial del uso de estas herramientas las cuales requieren tiempo para poder hacer una continua elaboración y actualización del sistema, además, capacitar a todas las dependencias que hagan uso

del software y que todas las personas trabajen bajo las mismas condiciones para el mantenimiento y actualización del sistema.

En la República de Sudáfrica se pretende implementar el SIG para trabajos de gestión y mantenimiento de las redes de suministro tanto de agua como de saneamiento, usando diferentes técnicas ya que no se contaba con cartografía completa de todas las zonas y fue necesario hacer una propia, haciendo uso de otras herramientas como planos para poder lograr el objetivo. Para llegar al cumplimiento de la utilización del SIG se decidió asignar unas oficinas para el control de éste, como lo son la Oficina de Ingeniería, el Centro de llamadas y las Bases de datos del proyecto, las cuales deben trabajar en conjunto para obtener los resultados que se buscan con la implementación del SIG.

Después de un arduo trabajo se consolidó este sistema debido a las ventajas y los beneficios derivados de su implementación, desde los puntos de vista técnico y organizativo pues ayuda a identificar muchos problemas y a mejorar la eficiencia de los mecanismos de gestión de los proyectos que se realizaban en esta zona (Ordás, 2012).

Se comprende entonces, que la idea de usar este tipo de tecnologías es que se pueda centralizar, organizar, actualizar, normalizar y controlar grandes bases de datos geográficas para que puedan llegar a diferentes lugares de trabajo e investigación y ayuden en la toma de decisiones en cuanto al correcto funcionamiento y operación de las redes e alcantarillado.

Así, siendo las redes de alcantarillado crucialmente importantes en el desarrollo de las instalaciones de la Universidad, se hace necesaria la elaboración de Sistemas de Información Geográfica para tener una forma más rápida y confiable de actualización de la información de dichas redes y ayudar en los diferentes procesos que se hacen de mantenimiento y operación. Por lo tanto, a continuación se describen los conceptos relacionados con SIG y las estrategias para su implementación.

2.1.2 Sistemas de Información Geográfica – SIG

Los Sistemas de Información Geográfica – SIG, surgen de la necesidad de almacenar información variada que ocurre en un mismo lugar teniendo en cuenta que es necesario conocer la geografía, las variables y las posibles modificaciones que a ellas se puedan hacer, lo que da lugar a un análisis de la información en la que se puedan ver una o más variables al mismo tiempo. Es allí donde entran en juego los SIG.

Un SIG, es la unión de datos relacionados con el espacio físico y herramientas informáticas, es decir, un conjunto de componentes que permiten al usuario realizar actividades de creación, consulta, integración, análisis y representación de cualquier tipo de información geográfica referenciada a un territorio, y que además a cada componente espacial le puede asignar información atributiva que detalle los elementos que se quieran analizar. (Geoinnova, s.f.)

En este orden de ideas, se puede decir que los sistemas de información geográfica tienen dos componentes fundamentales: un modelo de datos en que se almacenan las características de los objetos geográficos en forma de base de datos, con su información posicional (en coordenadas) y las relaciones entre los diferentes elementos u objetos que se quieran analizar; y, una colección de funciones que permiten interrogar a la base de datos y obtener algunas respuestas para poder ser

analizadas, registrándolas por medio de mapas informativos de acuerdo a las características que se quieran ver (Rubio Barroso & Gutiérrez Puebla, 1997).

Los modelos de datos pueden ser de diversos tipos como que son: vectorial topológico, en el cual se distinguen 3 tipos de entidades: puntos, líneas y polígonos, y para cada tipo de dato se asocia una estructura y un registro en su base de datos; vectorial no topológico, en la que sólo se almacenan las entidades pues estas facilitan la creación y el mantenimiento, aunque disminuye las posibilidades de análisis; y por último ráster, que es una entidad por medio de la cual se divide el espacio en cuadrículas de tamaño específico y se indica al usuario un valor en cada punto de dicha cuadrícula, así por ejemplo, si la cuadrícula es pequeña y el valor corresponde con color, se puede representar una imagen.

La implementación de los SIG adquiere fuerza debido a que está determinada por las utilidades o análisis que se pueden hacer con la información que éste contiene, y también pueden ser variadas encontrándose entre las más comunes la representación dinámica que es la capacidad de determinar la forma gráfica en función de los atributos, la consulta combinada, operaciones topológicas, relaciones espaciales y análisis de redes, entre otras. (Rubio Barroso & Gutiérrez Puebla, 1997)

De forma complementaria, los mapas en el SIG, además de ser una representación cartográfica, sirven como una ventana interactiva de información geográfica y datos almacenados descriptivos, donde se puede diseñar y organizar información por medio de temáticas. Por otro lado, se puede obtener información nueva mediante geo-procesamiento el cual da lugar a visualizar, resumir, analizar, comparar e interpretar los resultados analíticos propios del sistema representado.

Estos mapas se pueden usar para comunicar y transmitir información de manera organizada, por medio de los cuales se pueden asociar, interpretar y captar datos, así como también descubrir e investigar patrones de datos e información de alguna temática en específico. Adicional a esto, los mapas pueden tener datos interactivos como por ejemplo gráficas, atributos, informes, fotografías, entre otros; dando lugar a resultados analíticos muy completos, ya que permiten la visualización general del modelo y la generación de evaluaciones y análisis. (Resources)

Luego, el manejo y la estructuración de la información dentro de un SIG, tiene una fundamental importancia por lo que en la literatura se recopilan esquemas de trabajo que permiten la construcción, actualización y uso de estos tipos de sistemas. Así por ejemplo, en la siguiente figura, se muestra una esquematización típica de la información contenida en un sistema de información (Fazal, 2008), en la que la información de entrada debe tener una verificación y edición, y se debe estructurar y organizar en bases de datos, para hacer modelación y análisis que permitan tener los elementos de salida deseados, todo mediado por la continua actualización.

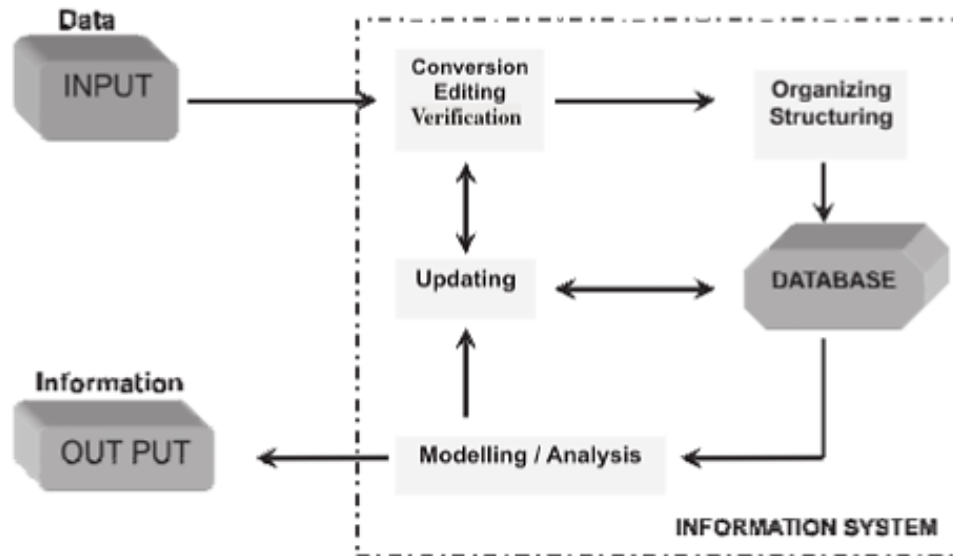


Ilustración 1. Esquema SIG Fuente: (Fazal, 2008)

Es importante entonces, construir una correcta estructura para el SIG que se quiera montar, y si es el caso específico de las redes de alcantarillado, existen también fuentes especializadas que recomiendan metodologías establecidas con las cuales se puede consecuentemente estructurar los modelos de información que permitan el mantenimiento y la oportuna actualización de los datos pertenecientes a dichas redes. A continuación, se recopilan los aspectos más relevantes, recomendados para el montaje de un SIG para redes de alcantarillado.

2.1.3 SIG aplicados a redes de alcantarillado

Teniendo en cuenta las ventajas que ofrecen los SIG en la recopilación y organización de las redes de alcantarillado, diversos estudios se han realizado al respecto y uno de ellos (Fornaguera Vázquez, 2008), recomienda una metodología específica a partir de la definición de los objetivos para poder cumplir con lo que se requiere, asegurando que los elementos del sistema funcionen en todo momento, minimizando las posibilidades de falla de dichos elementos, garantizando el mantenimiento y buscando que las redes y su operación, sean ambientalmente aceptables y económicamente eficientes.

Por tal motivo, se generan unas etapas secuenciales, que son:

1. Recopilación de la información documental básica de la red objeto de estudio:
Utilización de la aplicación SIG.
Gestión de incidencias.
2. Evaluación periódica del agua residual.
3. Levantamiento e inspección de redes.
4. Diagnóstico de la red:
Utilización de modelos matemáticos (complementarios).
5. Acciones a realizar en función de los resultados del diagnóstico.

En este sentido, varias de las etapas de dicha metodología propuesta, pueden ser adoptadas para el contexto de la Sede Cajicá de la UMNG, con lo cual se pueden obtener resultados útiles para la Universidad y replicables en otros contextos similares.

2.2 MARCO NORMATIVO

2.1.1 Título D RAS 2016

En el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), dentro del Título D – Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvia, que fue actualizado en 2016, se establecen las condiciones para la concepción y el desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvia. Así mismo, se orienta la planificación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento y el seguimiento de la operación de estos sistemas y sus componentes.

Este título se enmarca dentro del concepto moderno de la integralidad del drenaje urbano. Este concepto implica la integración en cuanto a cantidad y calidad de agua de todas las partes que conforman el sistema de drenaje o recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias de una ciudad actual. Estas partes son: el sistema de redes de alcantarillado la cual está conformada por tuberías y estructuras que formen la red, la(s) planta(s) de tratamiento de aguas residuales (PTAR) las cuales son las encargadas de recibir las aguas residuales para llevar a cabo un tratamiento de dichas aguas de acuerdo a los criterios que se encuentran en la normativa y el cuerpo receptor de aguas el cual recibe las aguas tratadas que deben cumplir con unos objetivos de calidad y los términos establecidos en el decreto 3930 de 2017 y la Resolución 0631 de 2015. (MVCT, 2016)

2.1.2 Resolución 0330 de 2017

Esta resolución, actualiza al título antes mencionado y en ella se establecen los parámetros y los valores límites para el diseño de los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones, por otra parte, se establecen criterios de diseño y los objetivos de la planificación, operación y mantenimiento de este tipo de redes (MVCT, 2017).

3. METODOLOGÍA

De acuerdo con la metodología recopilada en la literatura especializada, se adelantó una metodología de trabajo basada en la verificación de la información existente, validada a partir de la información de campo, para el posterior análisis y construcción de un SIG para las redes de aguas residuales de la Sede Campus Cajicá de la UMNG, como se muestra en la siguiente ilustración:

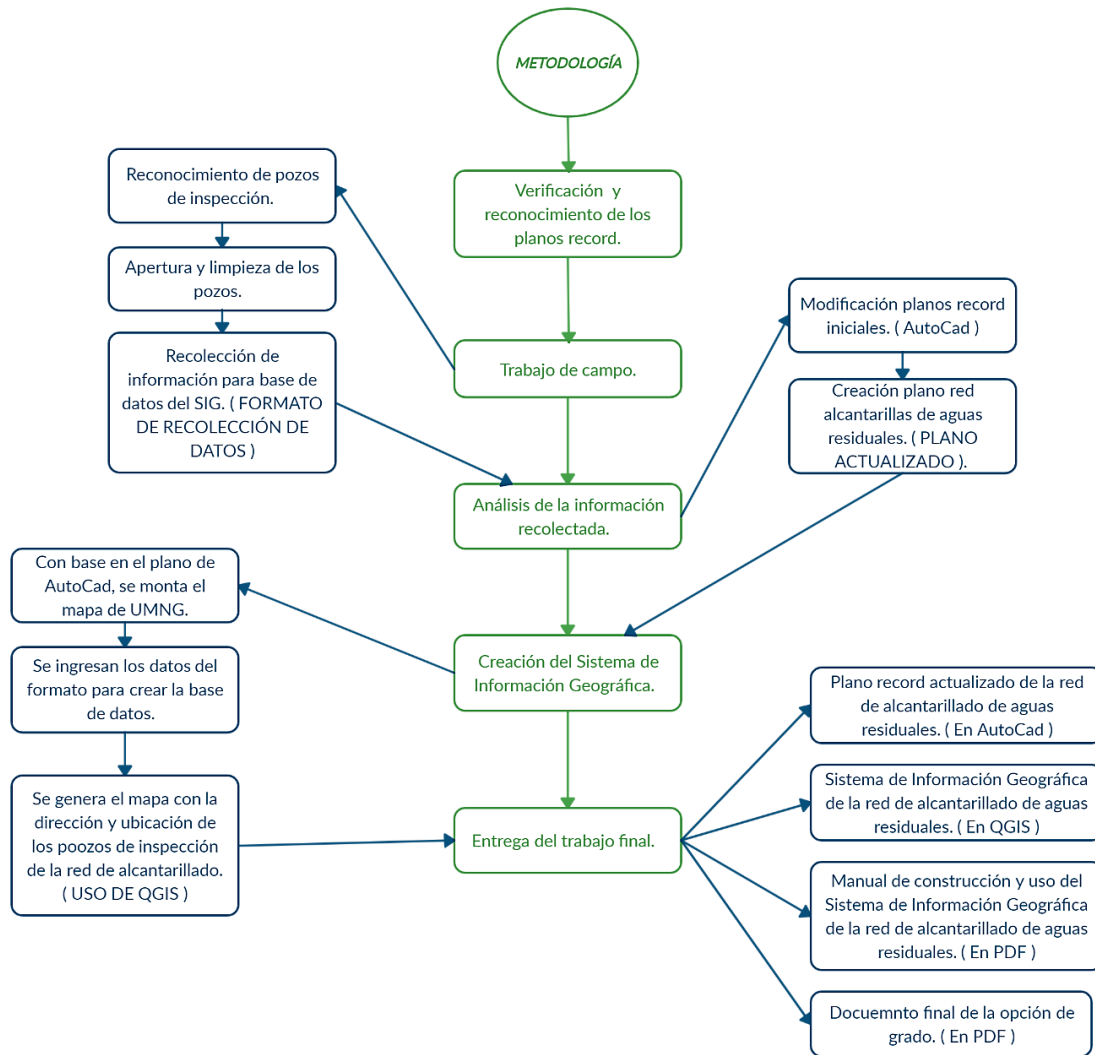


Ilustración 2. Metodología usada para el desarrollo del trabajo. Elaboración Propia.

En este sentido, teniendo en cuenta los planos existentes y la información acerca de las posibles conexiones erradas, se inicia con una verificación y reconocimiento de los datos generados en los planos récord entregados por Proyecto Campus de la red de alcantarillado de aguas residuales de la Sede.

Luego, para la validación de campo, se procede a hacer el recorrido en campo con un contratista especializado en limpieza de pozos y tuberías, para conocimiento y verificación de todos los elementos de inspección, que se destapan haciendo al tiempo la limpieza respectiva de los colectores. Se establece entonces un cronograma para el seguimiento y limpieza junto con el contratista y a partir de estas labores de campo se reúne la información necesaria para evaluar la red, y dar una estimación de las posibles conexiones erradas que existen.

Esto se realiza por medio de un formato específico de recolección de información de cada pozo teniendo en cuenta su ubicación, verificando la concordancia con la ubicación recopilada en los planos récord, recopilando la fecha de la limpieza, el estado de las tapas, si se encontraban objetos

extraños, la presencia de alguna conexión de agua lluvia y algunas observaciones generales si hay objetos o condiciones extrañas encontradas allí.

Posteriormente, se hace un análisis de la información y se deja constancia de los resultados que se obtuvieron de la verificación de la red de aguas residuales. Con esto, al tener toda la información recolectada, se realiza una revisión de planos en los cuales se hacen las modificaciones necesarias y se establece el diagnóstico general de la red existente.

Por último, se da inicio a la creación del Sistema de Información Geográfica – SIG, teniendo en cuenta los pozos que se encontraron en terreno y que realmente hacen parte de la red de alcantarillado de la Universidad. Dentro del software libre QGIS se incluyen las características que se diligenciaron en el formato de inspección para poder hacer recorridos y futuras modificaciones, u obtener mapas temáticos del estado actual de las redes.

4. RESULTADOS

Durante el tiempo que se trabajó en el desarrollo del objetivo de este trabajo, se presentaron diferentes etapas que eran necesarias para cumplir con éxito lo que se quería. A continuación, se sintetizan los resultados obtenidos durante las diversas etapas para el desarrollo del trabajo final.

4.1 Verificación y recolección de la información

Desde la entrega del archivo de los planos récord en AutoCad de las redes de alcantarillado de aguas residuales y lluvias, fue necesario hacer un análisis de estos para reconocer la ubicación y el manejo que se le podía dar para la verificación en campo, a partir de esta información se realizó la verificación de la red de alcantarillado de aguas residuales y posteriormente se hicieron los ajustes a los archivos de AutoCad. A continuación, se muestran imágenes de los planos iniciales. Se recopila en el anexo 1.1 el plano de la red de aguas residuales y en el anexo 1.2 el plano de la red de aguas lluvia.

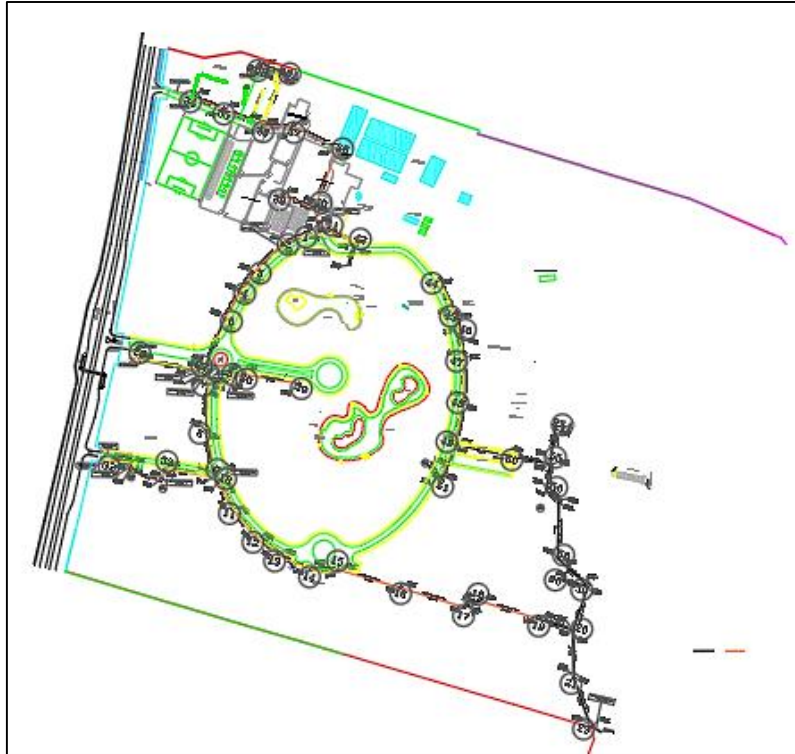


Ilustración 3. Plano récord de las redes de aguas residuales.

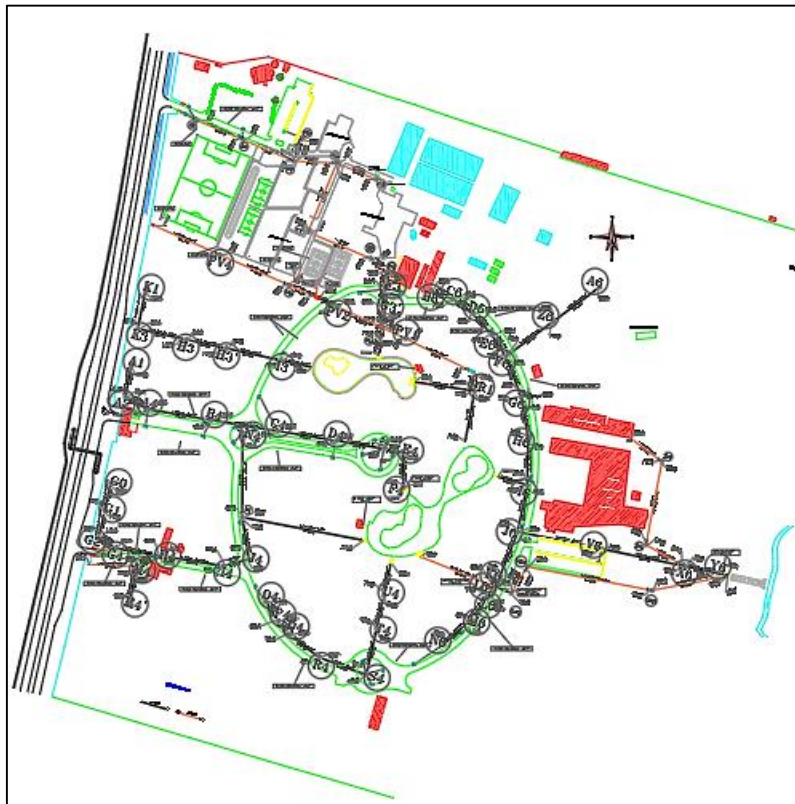


Ilustración 4. Plano récord de las redes de aguas lluvias.

Posteriormente, se dio inicio a las labores de campo desde el 23 de septiembre de 2019 hasta el 11 de octubre de 2019, etapa en la que se hizo el reconocimiento de los planos récord y se recopiló en el formato de recolección la información (Ilustración 5).


 FORMATO DE ANOTACIONES INSPECCIÓN DE POZOS FACULTAD DE INGENIERÍA		
Fecha: _____		
POZO	DISTANCIA (m)	DESCRIPCIÓN

Ilustración 5. Formato de anotaciones de campo de inspección de pozos.

Luego, los resultados de acuerdo al proceso que se llevó a cabo y en el que se encontraron diferentes elementos de interés o anomalías, a partir de la verificación de la red de aguas residuales son:

- Se encontraron dos pozos los cuales están en los planos récord de aguas residuales, pero hacen parte de la red de aguas lluvias. Los pozos son los marcados como AR 40 y AR 51 en campo y en los planos récord que se tienen están solamente con el número.



Ilustración 6. Pozo 40.



Ilustración 7. Pozo 51

- Se encuentra con ayuda de un trabajador de mantenimiento el pozo 51A, pues éste está ubicado debajo de la rampa del auditorio C.
- Se encontraron algunos pozos que no están en los planos récord, para lo cual fue necesario ubicarlos en los planos y nombrarlos nuevamente. En este caso quedaron como 21A, 42A, 42B y 47A.
- Se encontraron dos conexiones erradas que son de aguas lluvias las cuales llegan a los pozos 42A y 18.



Ilustración 8. Pozo 42A.

- En el pozo 42B se encuentra un taponamiento y aglomeración de material sólido debido a que en la boca del tubo de salida del pozo había un codo incrustado que se cortó con aprobación de la directora de Proyecto Campus, para mejorar el paso de las aguas residuales que se reciben en este pozo.
- Se realizó una limpieza e inspección a unas cajas que estaban cerca al restaurante de la universidad en las cuales se encontró presencia de grasas en exceso y sellamiento de algunas conexiones.



Ilustración 9. Caja Restaurante Quizz



Ilustración 10. Sellamiento Tubos



Ilustración 11. Grasa en bloques tubería restaurante.



Ilustración 12. Caja con grasa.



Ilustración 13. Estado cajas del restaurante.

- Se revisaron las cajas que se encuentran en la concha acústica cercanas a la 42B, pues estaban marcadas como agua residual pero realmente eran de aguas lluvias estas son AR 5 y 4EA.
- La tubería que va del pozo 6 al 7 se encontró tapada, había presencia de gravilla y palos lo cual no permitía el paso normal del agua.
- En el pozo 32C se ve el agua de una tonalidad muy extraña comparado al resto de la red de aguas residuales.



Ilustración 14. Pozo 32C.

- Se encontró que en los planos récord entregados el pozo 38 y el 39 llegan la 40, pero realmente no es así, pues como ya se mencionó anteriormente el pozo 40 es de aguas lluvias.

Realmente estos pozos están conectados al pozo 41. Adicionalmente, el pozo 51A estaba indicado que iba al pozo 51, lo que tampoco es correcto, realmente va al pozo 49.

- En el pozo 56 se encontró una alta filtración de agua, es posible que la afectación sea de aguas lluvias o el nivel freático que está cercano y se genera la entrada de aguas que no son residuales.
- No se encontraron a simple vista algunos pozos, pues estaban tapados completamente. Estos fueron el 8, 16, 32B, P54 y el 20.



Ilustración 15. Pozo 32B.



Ilustración 16. Pozo P54.



Ilustración 17. Pozo 16.

- No se encontró el pozo en el cual se unen las dos ramas de la red de aguas residuales cerca del edificio de laboratorios Fase II, es decir el 20 de los planos récord, pero se sabe que si existe debido a que en el siguiente pozo (el 21) se verifica el paso normal del agua. En campo se encontró un pozo marcado como AR 20 pero este hace parte de la red de aguas lluvia de la universidad, por lo que está mal marcado.
- En los planos récord se muestra el pozo 60 del cual se da origen a otro tramo de la red que se conecta al pozo 20, cercano al edificio de laboratorios Fase II, que no se encontró. A partir de este pozo se hizo un sondeo de alrededor de 25 m y se acercaba hacia la zona del Rio Bogotá; se realizaron pequeñas excavaciones para encontrar el pozo y no fue posible pues esta zona se encuentra cubierta de una gran capa de escombros y tierra, además no fue posible que Proyecto Campus colaborara para su búsqueda, porque no tienen información de hacia donde se movió la red por parte del contratista que realizó las edificaciones aledañas a esta zona.

Al final del proceso de recolección de la información en campo, se dio lugar al análisis de la información recolectada para elaborar un plano nuevo de la red de alcantarillado de aguas residuales actualizado teniendo en cuenta todos los cambios mencionados anteriormente. También se complementa el dibujo con las edificaciones que había hasta la fecha y se identifican las mismas en el plano. Por tal motivo, se hace la elaboración de otro archivo en AutoCad actualizado, agregando los pozos que se encontraron, eliminando los que son de la red de aguas lluvias y señalando la inconsistencia del plano en la parte de laboratorios Fase II, es decir la parte de la red que no se encontró. Este plano se encuentra en el Anexo 3.1.

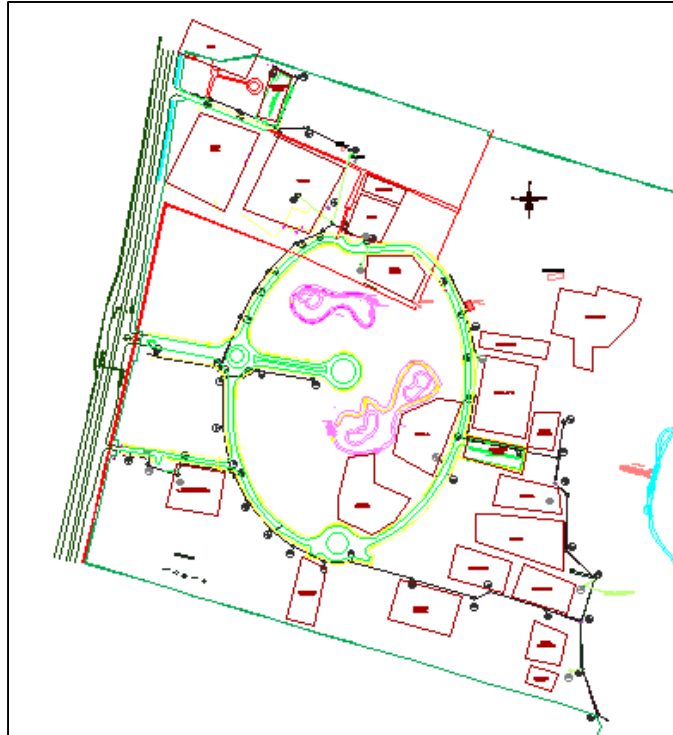


Ilustración 18. Plano actualizado de las redes de aguas residuales.

Y complementariamente se elabora un plano de cruces de las redes a partir de la actualización de la red de aguas residuales, y la información existente de la de aguas lluvias (Anexo 3.2).

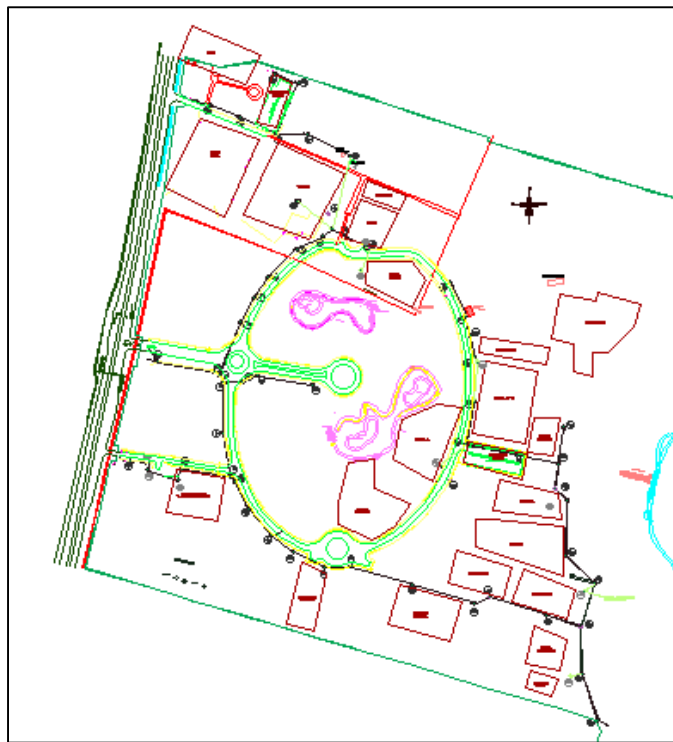


Ilustración 19. Plano actualizado de cruces de las redes de alcantarillado.

4.2 Diagnóstico general

Como entregable inicial del desarrollo del trabajo se obtiene un análisis diagnóstico de la red de alcantarillado de aguas residuales estudiada con base en los planos récord entregados por Proyecto Campus. Así, se encontraban un total de 60 pozos de inspección en el plano entregado, y de acuerdo a la información suministrada identificó que había posibles cambios o modificaciones que no se han tenido y en el proceso de verificación se encontraron varias novedades importantes para la actualización de la red de alcantarillado de aguas residuales que se mencionan a continuación;

De los 60 pozos iniciales:

- ✓ 2 hacen parte de la red de alcantarillado de aguas lluvias.
- ✓ Se encontró inconsistencias en los tramos de conexión del pozo 38 y 39 pues el pozo de llegada no era al que se indicaba en el plano; realmente su conexión era al pozo 41.
- ✓ Se adicionaron 4 pozos que hacen parte de la red y no se encontraban en el plano.
- ✓ No se encontró el pozo 20 y la dirección de las conexiones tampoco es clara de acuerdo al plano récord.
- ✓ De los tramos de recorrido y conexión de los pozos iniciales, se encontró que no hay claridad en la zona de laboratorios, pues hay una conexión que no aparece en el plano y con colaboración del contratista se logró identificar una posible dirección que se muestra en el plano actualizado.
- ✓ No se encontró un pozo en la ubicación indicada en el plano.
- ✓ Se encontraron 7 tapas de los pozos en mal estado.
- ✓ En cuanto a las direcciones de la red se encontraron que 1 estaba en sentido contrario, 1 no estaba señalada la dirección en el plano y 3 direcciones de los tramos no llegaban al pozo correcto.
- ✓ Se pudo verificar que los tramos de dirección y la cantidad de pozos cumplían con la función de conectar la red, exceptuando el tramo de Fase II de laboratorios que no se encontró claridad y no fue posible tener ayuda de proyecto campus para el reconocimiento.

4.3 Manejo de la información y creación del SIG.

Teniendo en cuenta los elementos necesarios para la creación del SIG en Colombia tiene un sistema de referencia oficial Magna-Sirgas la cual es implementada en este trabajo que se toma en reemplazo de Datum Bogotá para garantizar la compatibilidad de las coordenadas con las técnicas de espaciales de posicionamiento que en este caso son necesarias para manejar el plano base del SIG (IGAC, 2018).

A partir del plano actualizado generado en la etapa de verificación, se da inicio a la elaboración de un SIG, en el cual se tenga la información de la ubicación satelital de la UMNG sede Cajicá, para ubicar los pozos de inspección que hacen parte de la red de alcantarillado de aguas residuales, en conjunto con algunas características que pueden ser usadas o modificadas en un futuro. Algunas de ellas son fecha de limpieza (la cual hace referencia a la labor de campo que se hizo), estado de las tapas (se hace una revisión general de las tapas), notas (comentarios relacionados con anomalías

en los pozos), objetos encontrados (haciendo énfasis cuando se destaparon y a la hora de la limpieza se encontraron objetos) y A. Lluvia (se determina si hay o no conexiones de aguas lluvia en el pozo); estas características se convirtieron cada una en un campo de la base de datos de la red de pozos que finalmente se organizó de la siguiente manera teniendo en cuenta que se manejan diferentes geometrías para los mapas temáticos que se obtienen de la elaboración final del SIG en este caso hay geometrías de líneas y de puntos:

Tabla 1. Resumen atributos Sistema Información Geográfica

Nombre atributo	Layer	Fecha	Tapa	Notas	Objetos	A. Lluvia
Características	Número del pozo	Fecha de la última inspección.	Estado de las tapas de cada pozo.	Características específicas, sugerencias o anomalías de los pozos.	Presencia de objetos extraños.	Conexiones de agua lluvia en el pozo.
Tipo de atributo	String	String	String	String	String	String
Observaciones	Identificar con números y/o letras cada pozo	Actualizar cada vez que se haga inspección en los pozos.	Clasificar el estado: Bueno Regular Malo	Dejar todas las observaciones para próximas inspecciones.	Anotar objetos que no hacen parte de la red.	Registrar si hay conexiones de aguas lluvias en la red.

No obstante, las bondades del sistema implementado y del software trabajado permiten a partir de la información entregada que más columnas puedan ser llenadas con verificaciones o pruebas de campo futuras para complementar la base datos construida de los pozos de inspección y crear una base de datos asociada a los tramos con información nueva como cantidad de conexiones, diámetro de la tubería, longitudes, pendientes y proveniencia de las conexiones del pozo. Por último, en el SIG se establece el sentido en que pasa el agua por los pozos y la conexión entre los mismos, revisar anexo 4.1 el cual es adjuntado a este trabajo final, por otro parte se entrega un manual de construcción y funcionamiento del SIG para futuros manejos de este programa de acuerdo a las actividades que se contemplen para mejorar.

A continuación, se muestran unas imágenes del proceso de construcción y manejo del SIG, dando lugar a mapas temáticos de acuerdo a los atributos o características que se verificaron en la inspección en campo teniendo en cuenta que de acuerdo a la escala puede variar la imagen y la claridad de los elementos del mapa:

1. Mapa base utilizado para la creación del SIG a partir del cual con la unión de los atributos se da origen a diferentes mapas temáticos.



Ilustración 20. Mapa base UMNG Sede Cajicá. Escala 1:5000.

2. Ubicación de los pozos de inspección. Cuenta con una geometría de puntos y es identificado con el atributo **Layer** en cual están los nombres de los pozos de tipo string.

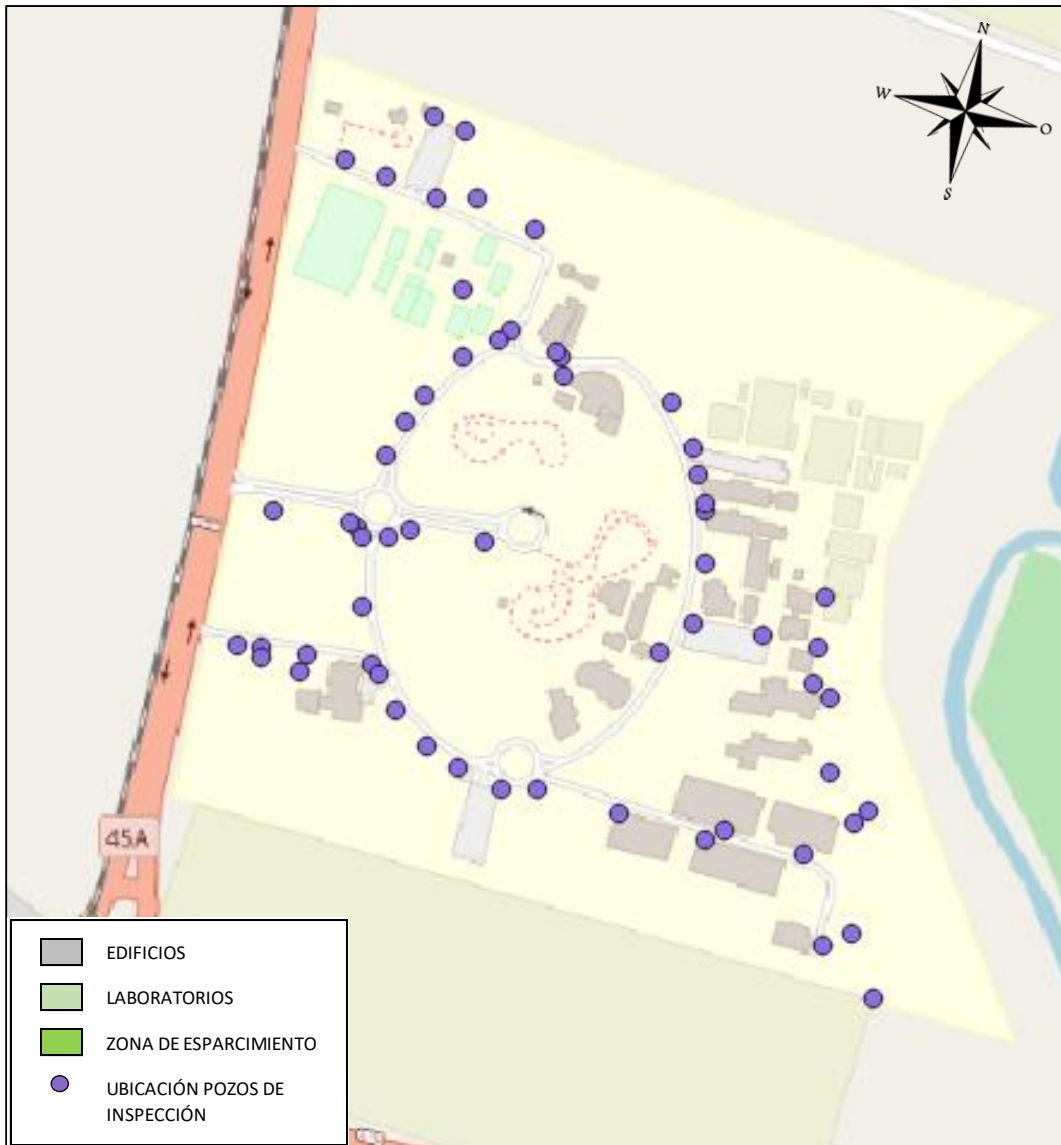


Ilustración 21. Ubicación pozos de inspección verificados y modificados. Escala 1:10000.

3. Ubicación de los pozos, tramos y dirección del agua. Cuenta con una geometría de líneas y puntos y es identificado en la capa **dirección agua** en cual están los nombres de los tramos de conexión entre pozos.

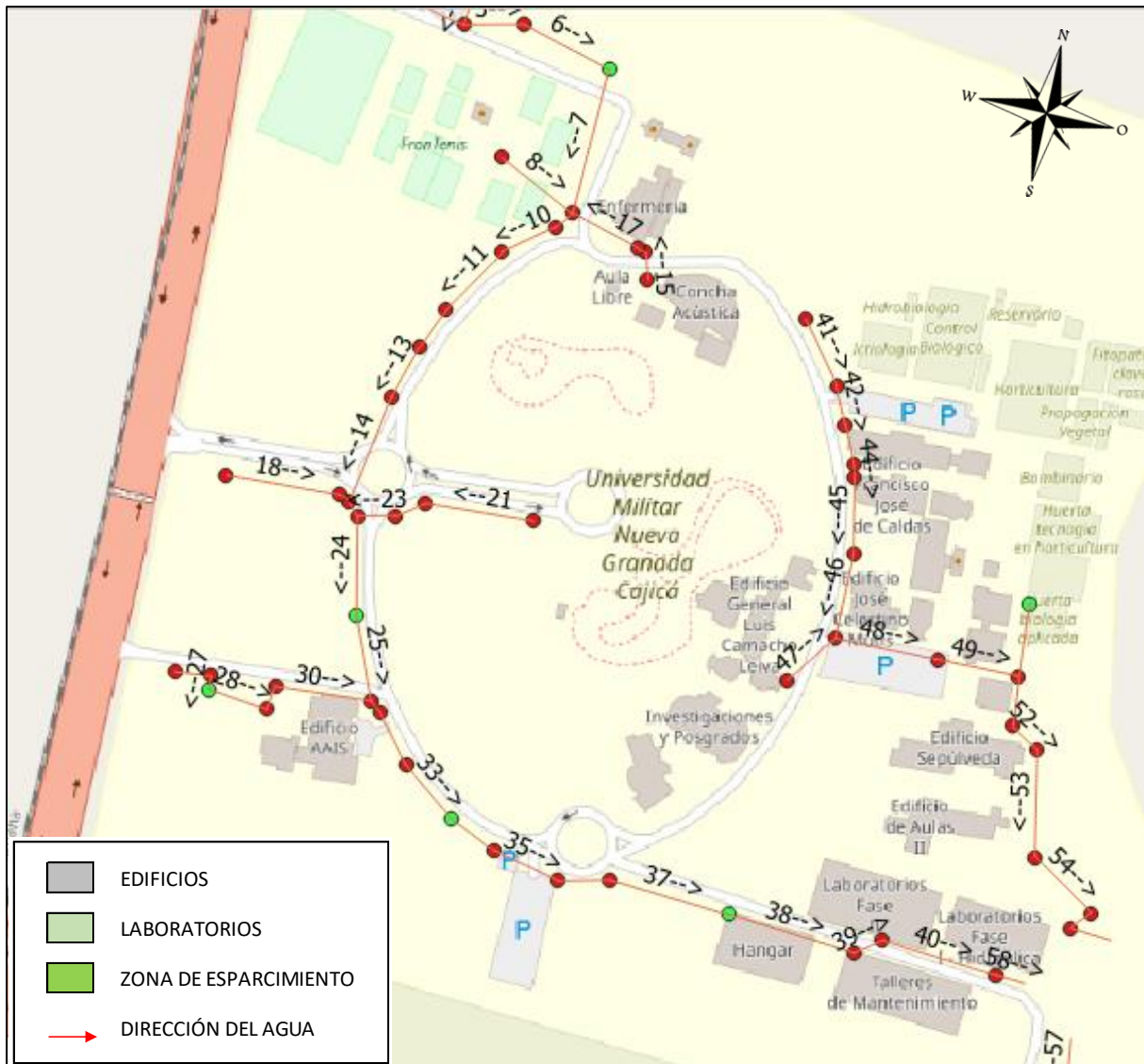


Ilustración 22. Ubicación de pozos, tramos y dirección del agua. Escala 1:5000.

4. Estado de tapas. Cuenta con una geometría puntos y es identificado con el atributo **Tapa** en la cual se caracteriza el estado de la tapa de cada pozo de tipo string.

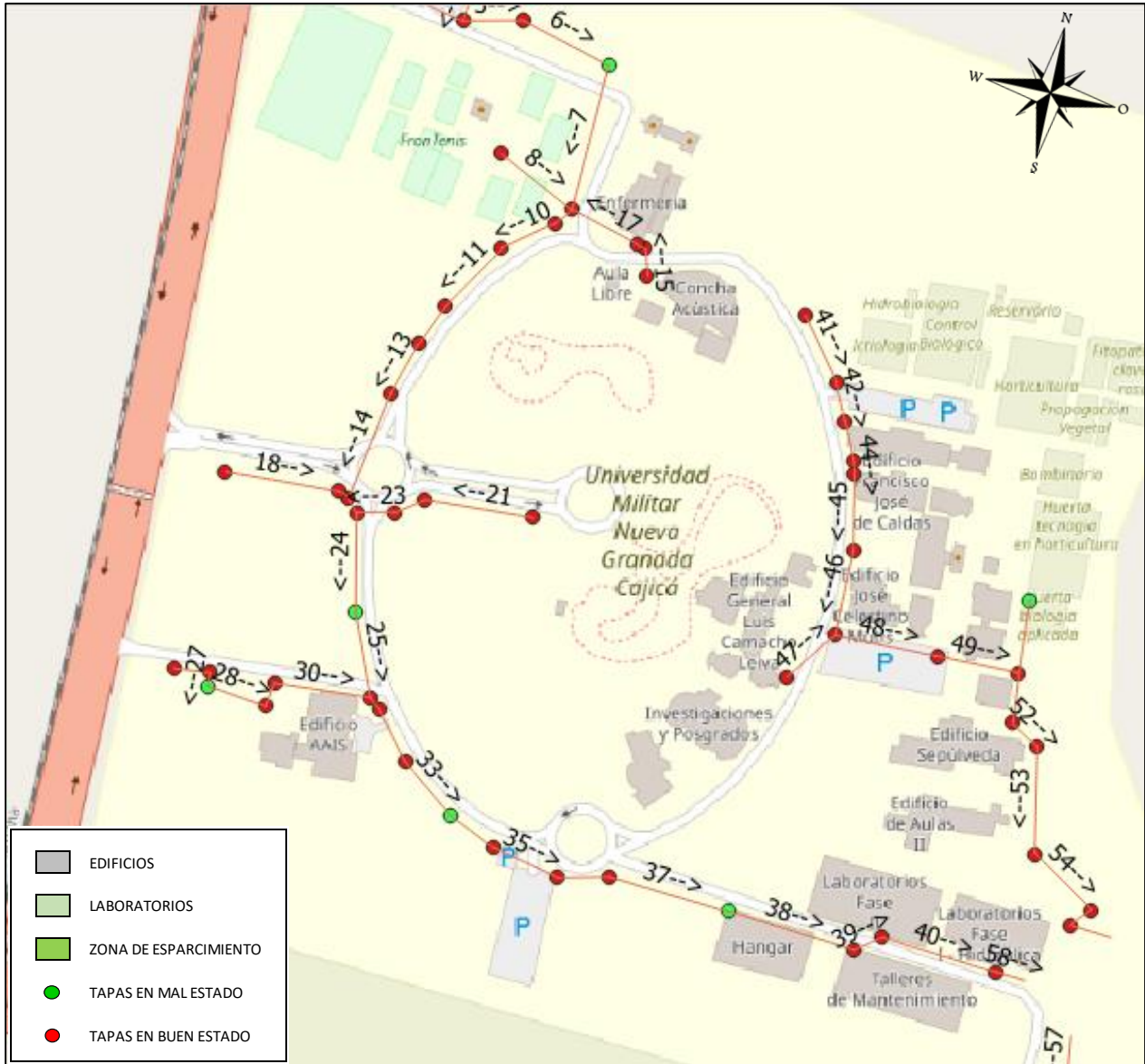


Ilustración 23. Estado de tapas. Escala 1:5000.

5. Fecha de inspección del pozo. Cuenta con una geometría de puntos y es identificado con el atributo **Fecha** en la cual se caracteriza la fecha en la que se realizó la limpieza y la verificación del pozo.



Ilustración 24. Fecha de inspección y limpieza del pozo. Escala 1:10000.

6. Notas. Cuenta con una geometría de puntos y es identificado con el atributo **Notas** en la cual se evidencian anomalías o sugerencias para próximas inspecciones de los pozos y es de tipo string.



Ilustración 25. Notas y etiqueta de color correspondiente a las observaciones. Escala 1:10000.

7. **Objetos.** Cuenta con una geometría de puntos y es identificado con el atributo **Objetos** en el cual se plasman objetos extraños que no hacen parte de la red de aguas residuales y es de tipo string.



Ilustración 26. Objetos encontrados en los pozos, color y etiqueta del objeto correspondiente. Escala 1:5000.

8. A. Lluvia. Cuenta con una geometría de puntos y es identificado con el atributo **A. Lluvia** en el cual se plasman las conexiones de agua lluvia que no hacen parte de esta red y es de tipo string.

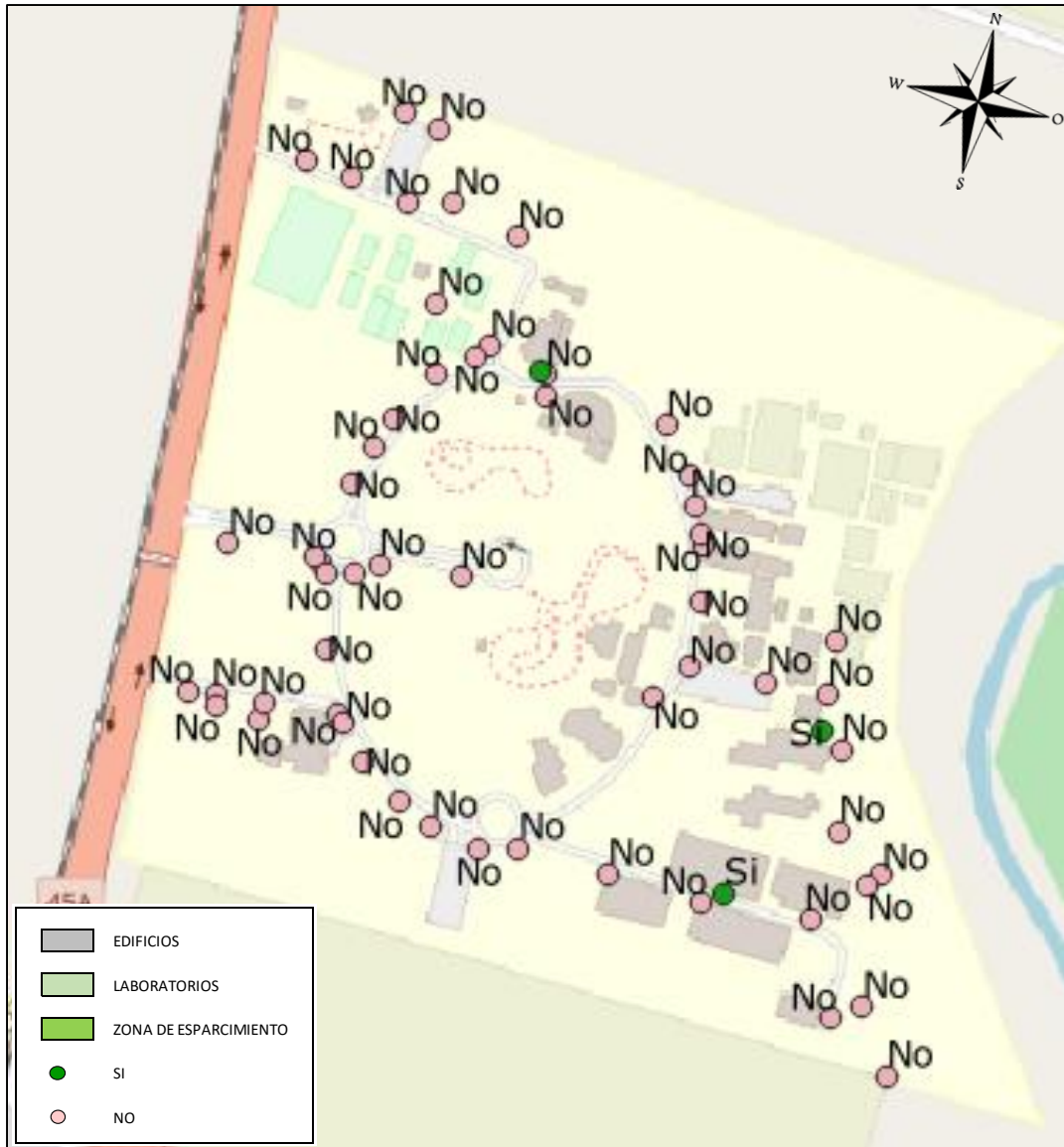


Ilustración 27. A. Lluvia, etiqueta y color. Escala 1:10000.

A partir de la creación de SIG se puede analizar la red de alcantarillado de aguas residuales en la UMNG Sede Cajicá, realizando caracterizaciones y mapas temáticos de acuerdo a la base de datos que se tiene de la información de campo de los pozos de inspección, como se evidencia en las ilustraciones anteriores. Los archivos del Sistema de Información Geográfica se encuentran en el Anexo 4.1 y el manual de su operación y funcionamiento se encuentra en el Anexo 4.2.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir del proceso de verificación y limpieza de los pozos de inspección, se logró hacer la limpieza de todos los pozos a excepción del que no se encontró en terreno, y se tiene un indicio de que existe, pero debido al proceso de crecimiento del campus ha sido necesario que los diferentes contratistas de las obras de la Universidad trasladen o ajusten diferentes elementos de la red, específicamente en la zona de los laboratorios Fase II, que es donde no se encuentra el pozo que además es la unión de los dos colectores principales de la red matriz del campus, hacia la PTAR.

Se evidenció que el estado de la limpieza general de la infraestructura estaba muy deteriorado, pues en algunos pozos se encontraron objetos que era evidente que llevaban mucho tiempo allí y que no deben ser parte de la red de aguas lluvia como por ejemplo palos, piedras, ladrillos, trapos, poli sombra, papel higiénico, tampones, condones, toallas higiénicas, entre otros. Esto es una clara evidencia de que por parte de la comunidad del campus no hay un ejercicio de cultura para evitar que elementos como estos lleguen a la red y de que se requieren este tipo de intervenciones de mantenimiento con una mayor frecuencia.

Por otro lado, los pozos que no se encontraron con facilidad o a simple vista fue porque algunos se cubrieron con escombros y tierra por parte de los contratistas que hacen las obras dentro del campus, lo que conlleva a que afecten y deterioren el estado de las tapas de los pozos, como se mencionó en los resultados estos pozos son los 8, 16, 32B, P54. Además, el pozo 20 no se encontró en campo, pues al revisar la zona se observa que todo se cubrió con escombros y una capa de tierra que no permite con facilidad hacer excavaciones y requiere por tanto de otros elementos como máquinas para realizar su búsqueda, y de personal que tenga conocimiento del traslado de la red, puesto que el mismo no fue registrado en ningún plano.

Dentro de los resultados que se encuentran, se observa que existen algunas afectaciones importantes en la red matriz, específicamente en los pozos que se encuentran al inicio de la red, es decir, en las porterías de la Universidad. En la portería principal fue donde se encontró dentro de la tubería gravilla, palos, piedras, material colmatado, y se evidenció que en el paso del pozo 6 al 7 había un taponamiento el cual tuvo que ser removido con ayuda del contratista y sus trabajadores.

En la portería sur, se encontró que el agua que lleva la red no es del color que presenta el resto de los pozos verificados como se muestra en la Ilustración 14, además de que, en esta zona, solo se cuenta con una edificación que es el edificio de seguridad y consultorio jurídico lo cual indica que hay algo que está haciendo presencia allí, que no hace parte de la red de aguas residuales o incluso que no hace parte de la red de la Universidad. En el caso de la portería norte, se encontró en buenas condiciones la red, pues ésta es una zona donde solo se cuenta con la casa museo y hay pocas conexiones a la red matriz.

De manera general, el estado estructural de la red matriz del campus se encuentra en buenas condiciones y se evidencia en los pozos de inspección que la recolección de las aguas residuales se hace de manera correcta. No obstante, se pudo encontrar que existen 2 conexiones erradas de aguas lluvias a la red de agua residual: una en el pozo 42A, donde se pudo presenciar por la gran cantidad de agua como se registra en la Ilustración 8, y la otra en el pozo 18 donde se pudo identificar que la conexión proviene de un sumidero que capta aguas lluvias y que se encuentra en la entrada del edificio de Laboratorios Fase II.

Todos estos hallazgos de la red deben ser corregidos prontamente para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de recolección y evacuación de las aguas residuales, y tanto la actualización de los planos en AutoCad como la conformación del SIG son herramientas fundamentales para facilitar el mantenimiento y la operación de las redes. Así, es necesario para evitar que a futuro se presenten problemas similares a los de los hallazgos del presente trabajo, que toda las modificaciones e intervenciones en la red se registren por parte de Proyecto Campus y para ello el software libre QGIS y el sistema implementado, poseen la flexibilidad y facilidad necesarias.

Por último, en la medida en que se hagan mayores análisis y de la red estudiada y se cuente con topografía detallada, se propone que las bases de datos de pozos y tramos puedan ser complementadas con los siguientes campos:

Tabla 2. Atributos complementarios propuestos pozos Sistema Información Geográfico

Nombre atributo	Diámetro tubería llegada	Diámetro tubería de salida	Conexiones que llegan al pozo	Cota entrada pozo	Cota salida pozo	Cota rasante pozo	Profundidad del pozo
Características	Diámetro de la tubería de entrada	Diámetro de la tubería de entrada	Número de conexiones que llegan al pozo	Cota clave de entrada en el pozo	Cota clave de salida en el pozo	Cota rasante en la tapa del pozo	Profundidad de cada pozo
Tipo de atributo	String	String	Integer	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal

Tabla 3. Atributos propuestos tramos Sistema Información Geográfico

Nombre atributo	Tramo del pozo	Tramo al pozo	Longitud	Diámetro	Pendiente	Cota inicio tramo	Cota fin tramo
Características	Pozo donde inicia el tramo	Pozo donde termina el tramo	Longitud del tramo	Diámetro de la tubería	Pendiente de la tubería	Cota clave al inicio del tramo	Cota clave al final del tramo
Tipo de atributo	String	String	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo del trabajo logró la creación de un Sistema de Información Geográfica de la red de alcantarillado de aguas residuales dentro de las instalaciones de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá, por medio de una verificación y limpieza en campo, y la validación de los planos récord en AutoCad del año 2010 entregados por Proyectos Campus.

De acuerdo al procedimiento realizado junto con un contratista especializado para la inspección en campo se pudo evidenciar que la red matriz del campus está repartida de manera uniforme para lograr recolectar todas las aguas residuales generadas dentro de la institución, lo cual muestra el interés de las autoridades de la universidad por cumplir con la normativa colombiana vigente teniendo en cuenta la recolección, transporte, tratamiento y vertimiento de dichas en cumplimiento

de los requisitos. Además, se dio origen a la información base para crear un diagnóstico general de la red de aguas residuales de la Sede y así actualizar la información catastral existente; también brindando los datos para la creación del SIG para ayudar en la oportuna operación y mantenimiento a futuro de dichas redes.

Adicionalmente, en el proceso de inspección de campo se hizo apertura de las cajas del restaurante donde se encontró una alta presencia de grasa acumulada formando como una especie de “piedras blancas”, por lo que se sugiere hacer una revisión detallada del manejo de las grasas en esta zona y generar algún control para evitar que esto genere taponamientos en las tuberías, pues con el paso del tiempo estas suelen cristalizarse y formar bloques macizos.

Por otro lado, un caso no muy común se presenta en las porterías que es el inicio de las redes, en donde es necesario hacer un análisis y control de las aguas que están en estos tramos pues se presentan algunas anomalías, en especial en la portería sur donde el color del agua no es concordante con el del resto de la red.

Adicional, en la inspección se quería hacer la identificación de posibles conexiones erradas pues es necesario para poder encontrar las alteraciones que se presentan y los cambios de caudal en la PTAR de la Universidad. Teniendo en cuenta que si se encontraron algunas conexiones es necesario corregirlas lo más pronto posible y en cada nuevo proyecto de expansión del campus, hacer una revisión y validación de los planos que se entregan por parte de los contratistas para saber las conexiones que hacen y evaluar si están en la red correcta tanto para aguas residuales como para aguas lluvias, para tener un control y además mejorar la base de datos que se genera de toda esta información que se recolectó en campo.

Por medio de la creación del SIG de la red de aguas residuales se da lugar a que en futuras inspecciones se generen facilidades para el control, mantenimiento, reparación o extensión de los tramos de la misma. Gracias a la facilidad que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica por medio del análisis de la información que se genera en la base de datos se pueden identificar y analizar diferentes temáticas que ayudan a generar nueva información que sirve para resolver diferentes problemáticas o dudas que se tengan acerca del funcionamiento o de la red matriz de la universidad.

El SIG sirve para recolectar diferente información pues este permite realizar análisis de todo tipo, de acuerdo a las características que se puedan estudiar, por ejemplo, en unas futuras inspecciones se pueden volver a revisar las características que se entregan en la base de datos de este proyecto pero a la vez se podría anexar diámetros de tuberías, cantidad de conexiones que llegan a cada pozo, o pendientes, entre otras características que pueden ayudar a completar la base de datos y a suministrar más mapas temáticos que dan lugar a nuevos análisis de la red de alcantarillado de la Universidad.

Se sugiere hacer de manera periódica limpieza por lo menos dos veces al año, para tener control de la red y de la presencia de objetos no adecuados en ella; esto puede ser una ayuda para la conservación y manejo de la red de aguas residuales. Además, se recomienda que en inspecciones futuras se ofrezcan facilidades para el uso de maquinaria especializada para la búsqueda y reconocimiento del tramo de la red que no se encontró, pues este tramo es un elemento fundamental

ya que es la unión de toda la red matriz y de este punto se dirige a la PTAR donde se hace el tratamiento para su posterior vertimiento.

Por último, este trabajo queda abierto para quienes deseen continuar completando la información de las redes de alcantarillado de la Universidad con el objetivo final de tener un desarrollo automatizado de éstas y que ayude a mejorar su funcionamiento y operación, por lo que se incluye un manual del SIG creado. Finalmente, se sugiere hacer un control de las modificaciones que se hagan a las dos redes de alcantarillado para poder crear un sistema con información real y concisa, que extienda los avances adelantados en el presente trabajo, a las redes de aguas lluvias de la institución.

REFERENCIAS

Amorós Núñez , M., & Sánchez Cruz, Y. (2012). *Gestión de acueducto y alcantarillado mediante sistemas de información geográfica* . Habana, Cuba.

Fazal, S. (2008). *GIS Basics*. New Delhi: New Age International Publishers.

Fornaguera Vázquez, M. (2008). Propuesta de metodología para la operación y mantenimiento de las redes de alcantarillado. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXIX(1).

Geoinnova. (s.f.). Obtenido de <https://geoinnova.org/cursos/que-son-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig/>

IGAC, I. G. (24 de 09 de 2018). *MAGNA-SIRGAS*. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/magna-sirgas>

López Cualla, R. A. (2002). *Elementos de Diseño para Acueducto y Alcantarillado*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Mora, A. M. (2013). *Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de Análisis físico-químico del agua residual PTAR campus Cajica. Caso de estudio: Analizar la calidad de agua vertida en el efluente, por parte de la Universidad Militar Nueva Granada: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/9345>

MVCT. (2016). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Título D*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - República de Colombia.

MVCT. (2017). *Resolución 0330*. Bogotá: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio - República de Colombia.

Ordás, J. A. (2012). *Aplicación de SIG en proyectos de gestión de redes hidráulicas en la República de Sudáfrica*. Habana, Cuba.

Resources, A. (s.f.). *Introducción a SIG*. Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000t000000.htm>

Rubio Barroso, A., & Gutiérrez Puebla, J. (1997). *LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS: ORIGEN Y PERSPECTIVAS*. Madrid: Servicio de Publicaciones Universidad Complutense.

UMNG. (2018). *Informe Información Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Sector Manas*. Cajicá.

ANEXOS

Anexo 1. Planos récord existentes.

- 1.1. Plano récord de las redes de aguas residuales.
- 1.2. Plano récord de las redes de aguas lluvias.

Anexo 2. Formato de anotaciones de campo de inspección de pozos.

Anexo 3. Planos actualizados de las redes de alcantarillado

- 3.1. Plano actualizado de las redes de aguas residuales.
- 3.2. Plano actualizado de cruces de redes de alcantarillado.

Anexo 4. SIG Redes de alcantarillado residual de la UMNG Sede Campus Cajicá

- 4.1. Archivos SIG.
- 4.2. Manual de uso y mantenimiento SIG.