

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA LA ADMINISTRACIÓN Y
GESTIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE BAHÍA SOLANO –
CHOCÓ**



AUTOR:

SERGIO ANTONIO BUITRAGO PUERTA

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

SAIETH BAUDILIO CHAVEZ PABÓN

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C – CUNDINAMARCA, Octubre de 2018

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA LA ADMINISTRACIÓN Y
GESTIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE BAHÍA SOLANO –
CHOCÓ**

SERGIO ANTONIO BUITRAGO PUERTA

Áreas de Investigación

Sistemas de información geográfica - Saneamiento básico

SAIETH BAUDILIO CHAVEZ PABÓN

Asesor Metodológico

SAIETH BAUDILIO CHAVEZ PABÓN

Asesor Técnico

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C - CUNDINAMARCA**

2018

Agradecimientos...

Este trabajo es el resultado del gran esfuerzo y dedicación que no solo yo hice, sino también el mis compañeros de estudio, docentes, familiares, amistades y conocidos, pues con cada uno de los granos de arena que aportaron, se pudo materializar esta meta de mi vida.

Quiero agradecer especialmente a mi esposa Saray Del Carmen Del Castillo Infante, a mi madre Lily Del Carmen Puerta Romero, a mi padre Antonio José Buitrago Alarcón y a mi hermano Danilo José Buitrago Puerta, quienes sin duda alguna, fueron mi soporte y mis ganas de concluir con esta etapa de mi formación profesional, a ellos infinitas gracias.

Tabla de Contenido

Preliminares.....	8
Introducción	8
Planteamiento del Problema.....	10
Justificación.....	11
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
Antecedentes	14
Área de Estudio	18
Metodología	21
Marco Teórico.....	23
Marco normativo	23
Base de datos en ArcGis.....	24
Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	25
Sistemas de acueducto.....	28
Acueducto de Bahía Solano.....	30
Planificación del Sistema de Información Geográfica.....	35
Recolección de la información y necesidades.....	35
Planificación y estructuración de la GeoDataBase	37
Creación de la GeoDataBase.....	49

Tratamiento de la información	49
Tuberías	51
Nodos.....	52
Hidrantes.....	54
Estructuras	55
Estructuras de control	57
Accesorios	58
Depuración de errores	58
Base de datos.....	59
Creación de la GDB en ArcCatalog	59
Alimentación de la GDB en software.....	61
Publicación de la información.....	63
Discusión	67
Beneficios de la implementación del SIG.....	68
Conclusiones	75
Referencias Bibliográficas.....	77
Lista de anexos	79

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Macrolocalización del municipio de Bahía Solano – Chocó. Fuente: Google Earth	19
Ilustración 2. Componentes de un SIG. Fuente: DIMAR/Seminario Litorales 2017	26
Ilustración 3. Perspectiva del software ArcGis. Ej. Visualización de un Modelo Digital de Terreno (TIN). Fuente: http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/terrains/about- displaying-terrain-datasets-in-arcgis.htm	27
Ilustración 4. Funcionamiento básico de un sistema de Acueducto. Fuente: (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2005).....	28
Ilustración 5. Perspectiva de las líneas de aducción. Fuente: Revisión de diseño – Gestiona y Soluciona 2014.....	30
Ilustración 6. Vista del macromedidor de entrada de agua a la PTAP. Fuente: Tomada in situ ..	31
Ilustración 7. Vista de compartimentos de la PTAP del municipio de Bahía Solano. Fuente: Tomada in situ.....	31
Ilustración 8. Perspectiva de la PTAP del municipio de Bahía Solano. Fuente: Manual de operación y mantenimiento – Espina y Delfín 2015.....	32
Ilustración 9. Vista de un tramo de la conducción del municipio de Bahía Solano. Fuente: Tomada in situ.....	33
Ilustración 10. Vista de ventosas en la conducción del municipio de Bahía Solano. Fuente: Tomada in situ.....	33
Ilustración 11. Vista de estructuras del sistema de acueducto del municipio de Bahía Solano. Fuente: Tomada in situ.....	34

Ilustración 12. Visualización del plano del acueducto de Bahía Solano en AutoCAD, entregado por la constructora Espina y Delfín Colombia. Fuente: Autor.	50
Ilustración 13. Representación gráfica de las tuberías. Fuente: Autor.	52
Ilustración 14. Modelo Digital de Terreno sobreponiendo nodos. Fuente: Autor.	53
Ilustración 15. Representación 3D de los nodos a partir de su altura. Fuente: Autor.	53
Ilustración 16. Asignación de atributos a nodos. Fuente: Autor.	54
Ilustración 17. Representación gráfica de los hidrantes. Fuente: Autor.	55
Ilustración 18. Representación gráfica de la PTAP y tanques de almacenamiento indicando las áreas de cada uno. Fuente: Autor.	56
Ilustración 19. Representación gráfica de las bocatomas. Fuente: Autor.	56
Ilustración 20. Representación gráfica de las válvulas. Fuente: Autor.	57
Ilustración 21. Creación de FeatureDataSet en ArcCatalog para la GeoDataBase del acueducto de Bahía Solano. Fuente: Autor.	60
Ilustración 22. Creación de dominios en ArcCatalog para la GeoDataBase del acueducto de Bahía Solano. Fuente: Autor.	60
Ilustración 23. Creación de FeatureClass y atributos por cada objeto en ArcCatalog para la GeoDataBase del acueducto de Bahía Solano. Fuente: Autor.	61
Ilustración 24. Cargue de información de una FeatureClass a partir de un Shapefile previamente creado y llenado. Fuente: Autor.	62
Ilustración 25. Mapa vista general del Acueducto de Bahía Solano. Fuente Autor	64
Ilustración 26. Mapa vista Accesorio Acueducto de Bahía Solano. Fuente Autor	65
Ilustración 27. Mapa vista Válvulas acueducto de Bahía Solano. Fuente Autor	66

Preliminares

Introducción

El saneamiento básico ha sido una necesidad fundamental desde el inicio de las civilizaciones, cuando las poblaciones en desarrollo se asentaban en las orillas de los ríos para garantizar el consumo humano, de animales, la irrigación de cultivos, entre otras actividades, principalmente en épocas de sequía o de escasas lluvias (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014); con el desmedido crecimiento poblacional en el mundo, la disponibilidad del agua potable para el ser humano sigue siendo una necesidad de primera categoría, pero actualmente con mayores exigencias técnicas a causa del bienestar y la salud de las poblaciones.

La calidad del agua, la disponibilidad del servicio, las presiones aceptables, el uso medido sin desperdicios, entre otros, son aspectos importantes para considerar como óptimo, el funcionamiento de un sistema de acueducto de una población, los cuales dependen directamente de un buen diseño, óptima y eficiente construcción, y una adecuada administración, tanto del recurso como de la infraestructura de la red y los suscriptores.

En Colombia, las poblaciones más vulnerables (generalmente las de más difícil acceso o las afectadas por la guerra) son las que, en la actualidad, y a pesar del desarrollo urbanístico y tecnológico del país, presentan mayores falencias en el servicio de agua potable, precisamente por la dificultad que acarrea realizar proyectos en tales zonas o por falta de recursos del estado,

trayendo esto incomodidad, insatisfacción, enfermedades y retroceso en el desarrollo de la población.

El municipio de Bahía Solano en el departamento del Chocó, debido a su ubicación geográfica conveniente para actividades de narcotráfico, ha sido afectada por la guerra y menos intervenida por el estado, posiblemente debido al inminente riesgo a causa de encontrarse en una zona de alto riesgo sísmico, lo que sustenta el hecho de que la población no cuente con un sistema de acueducto eficiente para brindar disponibilidad y bienestar completo de sus suscriptores. El acueducto de este municipio fue repotenciado y puesto en operación en el año 2015, no obstante, el servicio continúa presentado falencias en cuanto a disponibilidad y bajas presiones de agua, lo cual no garantiza el bienestar del usuario.

Debido a lo anterior, el desarrollo de este trabajo busca organizar la información existente referente al acueducto del municipio en un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permitirá un mejor manejo, gestión y toma de decisiones a los administradores del mismo.

Planteamiento del Problema

En el municipio Bahía Solano – Chocó, en la actualidad, a pesar de contar con un sistema de acueducto relativamente nuevo (puesto en funcionamiento en el año 2015) y de obedecer a una zona bañada por diferentes fuentes de agua (gran cantidad de quebradas y arroyos alrededor, grandes índices de lluvia en gran parte del año, colindante con el océano pacífico) se vivencian falencias en el servicio de agua potable ofrecido a los suscriptores, situación que obedece a dos factores primordialmente, la mala gestión y el mal uso del servicio por parte de la población.

La toma de decisiones en el proceso de desarrollo y mejoramiento de un sistema de acueducto, resulta indispensable, pues, aparte de involucrar grandes cantidades de recursos, es muy importante para el bienestar de los usuarios, y por ello se debe optimizar su gestión con ayuda de las herramientas tecnológicas.

Debido a los dos aspectos mencionados anteriormente, se hace necesario implementar una herramienta tecnológica que brinde mejoras en la tarea de administrar el sistema de acueducto y la toma de decisiones en torno a él, por parte de los gestores del proyecto, autoridades locales y administradores del proyecto.

Justificación

El municipio de Bahía Solano en el Departamento de Chocó, de acuerdo a resultados y proyecciones del DANE, cuenta una población total para el 30 de julio del año 2017 de 9327 habitantes (DANE, 2005).

Cuenta con un sistema de acueducto repotenciado en el año 2015, proyecto financiado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, ejecutado por el empresa prestadora de servicios públicos de Pereira “Aguas y Aguas”; a pesar que obedece a un sistema relativamente nuevo, el municipio padece problemas relacionados con el acueducto tales como, bajas presiones, intermitencia en el servicio, inexistencia de micromedición, entre otros, lo cual se ve reflejado en la intermitencia y falencias del servicio, situación que está relacionada con el mal uso de sistema por parte de la población y en la mala administración que la empresa administradora del mismo, le ha dado.

La duración de toda obra de ingeniería civil depende en gran medida del mantenimiento y de su efectiva gestión; en la actualidad la empresa administradora del servicio de acueducto cuenta con manuales de operación y mantenimiento, además cuenta con la información espacial del mismo; no obstante, con miras a optimizar la labor de mantenimiento, operación, actualizaciones y futuras mejoras, se propone una herramienta que integra toda la información del sistema en una herramienta fundamentada en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que brinde bondades de:

- Presentación de la información
- Consultas por localización y atributos
- Organización de la información
- Fácil actualización de datos
- Fácil integración de datos con software especializado
- Seguridad de la información

Como un aspecto importante para justificar la implementación del Sistema de Información Geográfica pretendido en este trabajo, se encuentra lo ordenado en el artículo 8° de la Resolución 0330 del 08 de junio de 2017 *“Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”*, proferida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en el cual se refiere a la necesidad de contar un, denominado técnicamente, “CATASTRO DE REDES” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). La creación de esta herramienta, permitirá la promoción de proyectos de mejora y repotenciación del sistema de acueducto de Bahía Solano, facilitando la gestión e identificación de necesidades a las entidades competentes.

Objetivo General

Desarrollar una herramienta basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la administración y gestión del sistema de acueducto en el municipio de Bahía Solano – Chocó.

Objetivos Específicos

1. Planear la estructura de un Sistema de Información Geográfica basada en las necesidades actuales y a futuro del sistema de acueducto de Bahía Solano – Chocó, como herramienta de gestión para sus administradores.
2. Crear el Sistema de Información Geográfica planeado con ayuda del software ArcGis con sus extensiones ArcCatalog y ArcMap, a partir de la información espacial existente del Acueducto de Bahía Solano – Chocó.
3. Crear una plantilla base para la publicación de mapas temáticos y planos a partir de la herramienta creada y realizar un mapa del sistema en general, como demostración de las bondades del sistema.
4. Proponer ante las autoridades locales y el administrador del acueducto del Bahía Solano – Chocó, la implementación del sistema de gestión creado.

Antecedentes

Teniendo en cuenta que el área de estudio obedece a un municipio relativamente pequeño (con una población menor a los 10.000 habitantes para el 2017 acuerdo censo del DANE), y por ser una zona afectada por el conflicto armado en Colombia, se ha podido observar grandes falencias en cuanto a información técnica disponible; las administraciones municipales históricas tampoco han contado con una gestión de archivo muy eficiente, pues durante los acercamientos realizados a la Alcaldía Municipal, no se pudo obtener información histórica sustentada, más que declaraciones verbales por parte de sus funcionarios.

En conversaciones establecidas con la población, se determinó que antes de 1978 (fecha en que fueron puestas en funcionamiento algunos elementos para el abastecimiento de agua potable en la población) la captación y el consumo de agua potable se realizaba mediante captación de aguas lluvias, actividad muy factible en la región debido a que obedece a una de las zonas con mayores índices de pluviosidad del país (Guzmán, Ruíz, & Cadena, 2014), y directamente desde las fuentes hídricas que rodean al municipio, las cuales presenta buena calidad debido a la baja o nula intervención antrópica en el departamento, por consiguiente, aguas arriba.

A partir de 1978, en cabeza de las autoridades locales, construyeron unas obras enfocadas al saneamiento básico del municipio (de las cuales no se conserva un registro histórico contundente), que contemplaban, bocatoma, desarenador, tanque de almacenamiento y red de distribución, priorizando el retiro de partículas sedimentables de gran tamaño, dejando de lado un tratamiento más a fondo; no obstante, la infraestructura no era suficiente para brindar

abastecimiento a toda la población ni presiones óptimas que garantizaran la disponibilidad y el bienestar de los suscriptores, quienes debían acudir a métodos primitivos.

Teniendo en cuenta las disposiciones del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS, el plan de inversiones del proyecto “Todos por el pacífico” y con miras a brindar mayores condiciones de bienestar en cuanto a saneamiento básico, principalmente a los sectores del municipio que han sido objeto de crecimiento urbano y aquellos que no fueron incorporados en las obras anteriormente puestas en marcha, en 2015 fueron puestas en operación unas obras de mantenimiento, repotenciación y ampliación del sistema de acueducto, trabajos que contemplaron: adecuación de bocatoma antigua y una bocatoma nueva, con sus respectivas aducciones; extensión y agrandamiento de la red de acueducto, no solo en cuanto a cobertura sino también a capacidades con incremento de diámetros; implementación de una PTAP¹ de filtros de tasa declinante y lavado mutuo (ESPINA Y DELFIN COLOMBIA, 2015), adición de un tanque de almacenamiento de mayor capacidad; e implementación de estructuras de mantenimiento y control, de diferente tipología, tales como válvulas, ventosas, macromedidores, hidrantes, puntos de muestreo del sistema, entre otros, trabajos que han sido de gran importancia e impacto positivo para la población.

No obstante lo anterior, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, el desarrollo urbanístico, las épocas de sequía donde se presentan bajos caudales y bajos índices de lluvia, que desde hace un tiempo han sido más severas y duraderas respecto de años anteriores debido a fenómenos adversos como el Fenómeno de El Niño o el Cambio Climático (Paz Velásquez & Vargas Marín, 2013), entre otros factores de carácter administrativo, político o humano, en la

¹ Planta de Tratamiento de Agua Potable

actualidad, el sistema de acueducto² del municipio, continúa presentando falencias en cuanto a disponibilidad, principalmente por fugas, conexiones ilegales, vandalismo, daños de la estructura, etc., afectando el servicio ofrecido.

Trabajos relacionados

Hernández, 2002, presentó un proyecto para la implantación, desarrollo y gestión de un Sistema de Información Geográfico, aplicado a la Empresa de Servicios Públicos Triple A, gestora del Sistema de Acueducto de la ciudad de Barranquilla; en el desarrollo del mismo, permitió conocer la esquematización, ventajas, funcionamiento, implantación, mantenimiento y normalización del SIG (Hernández, 2002).

Martínez, 2010, basado en la metodología de trabajo propuesta por Tomlinson, 2007, integra un modelo de datos geográfico enfocado a la gestión del acueducto operado por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP, operada por Aguas Kapital Bogotá S.A. ESP, a partir de sistemas gerenciales y modelo de gestión, para dar como resultado, un modelo lógico de datos geográficos que forma parte de un SIG, orientado a la medición de indicadores de gestión, representados mediante mapas (Martínez Ospina, 2010).

Díaz y Mercado, 2016, realizaron un diagnóstico de la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de San Juan de Nepomuceno (Bolívar), a partir de la implementación de un Sistema de Información Geográfico y el uso de la herramienta WaterGEMS V8I for ArcMap;

² Entendiéndose como sistema de acueducto a la infraestructura comprendida entre la captación y la red de distribución.

el trabajo permitió determinar el estado y comportamiento de la red de distribución a partir del análisis hidráulico y geográfico, generado con ayuda de software especializado en hidráulica de integración con software especializado en manejo de información geográfica (Díaz Morales & Mercado Yepes, 2016).

Amorós y Sánchez, 2012, realizaron un análisis de la utilización de los SIG en las empresas administradoras de sistemas gestores de agua, su funcionamiento, metodología, ventajas, limitaciones, entre otros aspectos, haciendo énfasis en las problemáticas presentadas en la gestión de las redes de abastecimiento de agua y saneamiento; así mismo, realizan una descripción de la implementación de los Sistemas de Información Geográfica en la Empresa de Aguas de La Habana, Cuba (Amorós Núñez & Sánchez Cruz, 2012).

Fragoso, Ruiz y Juárez, 2013, describieron un proyecto basado en Sistemas de Información Geográfica utilizado para la administración de información espacial y no espacial, relacionada con la operación de la red de distribución del sistema de acueducto de las poblaciones de Tehuacán y Puebla (México), con el cual se buscó entregar al usuario, una herramienta que permitiría visualizar y efectuar operaciones con información espacial y no espacial, gestionada mediante un software especializado en manejo de información geográfica; al tiempo, se desarrollaron cálculos hidráulicos con ayuda del software Epanet (Fragoso Sandoval, Ruiz Zurvia-Flores, & Juárez León, 2013).

Área de Estudio

Este trabajo está enfocado en el sistema de acueducto del municipio de Bahía Solano (Ciudad Mutis), en el departamento del Chocó; población costera bañada por el Océano Pacífico y rodeada por extensas y altas zonas montañosas colmadas de densa vegetación y fauna.

Como posición de referencia se encuentra la siguiente: $77^{\circ}24'18,752''W$ $6^{\circ}13'35,615''N$ referidas al sistema de coordenadas geográficas WGS – 84; colinda al norte con el Océano Pacífico, el Golfo de Cupíca, Juradó y Punta Arditá (frontera con Panamá); al sur, con el Parque Natural Nacional “Ensenada de Utría” y Nuquí; al este, una cadena extensa de montañas, siendo la capital más cercana, Medellín – Antioquia; y al oeste, el Océano Pacífico.

No cuenta con vías intermunicipales, más que las vías terciarias contenidas dentro del perímetro urbano, lo cual implica que el acceso al municipio es únicamente mediante vía marítima (buques de carga y pasajeros) y aérea (avionetas destinadas al transporte de pasajeros y carga menor).

A continuación, una macrolocalización del municipio de Bahía Solano Chocó:



Ilustración 1. Macrolocalización del municipio de Bahía Solano – Chocó. Fuente: Google Earth

Por su condición geográfica influenciada por la Zona de Convergencia Intertropical, el Chocó presenta un clima con altos índices de humedad y precipitación, siendo característico la predominancia de dos épocas durante el año, entre diciembre y abril, julio y agosto, se consideran épocas secas, mientras que mayo, junio y entre septiembre y noviembre, son considerados meses de lluvia, siendo esto consecuente el clima predominante en la franja tropical (entre las latitudes 30° S y 30° N), donde la inclinación de la tierra y el movimiento de traslación, consiguen dirigir el clima de la zona (Guzmán, Ruíz, & Cadena, 2014).

La zona se encuentra rodeada por numerosos afluentes hídricos, consideradas como arroyos, riachuelos y quebradas, que soportan el abastecimiento de agua del municipio; no

obstante, su caudal depende de la época del año, ya que en ocasiones el caudal es mínimo y el municipio se ve obligado a enfrentar severos racionamientos, mientras que en otras, los caudales son altos. La mayor parte del año (exceptuando época de sequía), el caudal de los cuerpos de agua, permite realizar la captación autorizada por CORPOCHOCÓ³.

³ Corporación Autónoma del Chocó, autoridad ambiental del departamento.

Metodología

El trabajo se compone de cuatro tareas principales, de las cuales, de forma general, se explica su desarrollo:

1. **Recolección de la información:** Esta tarea contempla la consecución de información secundaria relacionada con el acueducto del municipio, tales como: manuales de operación, documentos contractuales, actas de reunión, etc., además de información vectorial georreferenciada. Esta tarea es realizada con el apoyo de la administración local, la empresa de servicios públicos del municipio y demás actores del sistema.
2. **Planificación y diseño del Sistema de Información Geográfica (SIG),** tarea que consiste en planear: la conformación del SIG; la base de datos y su estructura; el funcionamiento e implantación del SIG. Esta tarea se realiza a partir de: las necesidades actuales y a futuro del acueducto, identificadas en la consulta de la información de la recolección de la información; las buenas prácticas para la planificación y estructuración de bases de datos e información geográfica; modelos de bases de datos y estructuración de información geográfica encontrados en bibliografía.
3. **Creación del Sistema de Información Geográfica (SIG):** En la extensión de ArcGis, ArcCatalog, se crea la GeoDataBase planeada y diseñada anteriormente, con la estructura, dominios, tipos de objeto, y demás características, previamente establecidos. Seguidamente se migra la información vectorial georreferenciada, a un formato compatible con el

software especializado en manejo de información espacial (ArcGis para este caso) y de forma simultánea, se ingresan los atributos a cada objeto. Esta tarea también contempla la depuración de información no deseada y corrección de errores de trazado.

4. La creación de la plantilla para publicación de la información y el mapa temático del sistema en general, es realizado con la extensión de ArcGis, ArcMap, con ayuda de la herramienta Layout; para esta tarea es requerido

5. Divulgación de metodología y resultados: Luego de finalizado el trabajo, se entregará en formato digital a los involucrados del sistema (Alcaldía Municipal, Empresa administradora del sistema de acueducto, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, empresa consultora), la metodología propuesta y los resultados obtenidos, a fin de que evalúen y de considerarlo pertinente, sea implementado.

Eventualmente y en caso de ser requerido por cualquiera de los actores del sistema, se realizaría una presentación del proyecto para socializar su desarrollo y despejar posibles dudas.

Marco Teórico

En este apartado se presenta la información técnica de las herramientas a utilizar y los aspectos a abordar en el desarrollo del trabajo, tratando conceptos propios relacionados con, Sistemas de Información Geográfica, sistemas de acueducto, bases de datos, entre otros; así mismo se presenta la normatividad vigente relacionada con la gestión de los sistemas de acueducto.

Marco normativo

El Decreto No. 1272 del 28 de julio de 2017, proferido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se refiere a los esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas de difícil acceso (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

El numeral 1.4.1. “*Sistemas de Información Geográfica*”, del capítulo 1° “*Aspectos Generales de los Sistemas de Acueducto*”, del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, en su Título B, se refiere a unos aspectos a tener en cuenta para la utilización de los SIGs, dentro del diseño y operación de los sistemas de acueducto (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El artículo 8° de la Resolución 0330 del 08 de junio de 2017 “*Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009*”, proferida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se refiere a la necesidad de contar un, denominado técnicamente, “CATASTRO DE REDES” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). Este catastro de redes sería gestionado mediante un software especializado en manejo de información espacial.

Base de datos en ArcGis

Una GeoDataBase, en su sentido más amplio, obedece a una colección de datos geográficos relacionados con información alfanumérica, gestionada por mediante un motor de base de datos (Access, Oracle, SQL Server, etc.), que funciona como la estructura nativa para ArcGis, utilizada como formato principal para la gestión de la información almacenada. Esta puede tener diferentes tamaños y cantidades de gestores y/o visualizadores (ESRI, 2016).

Teniendo en cuenta que las bases de datos gestionadas en ArcGis (GeoDataBase) obedecen a modelos relacional de objetos, resulta necesario incursionar en su definición, funcionamiento y estructuración (ESRI, 2016). Una base de datos basada en el modelo relacional de objetos obedece a una estructuración de información almacenada en objetos, los cuales se refieren a entidades que representan el comportamiento de un elemento en la realidad; estas a su vez, tienen tipos⁴ (*Object types*) que dependerán de la naturaleza del elemento en la realidad y al tiempo, son

⁴ En ArcGis, denominados como FeautreClass

organizados en colecciones⁵ (*Collection types*). Los objetos creados van acompañados de información alfanumérica denominada “atributos”, que amplían la información relacionada con el objetos; estos atributos se encuentran generalmente organizados en tablas. Dentro de las ventajas de las Bases de Datos orientadas al modelo relacional de objetos, se encuentran: la mayor capacidad de modelado; el lenguaje de consulta más expresivo; la ampliabilidad en cuanto a los datos que se pueden construir; entre otras (Alberca Manzaneque & Galvez Díaz-Tendero, 2007).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Es un sistema que integra un componente de hardware y software con procedimientos preestablecidos para la gestión, manipulación, análisis y publicación de datos referenciados espacialmente, con el fin de decidir, planificar y ordenar sobre alguna problemática específica (Zarzosa & Andrés, 2004). El objetivo principal de un SIG, es resolver interrogantes relacionados con información espacial y permitir a partir de esta, encontrar respuestas de una problemática y tomar decisiones a fines (Espinoza, 2005). Adicionalmente, se suplen otras necesidades como lo son: análisis de información espacial y publicación de la misma.

Los sistemas de información geográfica requieren de una interfaz de usuario para la manipulación de la información, un motor de base de datos para la organización y gestión de datos, maquinas físicas para el almacenamiento y procesamiento de la información; es opcional el uso de redes para el uso compartido de información, multisesiones y publicación en Web.

⁵ En ArcGis, denominados FeautreDataSet

El trabajo de campo, la recolección, selección, filtración, depuración y organización de la información, es una tarea de los operadores del SIG, no menos importante que las demás, pues se puede considerar como el insumo que brindará los resultados, y del cual dependerá la precisión que se pueda alcanzar con la herramienta.



Ilustración 2. Componentes de un SIG. Fuente: DIMAR/Seminario Litorales 2017

En general, el óptimo funcionamiento de un SIG, dependerá principalmente de su mentor y de su planeamiento, lo cual involucraría como aspecto más importante, la infraestructura de datos espaciales (IDE), lo cual dictará el uso del sistema el resto de su vida útil (De Miguel, 1992).

Dentro de las principales aplicaciones de los SIG, se encuentra la administración, planeación y ordenamiento territorial, investigación científica, gestión de transporte, sectorización por atributos, fotointerpretación a partir de imágenes digitales y análisis de sus espectros electromagnéticos, entre otras aplicaciones.

Como principales marcas de software gestor de SIG, se encuentra ArcGis, Qgis, Ilwis, GbSig, Gras, entre otros. A pesar de resultar un sistema a la vanguardia en todas las áreas del conocimiento, es muy frágil su uso, y de no realizarse correctamente su planeamiento y desarrollo, puede traer pérdidas de gran magnitud principalmente económicas, lo cual se convierte en una de las principales desventajas.

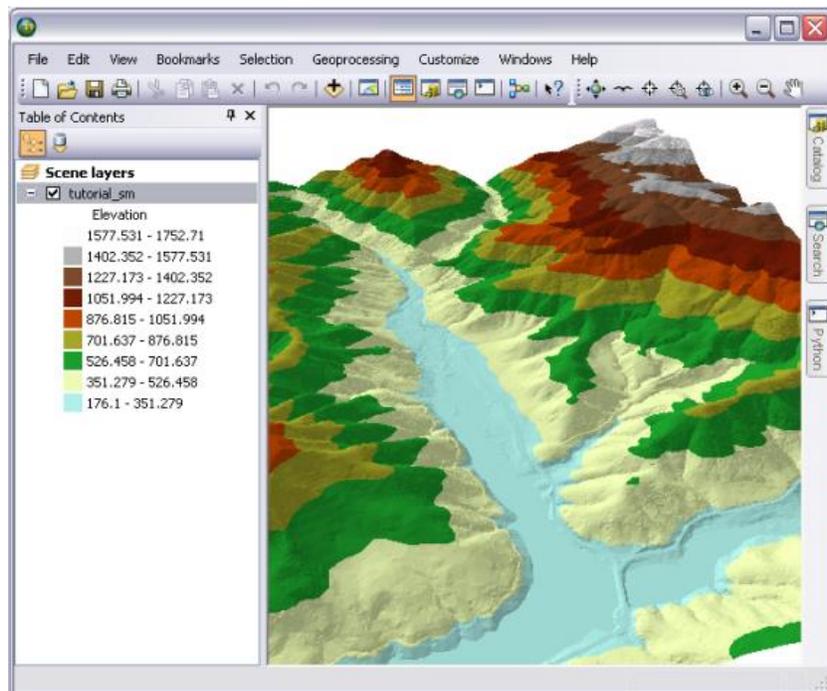


Ilustración 3. Perspectiva del software ArcGis. Ej. Visualización de un Modelo Digital de Terreno (TIN). Fuente: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/terrains/about-displaying-terrain-datasets-in-arcgis.htm>

Sistemas de acueducto

Etimológicamente, la palabra acueducto significa “Conducción de agua”, lo que brinda un preámbulo bastante cercano a la función de un sistema de acueducto; estos sistemas tienen como función básica, captar el agua desde una fuente hídrica natural, transportarla hasta una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), tratarla física y químicamente, almacenarla en tanques de almacenamiento, conducirla hasta una red de distribución y distribuirla a los suscriptores del servicio de agua potable en una población, traduciendo todo este proceso, se puede consolidar su definición de una forma sencilla, en brindar a una población agua debidamente tratada (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2005).

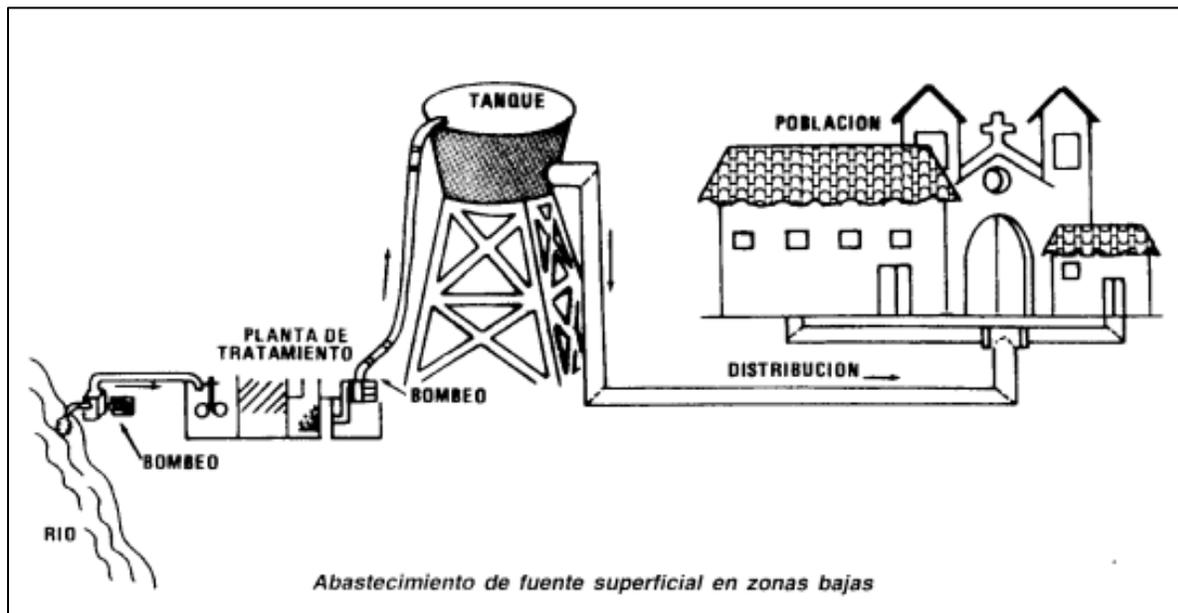


Ilustración 4. Funcionamiento básico de un sistema de Acueducto. Fuente: (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2005)

En Colombia, el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico (RAS) proferido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través de la Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, en su título “A”, detalla los aspectos generales de los sistemas de acueducto, brindando herramientas suficientes para proyectar, diseñar, construir, operar, mantener y gestionar estos sistemas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Acueducto de Bahía Solano

El sistema de acueducto de Bahía Solano obedece al resultado de una infraestructura que ha venido siendo repotenciada conforme las necesidades del municipio; en la actualidad, está compuesto por dos bocatomas (Quebrada Brava y Quebrada Seca) ubicadas a 75 m.s.n.m aproximadamente, ambas con sus respectivos desarenadores y aducciones (en tubería de PEAD de 8 pulgadas) hasta un punto de intersección anterior a la PTAP, donde se da lugar a una única aducción (tubería de PVC de 8 pulgadas). Ver ilustración 6.

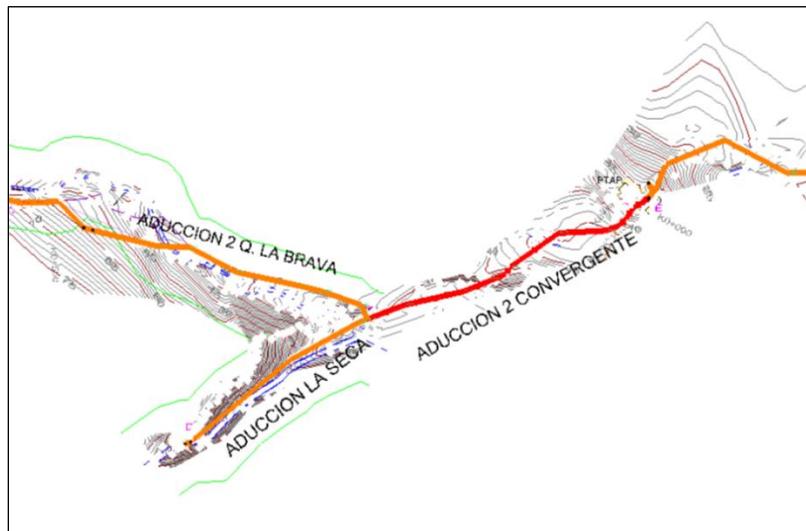


Ilustración 5. Perspectiva de las líneas de aducción. Fuente: Revisión de diseño – Gestiona y Soluciona 2014

Cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable de tipo FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO, la cual presenta los siguientes procesos: Macromedición de ingreso; filtrado con filtros de antracita y arena; desinfección con cloro; almacenamiento con tanques de concreto reforzado; y macromedición de salida. Ver ilustraciones 7, 8 y 9.



Ilustración 6. Vista del macromedidor de entrada de agua a la PTAP. Fuente: Tomada in situ



Ilustración 7. Vista de compartimentos de la PTAP del municipio de Bahía Solano.

Fuente: Tomada in situ

A continuación se presenta una perspectiva general de la PTAP:

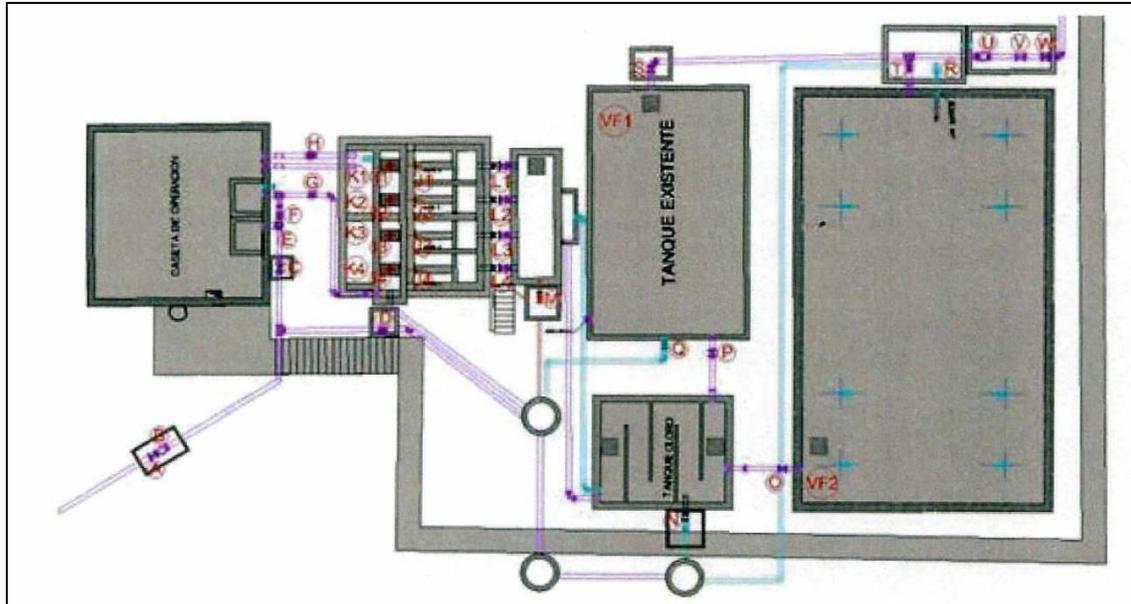


Ilustración 8. Perspectiva de la PTAP del municipio de Bahía Solano. Fuente: Manual de operación y mantenimiento – Espina y Delfín 2015.

Cuenta con dos tuberías de conducción en PEAD y PVC de 08 pulgadas, con sus respectivas estructuras de control a lo largo de su extensión y conecta con la red de acueducto del municipio. Ver ilustración 10, 11 y 12.

Antes de llegar a la red de acueducto, la aducción presenta conexiones ilegales, no identificadas, hecho que afecta el correcto funcionamiento del sistema; este aspecto será tocado en posteriores capítulos.



Ilustración 9. Vista de un tramo de la conducción del municipio de Bahía Solano.

Fuente: Tomada in situ



Ilustración 10. Vista de ventosas en la conducción del municipio de Bahía Solano.

Fuente: Tomada in situ



Ilustración 11. Vista de estructuras del sistema de acueducto del municipio de Bahía Solano.

Fuente: Tomada in situ

Planificación del Sistema de Información Geográfica

En el presente capítulo se presenta la planificación y diseño del Sistema de Información Geográfica para el municipio de Bahía Solano - Chocó, enfocado a la administración y gestión del sistema de acueducto.

Recolección de la información y necesidades

Este trabajo se basó en la información disponible del sistema de acueducto del municipio, limitándose a utilizar la información entregada por la autoridad municipal (Alcaldía de Bahía Solano) y los administradores del sistema (Espina y Delfín Colombia, y Aguas y Aguas de Pereira).

Esta tarea se efectuó mediante intercambio de comunicaciones oficiales y reuniones con los mencionados, con el fin de precisar la información necesaria, la cual fue entregada mediante medios digitales.

El 26 de mayo de 2017, se realizó una reunión con el gerente del proyecto con el cual el sistema de acueducto, estaba siendo repotenciado y mejorado; durante su desarrollo, se establecieron aspectos de gran relevancia para el desarrollo del presente trabajo y se realizó una salida de campo en compañía de la interventoría, la constructora y el fontanero. Esta visita quedó consignada en el acta de reunión No. 001 del 26 de mayo de 2017, la cual hace parte se encontrará dentro de los anexos del mismo.

La información secundaria recolectada se presenta a continuación con sus respectivos formatos:

- Topografía en isolíneas del municipio en formato .dwg⁶ (AutoCAD).
- Batimetría en isolíneas de los afluentes que cruzan por el municipio en formato .dwg (AutoCAD).
- Plano georreferenciado de la red de acueducto, conducción, PTAP, aducción y bocatomas en formato .dwg. Este contiene datos de diámetros, longitudes, material, y demás información técnica de la topología del sistema.
- Plano georreferenciado del manzaneó catastral en formato .dwg
- Antecedentes del proyecto en formato .docx
- Documento denominado “Revisión de los diseños para la ejecución de las obras de optimización y ampliación de los sistemas de acueducto y alcantarillado de 4 municipios en el departamento de chocó, Colombia.” en formato .pdf
- Manual de operación y mantenimiento del sistema de acueducto de Bahía Solano en formato .pdf

De igual forma, durante visitas de campo fueron tomadas, fotografías de algunas de las estructuras del sistema. La información recolectada permitió establecer con claridad, los atributos que alimentaron los objetos del Sistema de Información Geográfica, para suplir las necesidades del sistema en la actualidad.

⁶ Formato de dibujos creados en el software AutoCAD.

Planificación y estructuración de la GeoDataBase

Teniendo en cuenta el estado actual del sistema de acueducto del municipio, las necesidades a futuro del sistema, la información recolectada y la bibliografía relacionada, se diseñó una estructura de base de datos, indicando los respectivos atributos y dominios en los casos requeridos.

Se tuvo en cuenta, además de las consideraciones antes mencionadas, las estructuras, accesorios, equipos, y demás aspectos que frecuentemente son utilizados en los sistemas de acueducto, aun cuando en la actualidad, no sean objetos utilizados en el caso de estudio.

Dominios: *“Son reglas que describen los valores legales de un tipo de campo. Proporcionan un método para forzar la integridad de los datos. Un dominio es una declaración de valores de atributo aceptables. Los dominios de atributo se utilizan para limitar los valores permitidos en cualquier atributo concreto de una tabla o clase de entidad.”* (ESRI, 2018). Los dominios son valores asignados a un atributo, de modo que el usuario editor de información, se vea restringido al uso de las opciones disponibles en una lista desplegable. Su objetivo es mantener “limpia” la base de datos, minimizando errores de inserción de información como errores ortográficos, lo cual afecta de forma negativa la eficiencia de las consultas y a su vez, del Sistema de Información Geográfica.

La planificación de los dominios de la base de datos del presente trabajo, se basó en las características principales de los sistemas de acueducto convencionales y en las necesidades actuales y a futuro del sistema de acueducto de Bahía Solano.

A continuación se presenta la definición de los dominios:

NOMBRE DOMINIO	TIPO DE DOMINIO	VALORES DE CÓDIGOS	DESCRIPCIÓN CÓDIGOS	DESCRIPCIÓN
Material	Texto	PVC	Policloruro de vinilo	Material en que está construido el elemento
		PEAD	Polietileno de Alta Densidad	
		Hierro	Hierro	
		Hierro Ductil	Hierro Ductil	
		Hierro Fundido	Hierro Fundido	
		Acero	Acero	
		Acero galvanizado	Acero galvanizado	
		Aluminio	Aluminio	
		Fibra de vidrio	Fibra de vidrio	
		Concreto	Concreto	
		Concreto reforzado	Concreto reforzado	
Otro	Otro			
AccesorioTipo	Texto	Tee	Tee	Tipo de accesorio utilizado
		Codo	Codo	
		Tapón	Tapón	
		Cruz	Cruz	
		Unión	Unión	
		Otro	Otro	
Estado	Texto	Bueno	Bueno	Estado del elemento en la última inspección realizada
		Regular	Regular	
		Malo	Malo	
Sección	Texto	Bocatoma	Bocatoma	Sección del sistema de acueducto, a la cual pertenece el elemento
		Aducción	Aducción	
		PTAP	PTAP	
		Conducción	Conducción	
		Red de distribución	Red de distribución	
		Intradomiciliaria	Intradomiciliaria	
EstructuraControl	Texto	Ventosa	Ventosa	Estructuras destinadas al control del flujo de agua y efectos sobre el sistema de acueducto
		Purga	Purga	
		Reducción	Reducción	
		Alivio	Alivio	
		Cheque	Cheque	
		Almenara	Almenara	
		Otro	Otro	
BocatomaTipo	Texto	Superficial	Superficial	Clasificación básica de bocatomas
		De fondo	De fondo	
		Otro	Otro tipo de bocatoma	

NOMBRE DOMINIO	TIPO DE DOMINIO	VALORES DE CÓDIGOS	DESCRIPCIÓN CÓDIGOS	DESCRIPCIÓN
MedidorTipo	Texto	Volumétrico	Volumétrico	Clasificación de medidores de agua según forma de medir el caudal
		De velocidad de agua	De velocidad de agua	
		Electromagnético	Electromagnético	
		Ultrasonido	Ultrasonido	
		Otro	Otro	
ValvulaTipo	Texto	Distribuidora	Dirección de flujo	Clasificación de válvulas según finalidad
		De presión	Limitadoras de presión	
		De cierre	Impide paso en un sentido y permite en otro	
		De flujo	Variación de velocidad	
		Otro	Otro	
ValvulaOperacion	Texto	Manual	Operación manual	Tipo de operación de la válvula
		Automática	Operación automática	
		Otro	Otro	

Tabla 1. Planificación de dominios de la base de datos. Fuente: Autor

A continuación se presenta la jerarquía general de la base de datos:

GeoDataBase: ACUEDUCTO_BAHÍA_SOLANO

FeatureDataSet: ACCESORIOS

FeatureClass: ACCESORIO

FeatureClass: HIDRANTE

FeatureDataSet: ESTRUCTURAS

FeatureClass: BOCATOMA

FeatureClass: EMBALSE

FeatureClass: ESTACIÓN_BOMBEO

FeatureClass: PTAP

FeatureClass: POZO_SUBTERRANEO

FeatureClass: TANQUE_ALMACENAMIENTO

FeatureDataSet: ESTRUCTURAS_CONTROL

FeatureClass: ESTRUCTURA_CONTROL

FeatureClass: MACROMEDIDOR

FeatureClass: MICROMEDIDOR

FeatureClass: VALVULA

FeatureClass: EQUIPO_MEDICIÓN

FeatureDataSet: TUBERIA

FeatureClass: LÍNEA_PRESURIZADA

FeatureClass: LÍNEA_FLUJO_LIBRE

FeatureDataSet: NODO

FeatureClass: NODO

FeatureDataSet: TERRENO

FeatureClass: HIDROGRAFIA

FeatureClass: TOPOGRAFIA

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los objetos creados:

FeatureDataSet: ACCESORIOS

FeatureClassName: ACCESORIO

FeatureClassType: Point

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
AltTopo	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si	AccesorioTipo	15
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 2. Descripción FeatureClass: ACCESORIO. Fuente: Autor

FeatureClassName: HIDRANTE

FeatureClassType: Point

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
AltTopo	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si		50
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date			
Estado	Text		Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 3. Descripción FeatureClass: HIDRANTE. Fuente: Autor

FeatureDataSet: ESTRUCTURAS

FeatureClassName: BOCATOMA

FeatureClassType: Polygon

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Area	Double	Si		
CaudalEnt	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si	BocatomaTipo	50
Codigo	Text	Si		50
FechaDato	Date	Si		15
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 4. Descripción FeatureClass: BOCATOMA. Fuente: Autor

FeatureClassName: EMBALSE

FeatureClassType: Polygon

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Capacidad	Double	Si		
AltPiezTot	Double	Si		
CaudalSal	Double	Si		
Tipo	Text	Si		50
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 5. Descripción FeatureClass: EMBALSE. Fuente: Autor

FeatureClassName: ESTACION_BOMBEO**FeatureClassType: Point**

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
CaudalSal	Double	Si		
AltDinTot	Double	Si		
Tipo	Text	Si		50
Marca	Text	Si		25
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 6. Descripción FeatureClass: ESTACIÓN_BOMBEO. Fuente: Autor

FeatureClassName: POZO_SUBTERRANEO**FeatureClassType: Point**

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Profundidad	Double	Si		
Capacidad	Double	Si		
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 7. Descripción FeatureClass: POZO_SUBTERRANEO. Fuente: Autor

FeatureClassName: PTAP**FeatureClassType: Polygon**

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Caudal_sal	Double	Si		
Tipo	Text	Si		50
Procesos	Text	Si		200
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 8. Descripción FeatureClass: PTAP. Fuente: Autor

FeatureClassName: TANQUE_ALMACENAMIENTO

FeatureClassType: Polygon

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Capacidad	Double	Si		
AltPiezTot	Double	Si		
AltTopo	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si		50
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 9. Descripción FeatureClass: TANQUE_ALMACENAMIENTO. Fuente: Autor

FeatureDataSet: ESTRUCTURAS_CONTROL

FeatureClassName: ESTRUCTURA_CONTROL

FeatureClassType: Point

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
AltTopo	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si	EstructuraControl	15
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 10. Descripción FeatureClass: ESTRUCTURA_CONTROL. Fuente: Autor

FeatureClassName: MACROMEDIDOR**FeatureClassType: Point**

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
AltTopo	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si	MedidorTipo	25
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 11. Descripción FeatureClass: MACROMEDIDOR. Fuente: Autor

FeatureClassName: MICROMEDIDOR**FeatureClassType: Point**

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
AltTopo	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si	MedidorTipo	50
Codigo	Text	Si		10
Suscriptor	Text	Si		50
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 12. Descripción FeatureClass: MACROMEDIDOR. Fuente: Autor

FeatureClassName: VALVULA

FeatureClassType: Point

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
AltTopo	Double	Si		
VueltCierre	Double	si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
Tipo	Text	Si	ValvulaTipo	25
Operacion	Text	Si	ValvulaOperacion	15
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 13. Descripción FeatureClass: VALVULA. Fuente: Autor

FeatureClassName: EQUIPO_MEDICION

FeatureClassType: Point

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
AltTopo	Double	Si		
Tipo	Text	Si		50
Finalidad	Text	Si		50
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Codigo	Text	Si		10
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 14. Descripción FeatureClass: EQUIPO_MEDICION. Fuente: Autor

FeatureDataSet: NODO

FeatureClassName: NODO

FeatureClassType: Point

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
AltTopo	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Codigo	Text	Si		10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 15. Descripción FeatureClass: NODO. Fuente: Autor

FeatureDataSet: TERRENO

FeatureClassName: HIDROGRAFIA

FeatureClassType: Line

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
NOMBRE	Text	Si		50

Tabla 16. Descripción FeatureClass: HIDROGRAFÍA. Fuente: Autor

FeatureClassName: TOPOGRAFIA

FeatureClassType: Line

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
ELEVACION	Double	No		

Tabla 17. Descripción FeatureClass: TOPOGRAFÍA. Fuente: Autor

FeatureDataSet: TUBERIA

FeatureClassName: LINEA_FLUJO_LIBRE

FeatureClassType: Line

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
Altura_1	Double	Si		
Altura_2	Double	Si		
CotaClaveInicial	Double	Si		
CotaClaveFinal	Double	Si		
Pendiente	Double	Si		
AnchoBerma	Double	Si		
Rugosidad	Double	Si		
Base	Text	Si		20
FormaSeccion	Text	Si		20
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 18. Descripción FeatureClass: LINEA_FLUJO_LIBRE. Fuente: Autor

FeatureClassName: LINEA_PRESURIZADA

FeatureClassType: Line

ATRIBUTO	TIPO	NULL	DOMINIO	LONGITUD
Diam_pulg	Double	Si		
Diam_mm	Double	Si		
Rugosidad	Double	Si		
Pendiente	Double	Si		
Seccion	Text	Si	Seccion	20
Material	Text	Si	Material	20
FechaDato	Date	Si		
Estado	Text	Si	Estado	10
Observacion	Text	Si		100

Tabla 19. Descripción FeatureClass: LINEA_PRESURIZADA. Fuente: Autor

Creación de la GeoDataBase

El presente apartado se refiere a las actividades de migración, tratamiento de la información, y depuración de errores, así como a la creación de la base de datos en ArcGis e importación de datos, con su respectiva asignación e ingreso de atributos, dominio, tipos, y demás características de los objetos.

Tratamiento de la información

Para la información recolectada en formato .dwg, teniendo en cuenta que no estaba debidamente definida por capas, fue necesario extraer cada conjunto de dibujos correspondientes a las estructuras del sistema (Nodos, tuberías, hidrantes, macromedidores, válvulas, purgas, ventosas, puntos de muestreo, tanques de almacenamiento, etc.), y almacenados en proyectos independientes, esto con el fin de facilitar la importación de estas en ArcGis. Lo antes descrito se puede observar en la ilustración No.12.

Con ayuda de la herramienta “Add Data” de la extensión ArcMap del software ArcGis, se agregó cada uno de los dibujos a la tabla de contenido de este entorno, espacio en el cual inicia la visualización y edición de los objetos que integrarán el Sistema de Información Geográfica; cada conjunto de dibujos correspondientes a las estructuras del sistema fue asignado a una capa nombrada acorde la correspondiente tipología; en primer lugar, estos dibujos son reconocidos por ArcMap como bloques de objetos en formato .MDB; luego de realizar la depuración de información no deseada, cada capa es exportada a formato Shape (.SHP).

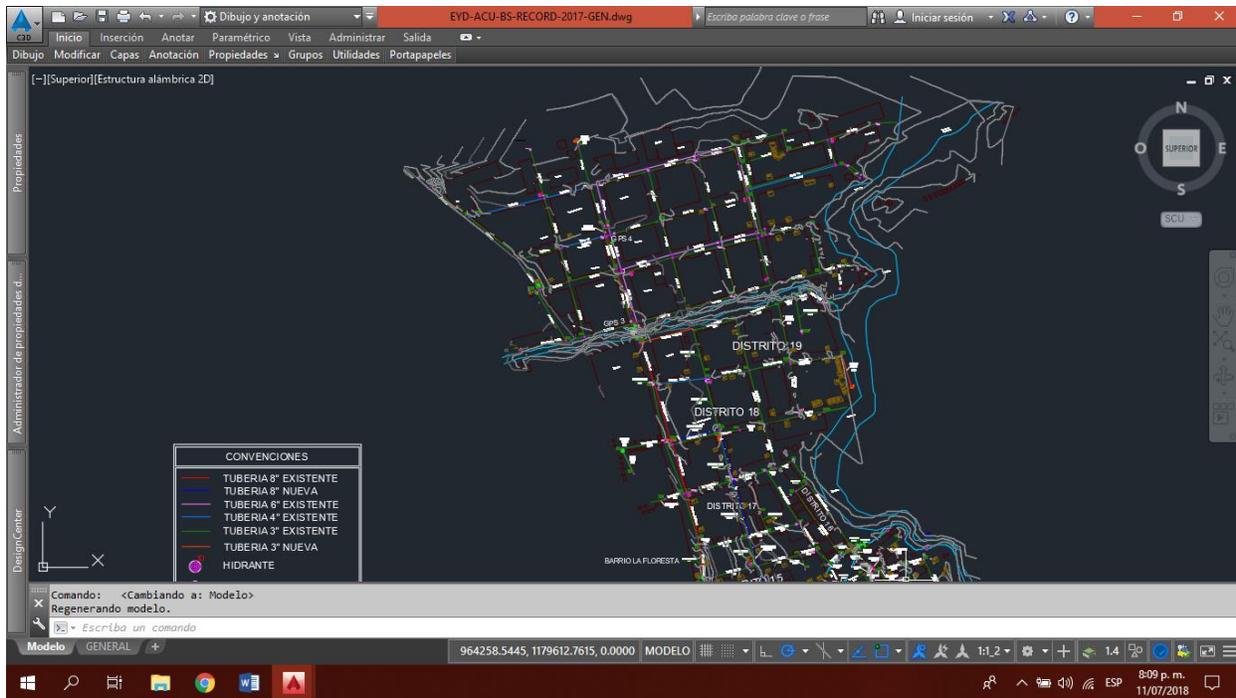


Ilustración 12. Visualización del plano del acueducto de Bahía Solano en AutoCAD, entregado por la constructora Espina y Delfín Colombia. Fuente: Autor.

Para cada capa creada (Shape), con ayuda de la sub-herramienta “Projection and transformations” de la herramienta “Data Management Tools”, fueron definidos los parámetros del sistema de referencia MAGNA SIRGAS autorizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi mediante Resolución No. 068 del 28 de enero de 2005, que para esta zona del país, en el software utilizado obedecen a los siguientes valores:

Sistema de Coordenadas Proyectadas: MAGNA Colombia Oeste

Proyección: Transversal de Mercator

Factor de escala: 1

Falso Este: 1,000,000.00

Latitud de origen: 4.59620042

Falso Norte: 1,000,000.00

Unidad linear: Metro

Meridiano central: -77.07750792

Sistema de Coordenadas Geográficas: GCS_MAGNA

Datum: D_MAGNA

Meridiano principal: Greenwich

Unidad angular: Grado

Seguidamente, se realizó un trabajo de edición de trazado dentro de cada capa, a fin de ajustar la información realmente requerida para la alimentación de la GeoDataBase. A continuación se presenta el trabajo realizado por cada capa:

Tuberías

Para esta capa, que obedece a una representación gráfica de las tuberías que componen la totalidad del sistema de acueducto a través de líneas, se realizó la división de líneas existentes en el trazado otorgado por la gerencia del proyecto, constituyéndose cada una como un tramo de tubería, para asignar a cada una de ellas sus correspondientes atributos.

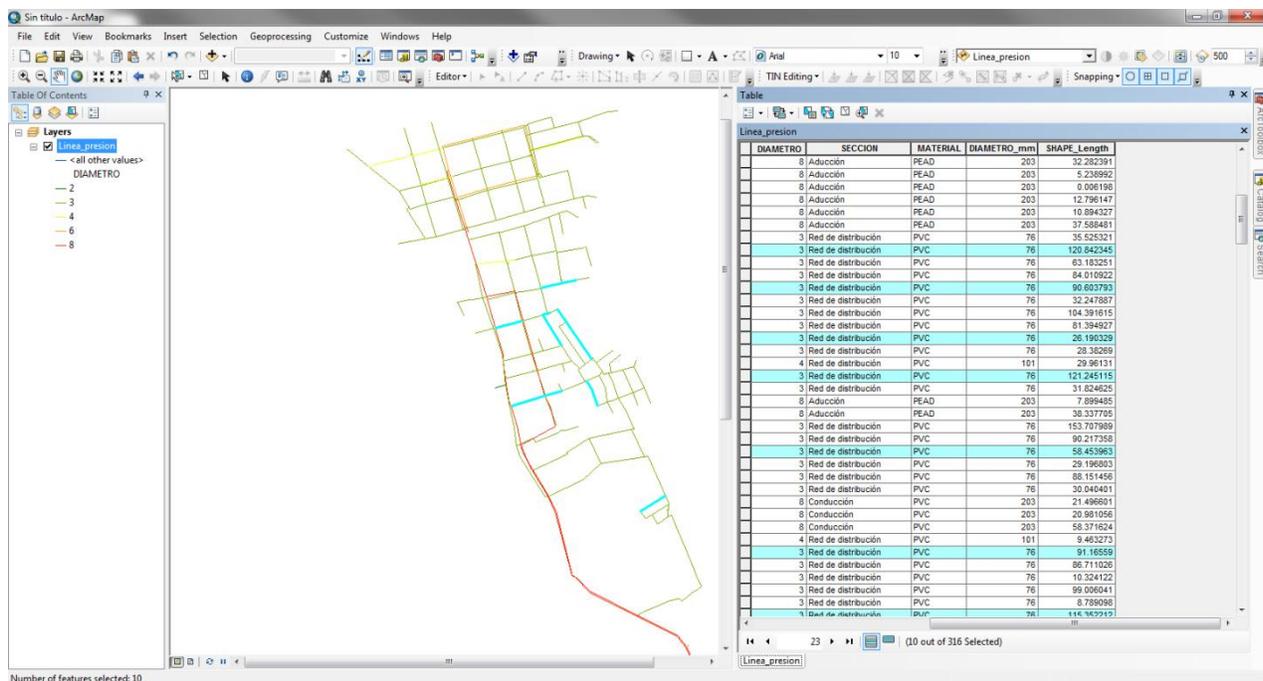


Ilustración 13. Representación gráfica de las tuberías. Fuente: Autor.

Nodos

Los nodos sitúan gráficamente un vértice donde confluyen varias tuberías y que representan accesorios físicamente encontrados en la estructura del acueducto; teóricamente obedecen a puntos de control de presión y caudal; el tratamiento de esta capa obedeció a realizar correcciones de la posición de los nodos, de modo tal que todos intersectarán las tuberías confluyentes en sí mismo; el ID_NODO es un atributo propio de cada nodo y obedece al nombre con el cual es reconocido, para el cual se asignó el mismo utilizado por el proyecto en el trazado entregado; en caso que no existiera, se asignó un nombre arbitrario; a partir de un modelo digital de terreno, con ayuda de la herramienta “Add Surface Information” del ArcToolbox del software ArcGis, se extrajeron las alturas topográficas de los nodos; las representaciones gráficas a continuación mostradas, fueron extraídas de ArcScene.

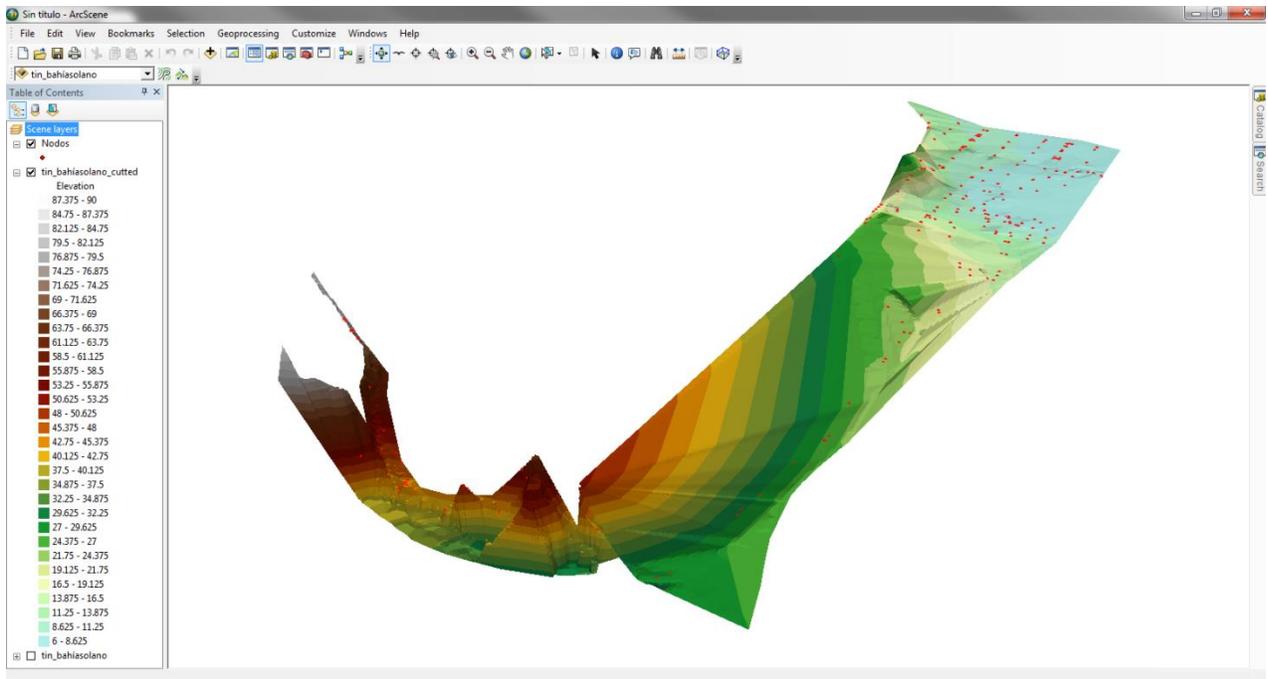


Ilustración 14. Modelo Digital de Terreno sobreponiendo nodos. Fuente: Autor.

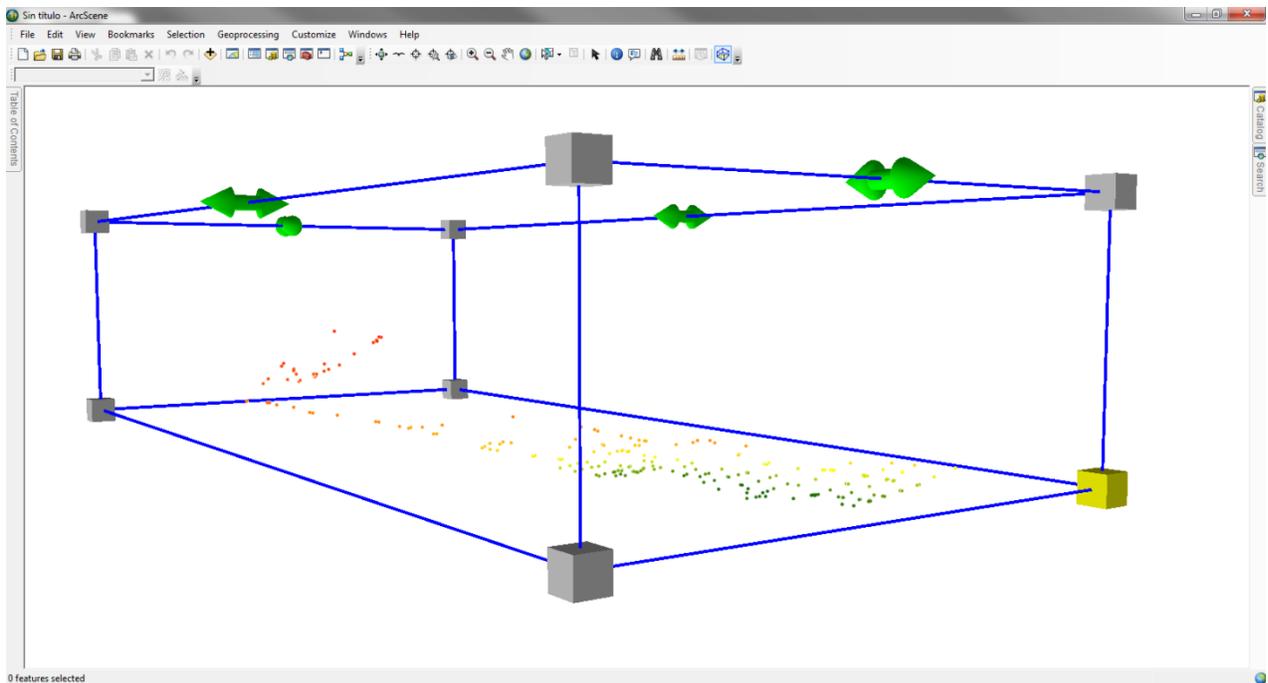


Ilustración 15. Representación 3D de los nodos a partir de su altura. Fuente: Autor.

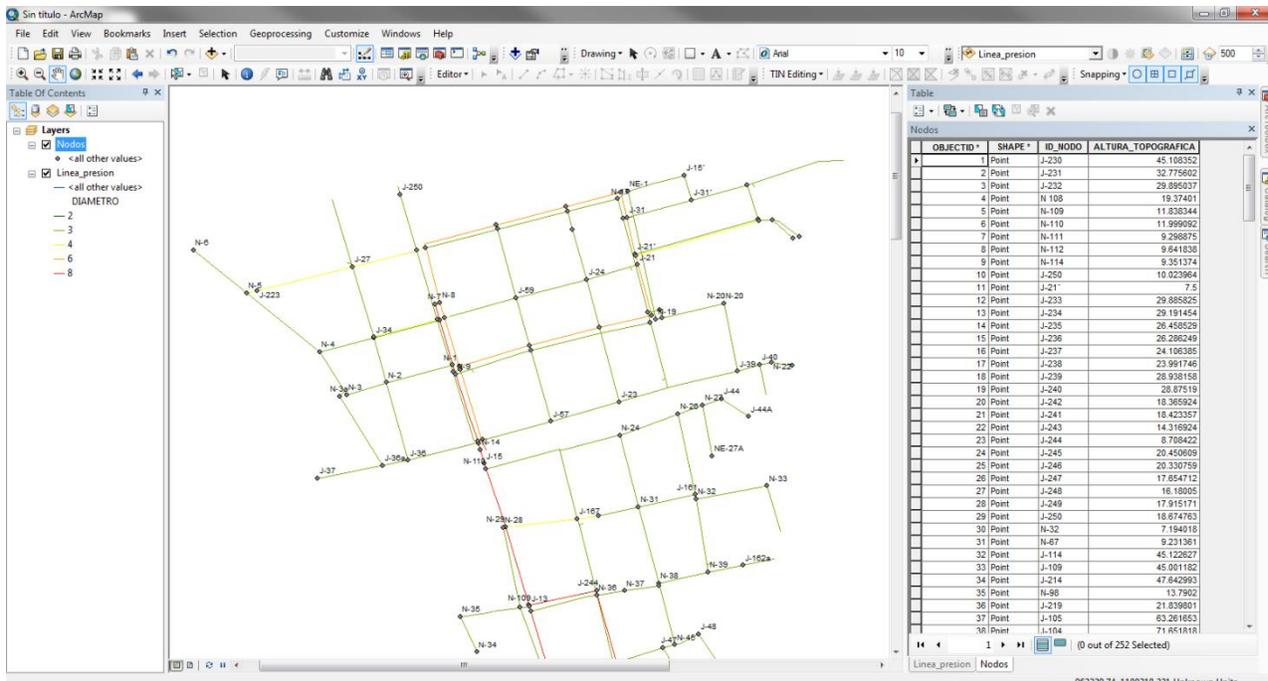


Ilustración 16. Asignación de atributos a nodos. Fuente: Autor.

Hidrantes

La representación gráfica de los hidrantes en el Sistema de Información Geográfica obedece a puntos con sus respectivos atributos; se procuró utilizar las mismas denominaciones que las utilizadas en el trazado entregado por los operarios del acueducto.

Al igual que se realizó para los nodos, con ayuda de la herramienta “Add Surface Information” del ArcToolbox del software ArcGis, se extrajeron las alturas topográficas de los hidrantes del sistema.

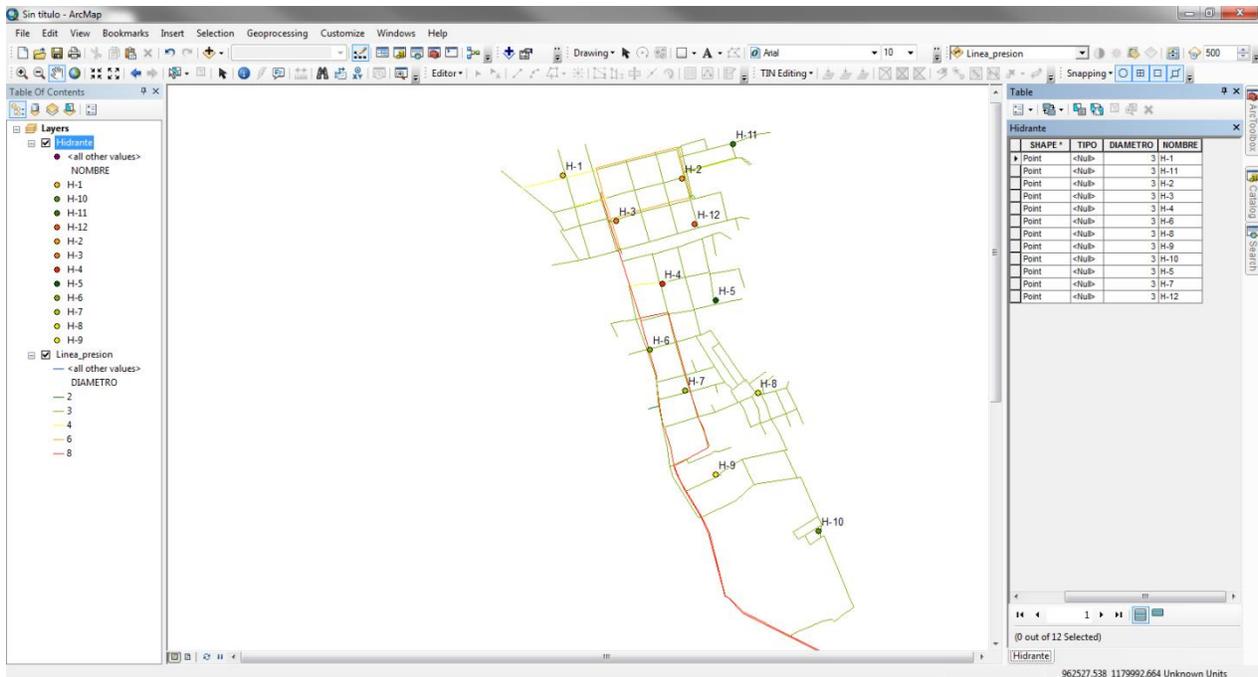


Ilustración 17. Representación gráfica de los hidrantes. Fuente: Autor.

Estructuras

Las bocatomas, Planta de Tratamiento de Agua Potable y tanques de almacenamiento obedecen a estructuras que hacen parte de la tipología del acueducto de Bahía Solano; estas han sido representadas con las mismas proporciones del área que ocupan físicamente en la realidad, sin embargo, no se tuvieron en cuenta los detalles del cada dibujo.

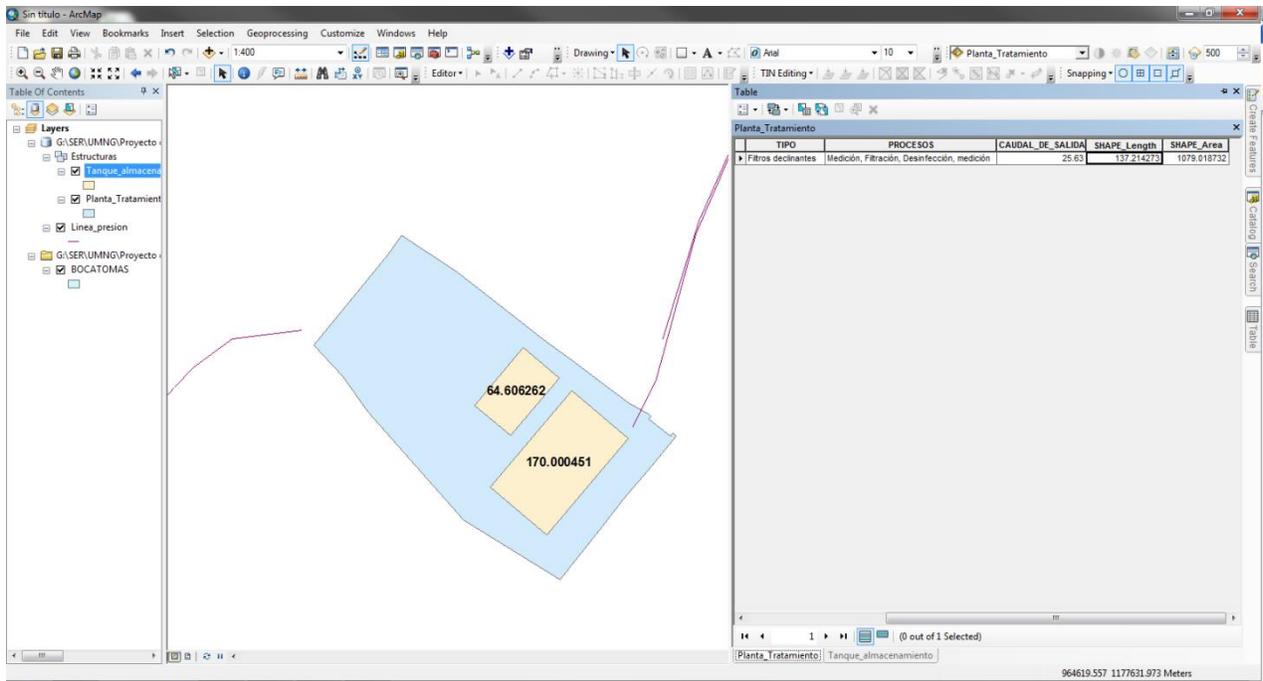


Ilustración 18. Representación gráfica de la PTAP y tanques de almacenamiento indicando las áreas de cada uno. Fuente: Autor.

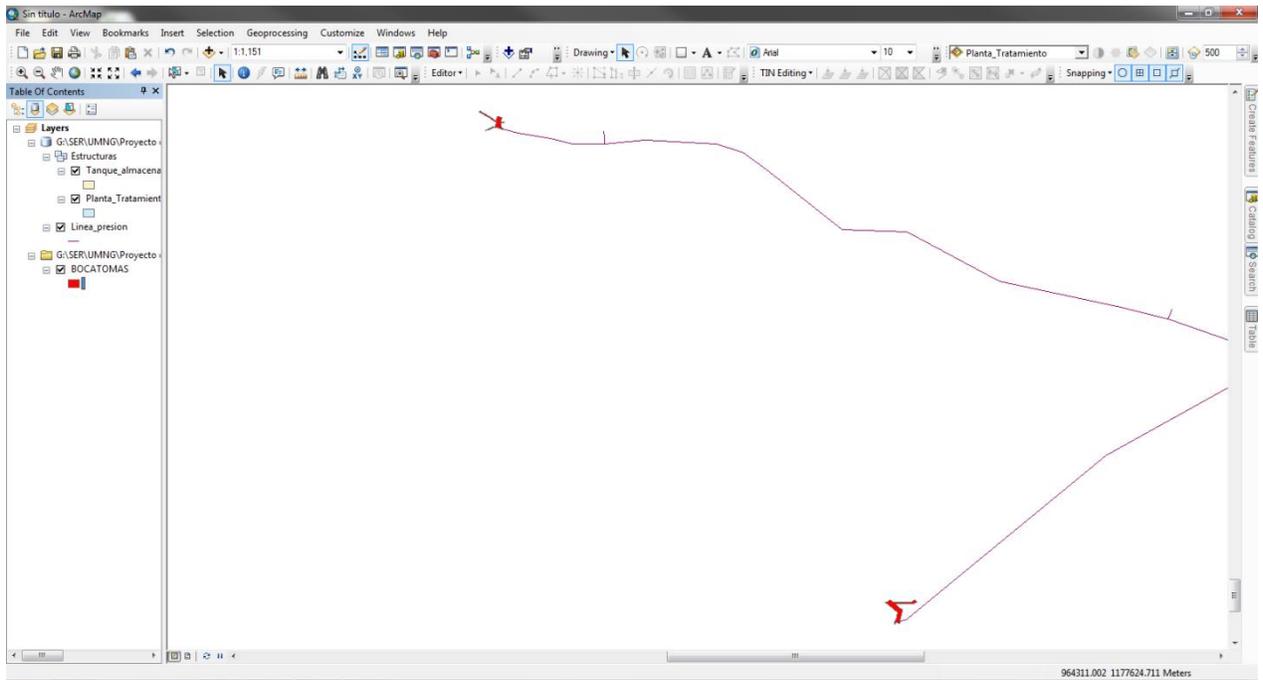


Ilustración 19. Representación gráfica de las bocatomas. Fuente: Autor.

Estructuras de control

Las válvulas fueron posicionadas acuerdo a las posiciones indicadas en el plano entregado por los operadores del acueducto, representadas con una simbología de punto; por su parte, los macromedidores, micromedidores y demás estructuras de control, también fueron representados acuerdo a la posición indicada en el plano entregado y suponen el área real ocupada por dichas estructuras.

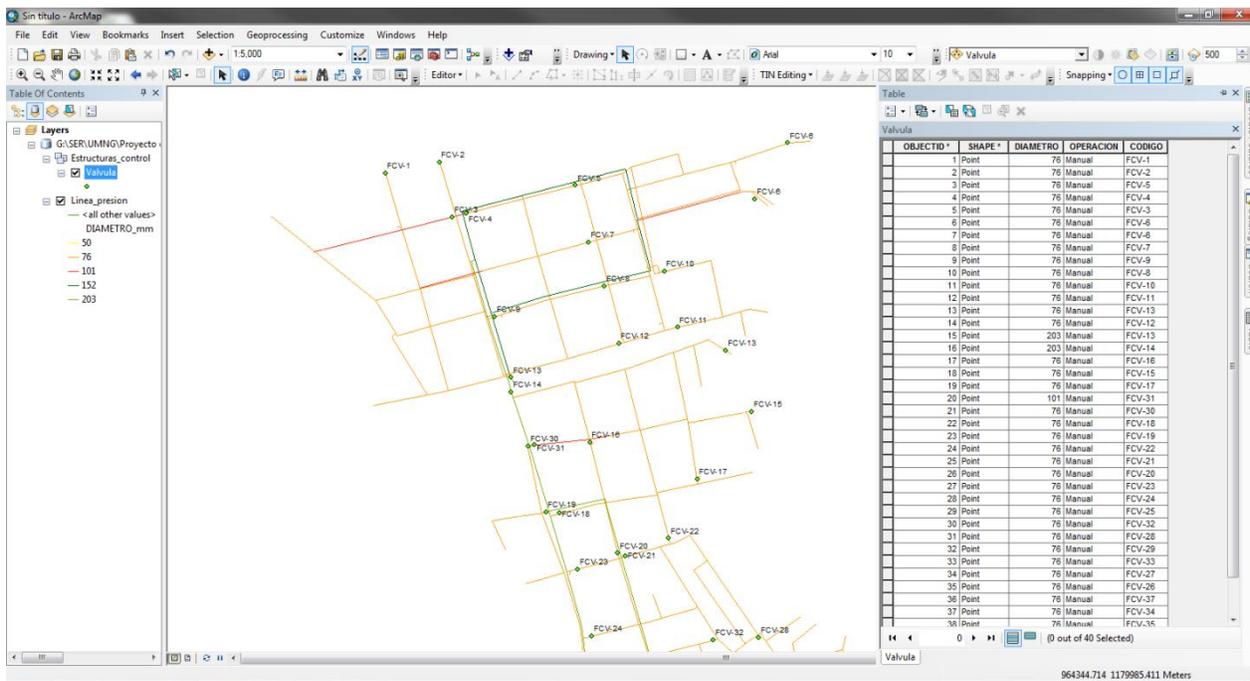


Ilustración 20. Representación gráfica de las válvulas. Fuente: Autor.

Al igual que se realizó para los nodos, con ayuda de la herramienta “Add Surface Information” del ArcToolbox del software ArcGis, se extrajeron las alturas topográficas de las estructuras de control del sistema.

Accesorios

En el trazado del acueducto entregado por la gerencia del proyecto, se representan gráficamente los accesorios instalados durante la ejecución del mismo y los detectados durante la ejecución del último proyecto; no obstante, no se contemplan los accesorios instalados en proyectos anteriores; por lo anterior, se localizaron los accesorios reportados por la gerencia del proyecto y se asignaron accesorios a partir de las características propias del trazado, con criterios como curvas en tuberías (codos), intersecciones (cruces o tees), localización de nodos, finalización de tubería (tapones), etc.

Al igual que se realizó para los nodos, con ayuda de la herramienta “Add Surface Information” del ArcToolbox del software ArcGis, se extrajeron las alturas topográficas de los accesorios del sistema.

Depuración de errores

Una vez finalizada la tarea de recolección, organización y tratamiento de la información, fue necesario establecer contacto con los administradores del trazado y los operadores del sistema de acueducto, buscando aclarar dudas e inquietudes referentes al trazado, presentadas durante el tratamiento de la información. Esta tarea fue productiva bilateralmente debido a que dichos actores pudieron corregir errores de dibujo en el plano record entregado a la interventoría del proyecto.

Base de datos

Organizada la información en capas y objetos, aún en formato Shape (.Shp), se procedió a crear la base de datos que contendría los criterios para manejar la información, con sus respectivos atributos, tipos de objeto y demás, de forma unificada y delimitada.

Creación de la GDB en ArcCatalog

A partir del diseño proyectado, con ayuda de la extensión ArcCatalog de ArcGis, se creó la GeoDataBase, definiendo para cada FeatureClass los atributos correspondientes y los dominios preestablecidos, tal como se muestra en las ilustraciones 21 y 22.

Es necesario resaltar, que debido al volumen de la información manejada, es suficiente con la creación de una “Personal GeoDataBase”, la cual usa como motor de base de datos, el software Microsoft Access (facilitando la edición de la información a personal no experto en SIG, e incluso cuando no se cuente con una licencia de ArcGis) y está limitada a una capacidad de 2 GB de capacidad; la información vectorial y alfanumérica hasta el momento ingresada en la Personal GeoDataBase creada, tiene un tamaño total de 4012 bytes, es decir, aproximadamente un 0,2% de la capacidad total de la herramienta, en cuanto a espacio de almacenamiento. Este aspecto es susceptible de ser modificado a una “File GeoDataBase”, que cuenta con una capacidad de 1 TB por cada FeatureDataSet, lo cual dependerá del incremento de la información concerniente al acueducto en cuestión; sin embargo, este último elemento obedece al formato nativo de ArcGis, lo cual representa complejidad a operarios y dependencia al software.

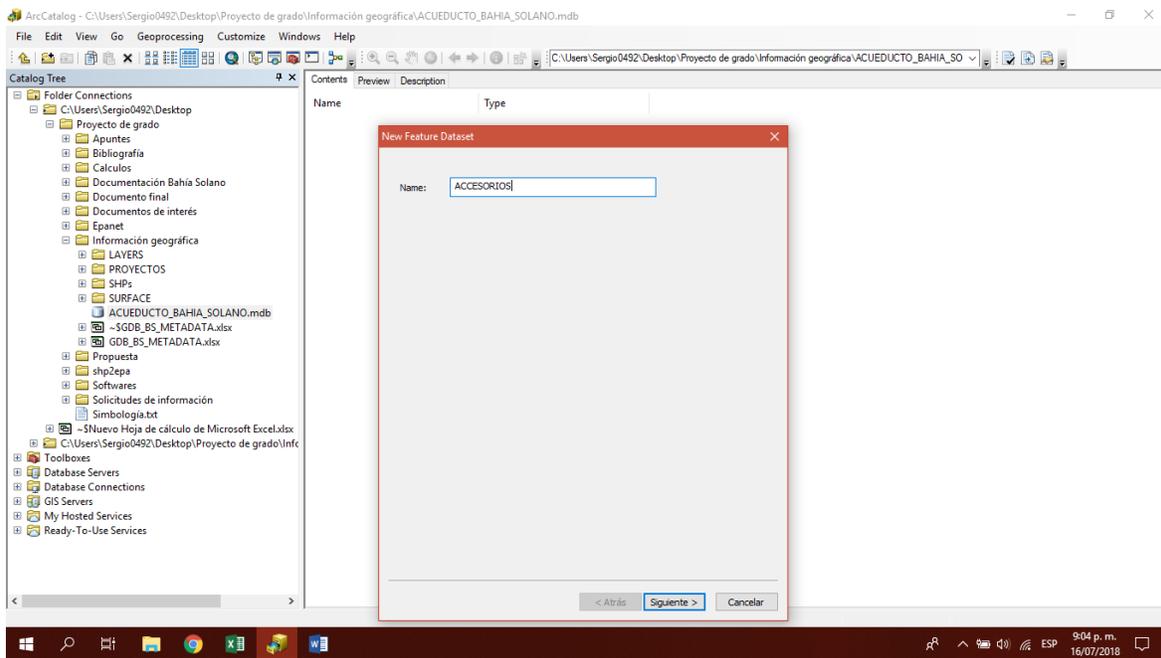


Ilustración 21. Creación de FeatureDataSet en ArcCatalog para la GeoDataBase del acueducto de Bahía Solano. Fuente: Autor.

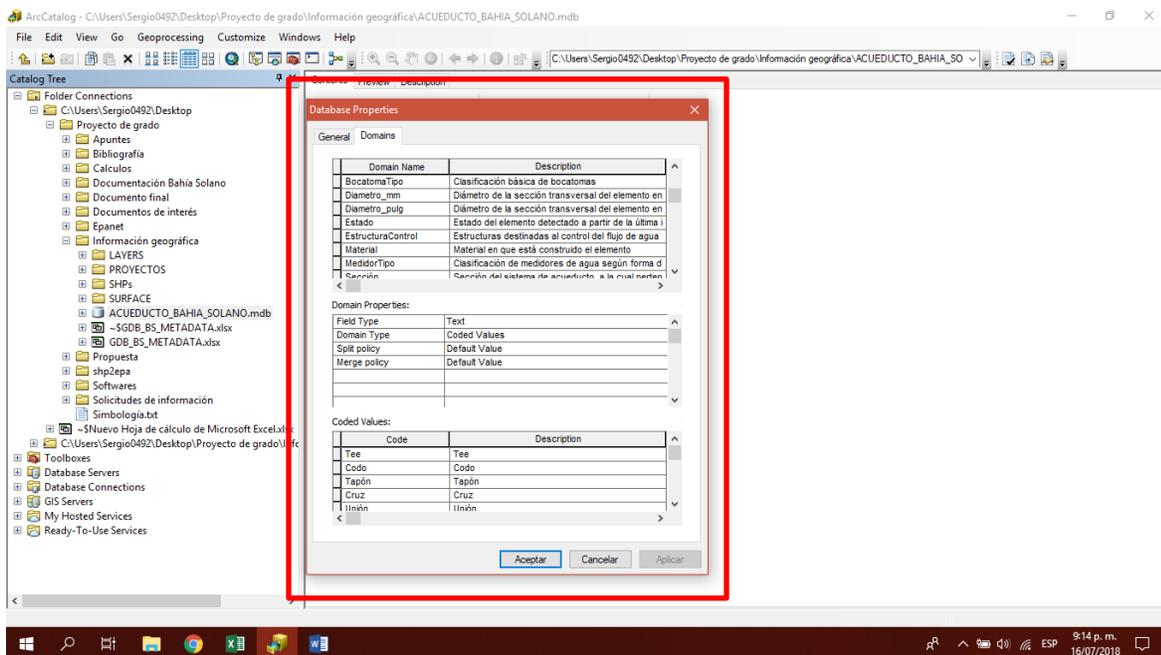


Ilustración 22. Creación de dominios en ArcCatalog para la GeoDataBase del acueducto de Bahía Solano. Fuente: Autor.

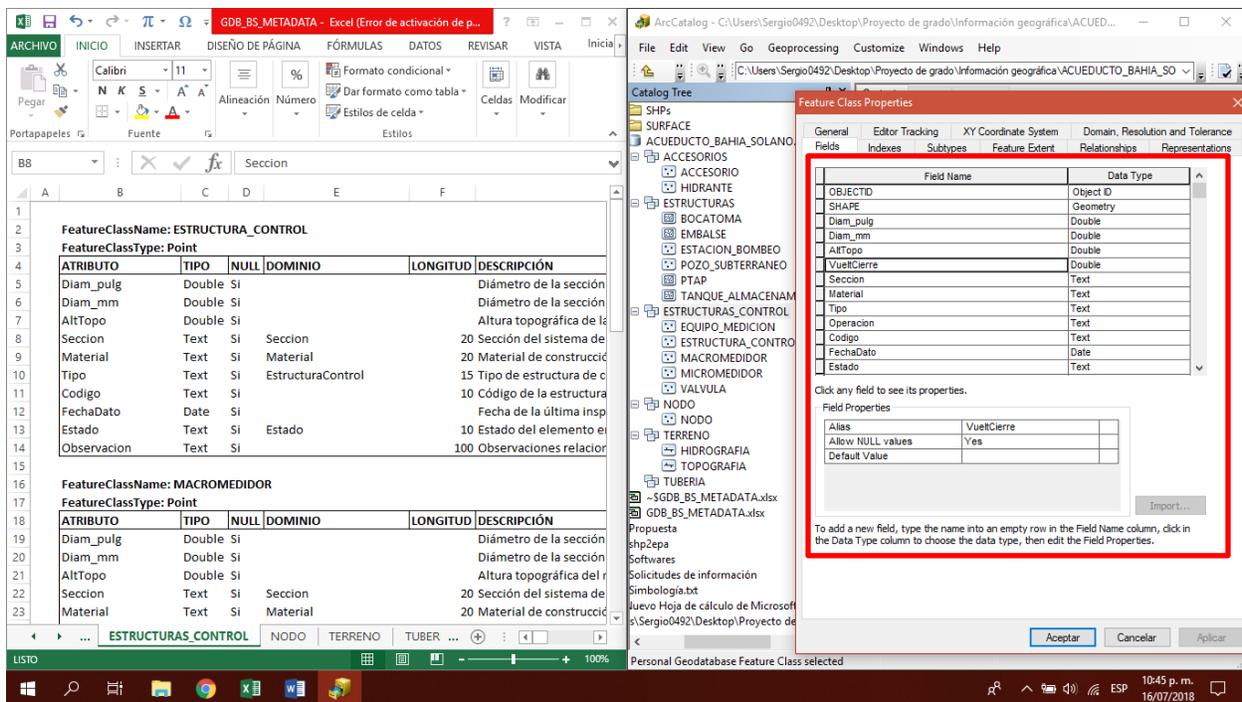


Ilustración 23. Creación de FeatureClass y atributos por cada objeto en ArcCatalog para la GeoDataBase del acueducto de Bahía Solano. Fuente: Autor.

Esta tarea se efectuó para cada uno de los objetos definidos en el diseño previamente mostrado, con lo cual quedó creada la base de datos diseñada.

Alimentación de la GDB en software

Después de creada la estructura de la base de datos, con ayuda de la herramienta “Load Data” del software ArcCatalog, se migró la información espacial y atributos existente en las capas de formato Shape (.SHP) creados durante la fase de tratamiento de la información, los cuales contienen toda la información migrada desde AutoCAD por capas y sus respectivos atributos.

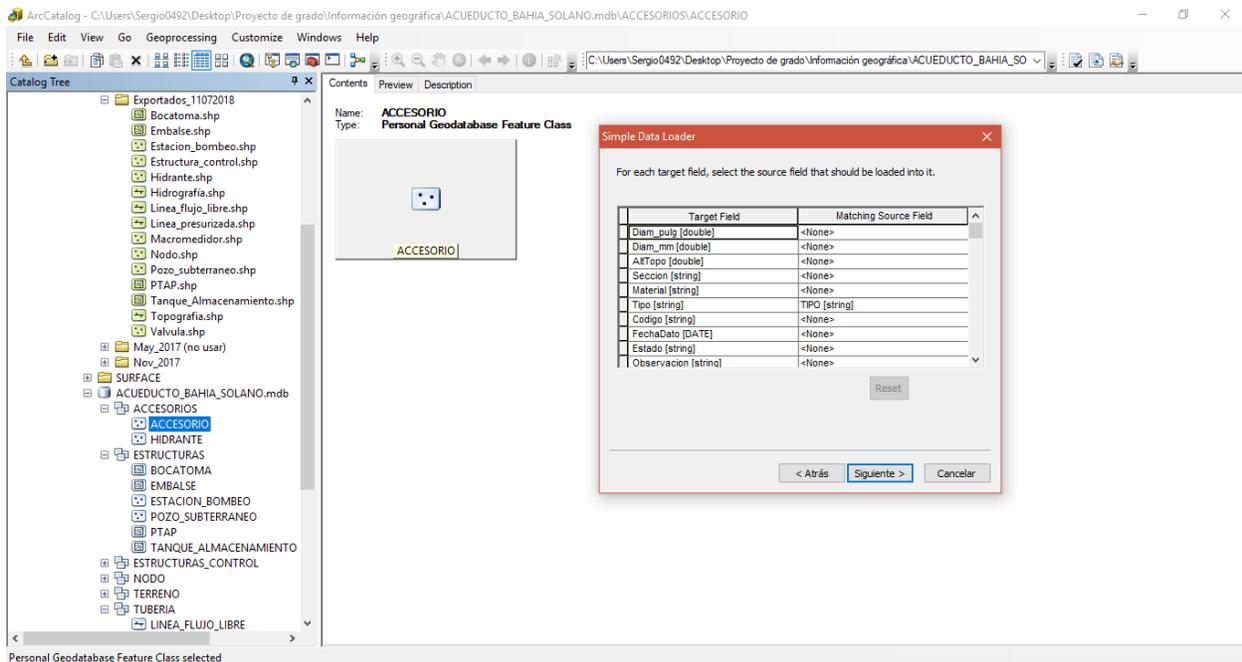


Ilustración 24. Carga de información de una FeatureClass a partir de un Shapefile previamente creado y llenado. Fuente: Autor.

En este punto del trabajo, la base de datos de información geográfica se encuentra lista para su uso, consulta, manipulación y publicación. Es necesario aclarar que, como se mencionó en anteriores apartados, la utilidad y eficiencia del SIG aquí propuesto dependerá de la constante actualización del mismo y de la experticia del operador del mismo.

Publicación de la información

Una vez planificada, creada y alimentada la GeoDataBase del acueducto de Bahía Solano, se procedió a realizar un proyecto en formato .mxd⁷, que funcionaría como plantilla para la generación de publicaciones como mapas temáticos, planos, consultas, etc., así como la representación gráfica de los aspectos de interés de los usuarios del sistema.

La plantilla obedece a un “acceso directo” a la información guardada en la base de datos (FeatureClasses), con predeterminada simbología para efectos de publicación básica, no obstante, el manejo de la información dentro de los proyectos de ArcGis, son muy amplios, de modo tal que la publicación de la información realizada en esta sección, es una de las aplicaciones normales del Sistema de Información Geográfica.

La publicación se llevó a cabo con ayuda del entorno “Layout View” de la extensión ArcMap de ArcGis, con el cual se pueden asignar y editar objetos (indicador de norte, barra de escala, escala numérica, leyenda, cuadros de texto, títulos, etc.) generar cuadrículas geográficas, darle tamaños a los dibujos del trazado, configurar tamaños de página, resolución, entre otras tareas de relevancia para la publicación de la información.

Se generaron, de forma representativa, 03 mapas temáticos utilizando la información contenida en el Sistema de Información Geográfica, los cuales se muestran a continuación; no obstante, la generación de publicaciones está dada por las necesidades de los usuarios del SIG:

⁷ Formato nativo de ArcGis para los proyectos creados y guardados en el software.

Vista General Acueducto Bahía Solano - Chocó

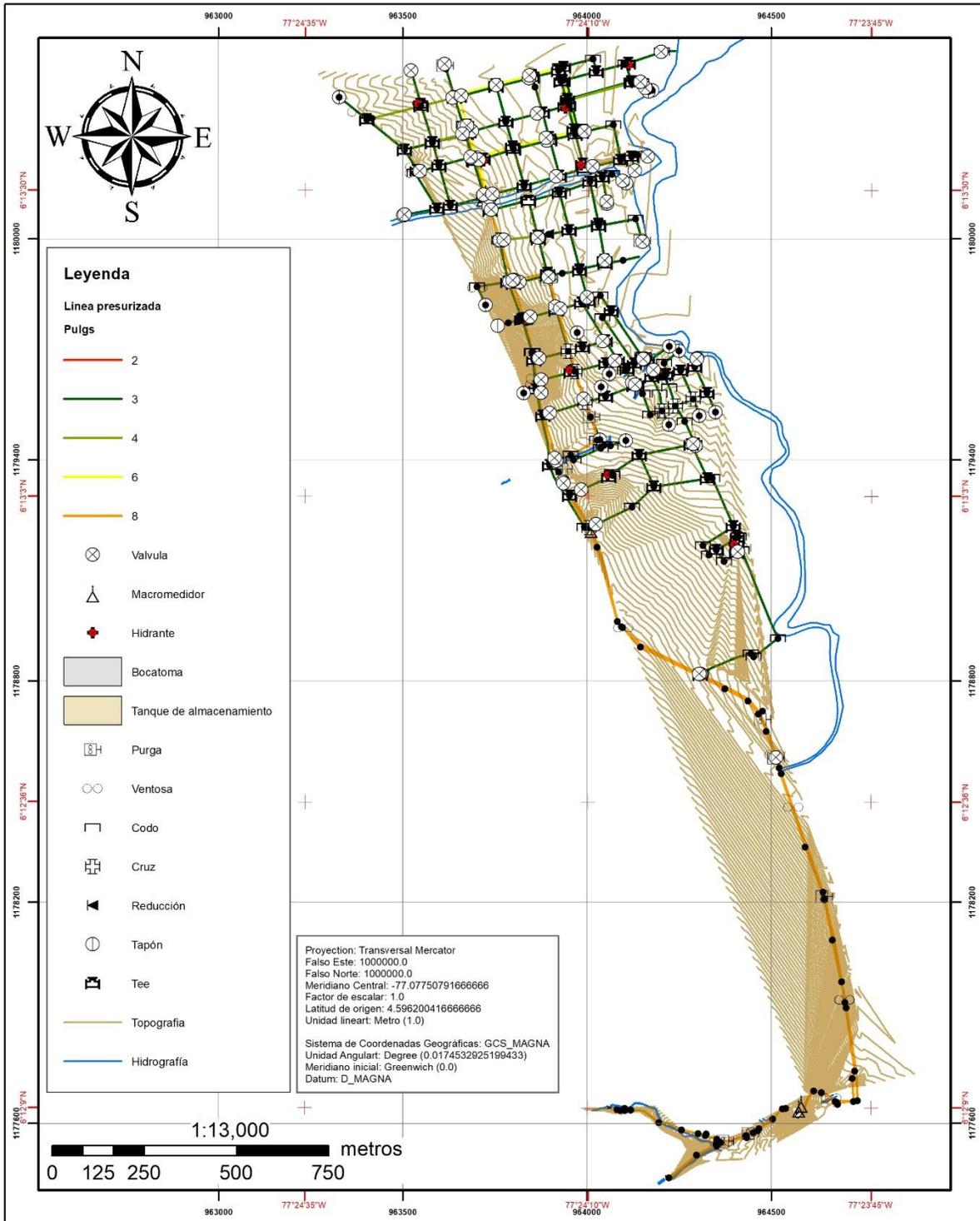


Ilustración 25. Mapa vista general del Acueducto de Bahía Solano. Fuente Autor

Vista Accesorios Acueducto Bahía Solano - Chocó

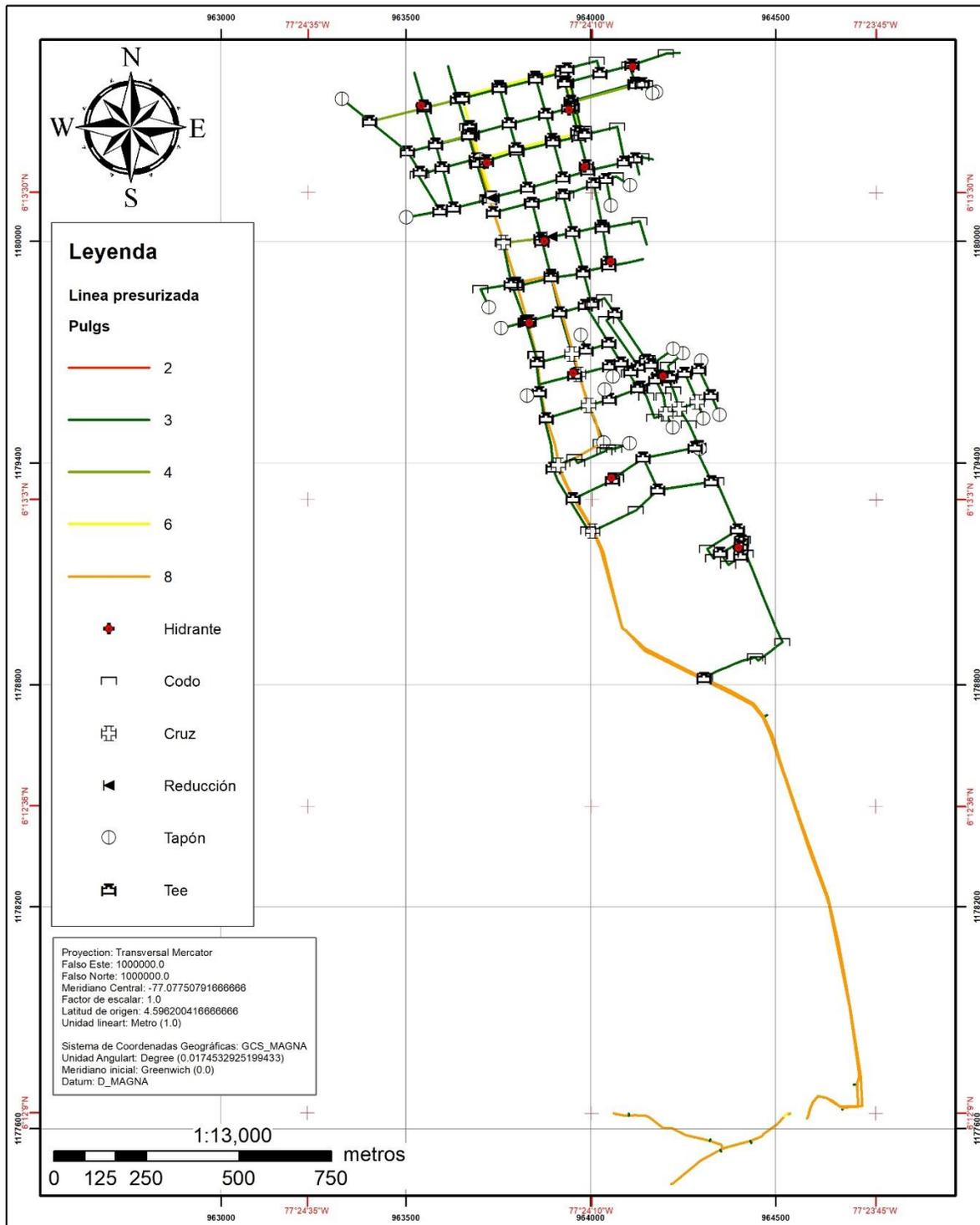


Ilustración 26. Mapa vista Accesorio Acueducto de Bahía Solano. Fuente Autor

Vista Válvulas Acueducto Bahía Solano - Chocó

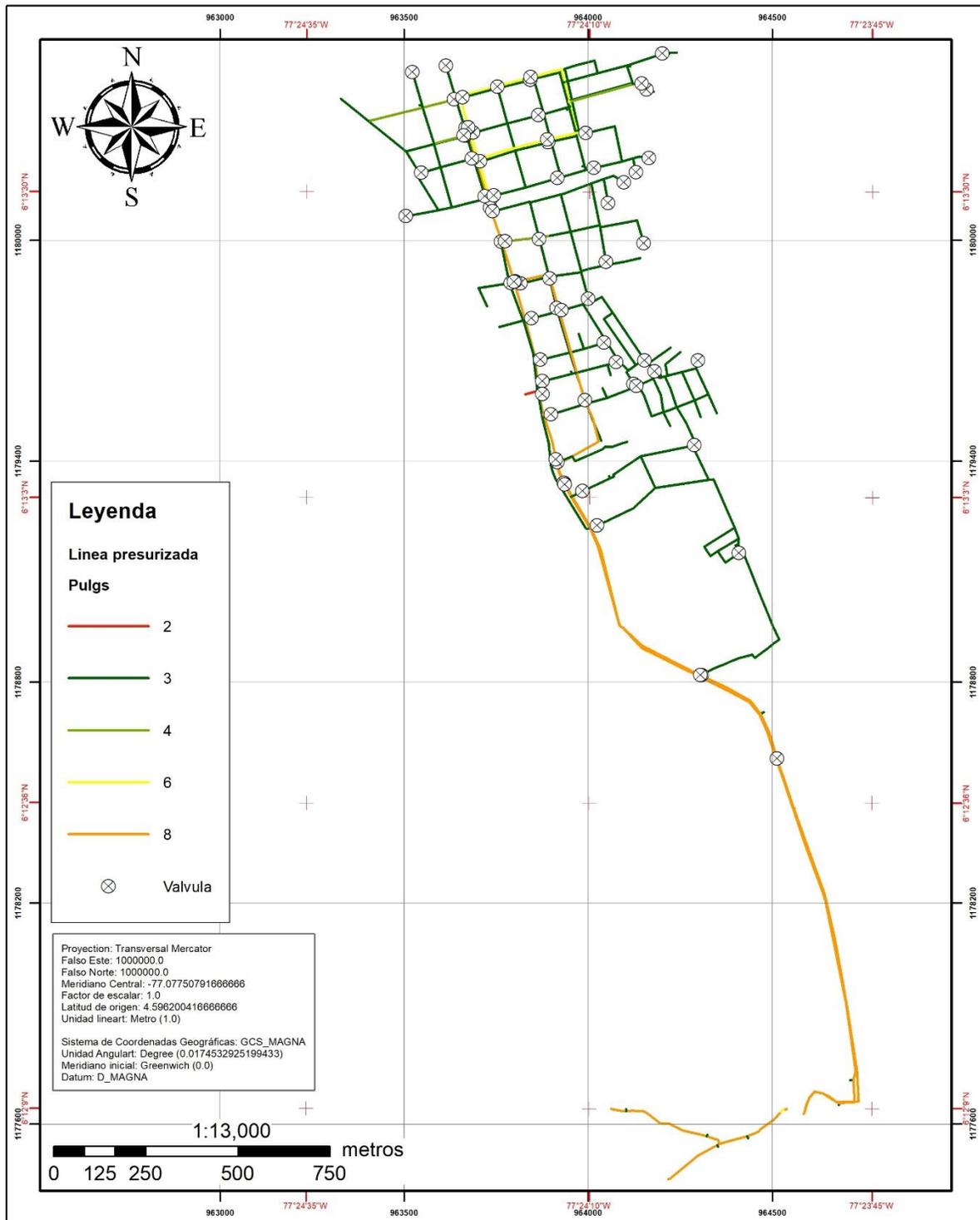


Ilustración 27. Mapa vista Válvulas acueducto de Bahía Solano. Fuente Autor

Discusión

El desarrollo de un Sistema de Información Geográfico para el municipio de Bahía Solano – Chocó ha resultado una tarea, que pudo llevarse a cabo gracias a la colaboración de los actores del sistema de acueducto del municipio, quienes compartieron la información abiertamente; como resultado del proyecto, se obtuvo una herramienta de la cual, dada su aplicación, se pueden sacar múltiples beneficios.

No como impedimento para la planeación y creación, sino como afectación a la eficiencia de la implementación y uso del SIG, se encuentra la limitante de información disponible del Acueducto de Bahía Solano, lo cual obedece a información faltante y en casos, poco confiable, principalmente por la evolución y crecimiento del municipio sin la debida planificación y/o control, pues las intervenciones de infraestructura han sido no autorizadas, descontroladas, sin cumplimiento técnico y sin registro alguno. Contar con información actualizada, completa y confiable, permitiría un uso bastante completo de las aplicaciones de un SIG, lo cual se puede conseguir con trabajo de campo.

Trabajar con la información utilizada en este proyecto, entregada por los actores del acueducto, se pudo observar falencias técnicas en el trazado y por consiguiente, en el manejo de la información, lo cual repercute directamente en la toma de decisiones, que puedan ser no oportunas o no acertadas.

Por su parte, la información disponible relacionada con Sistemas de Información Geográfica, incluso aplicada acueductos, es aceptable, pudiendo observar que existen casos de estudio en aplicaciones similares; es necesario que en Colombia se continúe promocionando y normalizando el uso de esta herramienta, que bajo softwares comerciales, pueden ser de gran potencial para la gestión de una entidad.

El resultado del presente proyecto obedece a una base de datos de información geográfica gestionada en ArcGis, planificada y creada a partir de las necesidades actuales y potenciales del municipio; su uso y eficiencia de aplicación, dependerá principalmente de la importancia que le den los gestores del acueducto, quienes deberán actualizarla y mantenerla, pero al tiempo, podrán obtener buenos resultados a partir de su uso, en cuanto a gestión, administración y funcionamiento.

Beneficios de la implementación del SIG

Con los rápidos avances tecnológicos en materia de SIGs, los beneficios de su aplicación en sistemas de acueducto son mayores; el desarrollo de este trabajo ha permitido establecer algunos beneficios, que serán dables en la medida en que los responsables, quieran implementarlo como herramienta de gestión y administración. A continuación se mencionan los aportes al municipio:

La **generación de información** a partir de la existente y con ayuda de herramientas de modelación, selección, interpretación y análisis, ArcToolBox⁸, es uno de los fuertes del SIG; como ejemplo de caso, está la extracción de alturas de objetos a partir del Modelo Digital de Terreno (MDT), modelado con ayuda de curvas de nivel. Los Modelos Digitales de Elevación, Pendiente, Depresión, los perfiles de terreno, modelos de inundación, vectores de tendencia, generación de información vectorial, entre otras, son ejemplos básicos de potencial de la herramienta, que aplicado al acueducto, con la dirección de un ingeniero capacitado en el tema, pueden contribuir con la mejor, por ejemplo de presiones en tuberías, eficiencia de trazados de tubería, etc.

La **publicación de información** mediante mapas temáticos, planos, videos y mapas 3D, resultan de fácil edición, generación y exportación, lo cual le brinda a los gestores, presentar proyectos, avances, situaciones, etc., con imágenes llamativas y explícitas, representadas en escalas de colores, tipología, selección de objetos, y otras funciones. Como ejemplo representativo de esto, están los mapas temáticos antes mostrados.

Información organizada y limpia, y la depuración de errores, son aspectos de vital importancia en la gestión de un sistema de acueducto; errores de trazado, duplicidad de información, errores de entrada de información (ortografía), entre otros, son algunos de las situaciones con las que el ingeniero se encuentra con las herramientas convencionales de gestión de un acueducto, las cuales son de fácil detección y corrección con un SIG. En este caso de estudio, se realizó un trabajo de depuración de información y se parametrizó y delimitó la base

⁸ Galería de códigos de cálculo y rutinas de ArcGis, que permiten la ejecución tareas de procesamiento de la información geográfica.

de datos con ayuda de dominios, para evitar al máximo errores de edición. El trazado del Acueducto de Bahía Solano se puede manejar con ayuda del SIG de forma limpia y definitiva.

Como se mencionó anteriormente, cada objeto tiene relacionados unos atributos, que se refieren a la información relacionada con el elemento en la realidad, que representa el objeto en el SIG; la **consulta de atributos** le permite conocer a los gestores del municipio, la información relacionada con el/los objeto (s) que sean de interés, incluso en tiempo real.

Las **consultas por localización y atributos** es uno de los fuertes de un SIG, ya que facilita la toma de decisiones; con criterios de selección como radios de selección, sobreposición, offset, separación, intersección, adiciones a selección, etc., se pueden crear selecciones y exportar información con criterios deseados; así por ejemplo para el caso de estudio, se podrían identificar las zonas con menor micromedición pero al tiempo con mayor cantidad de suscriptores, con el fin de priorizar la instalación de micromedidores, que permitirán establecer índices de consumo y cobros, que resultará con un impacto positivo al acueducto.

La **edición de información** individual y en masa, resulta más efectiva, facilitando, restringiendo y garantizando la calidad del trabajo del técnico dibujante, con ayuda de herramientas de edición encontradas en ArcToolBox, se puede editar la información vectorial, raster y alfanumérica, que contenga la base de datos geográfica. Este aspecto resulta bastante beneficioso en temas de optimización del tiempo. De la mano con ello, la **edición de información insitu y en tiempo real**, es otro beneficio del SIG, ya que con ayuda de equipos de última tecnología como Smartphones, tablets, Personal Digital Assistant (PDA), se pueden

realizar conexiones vía internet, y editar los objetos de la base de datos en campo en tiempo real. Este aspecto es útil en cuanto a la reducción de la duplicidad de trabajo, pues no contar con ello, involucra un trabajo en campo y otro en oficina.

El uso de las **aplicaciones de internet**, en el caso de la marca ArcGis de ESRI, ofrece amplia variedad de funcionalidades interactivas y multimedia, para la edición y publicación de información, así como para compartirla a través de redes sociales, páginas de internet, etc. Aplicado al caso de estudio, se pueden realizar diversas acciones de publicación como presentaciones dinámicas, a fin de mostrar al receptor de la información, mejores productos.

Es necesario aclarar que la base de datos desarrollada cuenta con la información antes descrita, sin embargo, esta puede ser ampliada acuerdo requerimientos de los gestores, incluso enlazada con otras bases de datos como censos, catastros, alcantarillado, etc.

Relación costo beneficio

En este punto resulta importante mencionar los costos que representa la implementación de la propuesta. El uso de ArcGis como motor del Sistema de Información Geográfico, representa un elevado costo, ya que este obedece a un software comercial desarrollado por ESRI, que brinda diferentes paquetes acuerdos a las necesidades de la entidad, y su costo aumentará conforme mayores y mejores sea el abanico de aplicaciones habilitadas; para el año 2014, una licencia ArcGIS for desktop Standard Single Use, se registró en \$16.232.248 pesos

colombianos⁹. Existen otras posibilidades en cuanto software motores de SIGs, que son de libre acceso y sin costo alguno, sin embargo, las funcionalidades de estos, no son tan potentes, llamativas, precisas, vistosas, de calidad, como las del software comercial.

Otro de los costos que se deben tener en cuenta en la operación de un SIG, es la mano de obra especializada, que puede ser reemplazada con la capacitación de los funcionarios del ente administrador del sistema.

Un punto importante de resaltar, es la planificación, diseño, creación y puesta en marcha del SIG, lo cual supone un costo representativo porque el nivel de pericia requerido es mayor al de la fase de operación de este; sin embargo, con el desarrollo del presente proyecto, se están evitando estos costos, lo cual hace más factible, la implementación del SIG para la gestión del acueducto objeto de estudio.

Los costos de equipos de cómputo, energía e instalaciones, se encuentra ligados más a la operación de la administración del sistema de acueducto que a la del SIG, por ello, no son representativos al momento de decidir si implementar o no el sistema.

El trabajo de campo y los equipos de colección de datos (GPS, PDAs, etc.), también sugieren una inversión representativa, mayormente al principio del proyecto cuando no se cuenta con información alguna; sin embargo en el municipio objeto de estudio, el área abarcada no es de gran magnitud, lo cual minimiza el trabajo de campo de modo que basta con que luego de

⁹ Dato extraído de <http://www.nosolosig.com/articulos/286-cuanto-cuestan-los-productos-arccgis-de-esri>

desplegado el SIG a partir de la información ya ingresada, se esté informando cualquier novedad al administrador de la herramienta a fin de mantenerla actualizada.

Por su parte, como se vio anteriormente, son muchas las ventajas que se pueden obtener del SIG, no solo en cuanto a mejoría de procedimientos sino también en la disminución de costos de operación, ya que las consultas permiten tomar mejores decisiones enfocadas a la optimización de recursos; además, una base de datos actualizada, permite conocer de primera mano, el estado de la infraestructura del acueducto, evitando sobrecostos en salidas de campo. Todo esto, a largo plazo y con un correcto funcionamiento del SIG, sugiere menores costos de operación del fontanero y al tiempo, mejorías en la destinación de los recursos.

Aportes al Sistema de Acueducto de Bahía Solano

Aun cuando el Sistema de Acueducto de Bahía Solano es el resultado de intervenciones con bajos estándares de cumplimiento técnico, es necesario mencionar que la implementación del SIG aquí propuesto, contribuiría con la operación de este, con lo cual se espera mejorar algunos procesos tales como:

- Con el uso de ArcGis, la generación de mapas temáticos se puede realizar más rápidamente y con resultados de calidad, disminuyendo el tiempo empleado en la generación de productos.

- Se puede reducir el trabajo de campo con ayuda de las herramientas que ofrece ArcGis, caso ejemplar, es la altura que se extrajo para cada objeto del sistema de acueducto, a partir del modelo digital de terreno; aun cuando esta información no sea de gran exactitud, la metodología se convierte en aceptable para ciertos aspectos gerenciales y técnicos.
- La identificación y cuantificación de elementos con atributos específicos, se puede conseguir de forma ágil y exacta; esto dependerá del mantenimiento oportuno de la base de datos; con esto se contribuye en la toma de decisiones en la alta gerencia.
- Con el uso del software comercial ArcGis, se puede manipular ampliamente la información contenida en la GeoDataBase, permitiendo exportarla a diferentes formatos; dentro de algunos muy útiles para la gestión del acueducto, como ejemplo representativo está el formato .CAD, para el cual no se requiere ningún tratamiento adicional de la información; por otra parte, con ayuda de la herramienta Shp2Epa, se puede convertir los Shapes extraídos del SIG, a formato .INP, compatible con Epanet y adquiriendo los atributos con los que se cuenta en la GDB; esto supone una mejora en el proceso de manejo de la información propia del Acueducto de Bahía Solano.

La GeoDataBase propuesta está diseñada para el sistema de acueducto; esta permite realizar modificaciones en cuanto a su contenido, adicionar información, objetos, grupos de objetos, etc.; este modelo se puede replicar en caso de ser oportuno, para la gestión del sistema de alcantarillado.

Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió llevar a cabo las etapas que involucran la realización de un Sistema de Información Geográfica, planeamiento y creación, tareas que se pudieron realizar gracias a la información espacial y alfanumérica, conseguida con ayuda de los gestores del acueducto del caso estudiado.

A pesar de las limitaciones de información que presenta el caso de estudio, el producto resultante de este trabajo, puede ser utilizado para los fines con los que fue desarrollado, la gestión y administración del acueducto del municipio de Bahía Solano - Chocó, y los alcances de esta herramienta estará limitada únicamente por la importancia que le den los gestores del acueducto y de la experticia del funcionario que manipule el SIG.

Las publicaciones mostradas obedecen a ejemplos de las funcionalidades de la herramienta desarrollada, sin embargo, las funcionalidades y variedad de productos posibles en cuanto a publicación, obedecen a las bondades del uso de los Sistemas de Información Geográfica.

Al estudiar la relación costo/beneficio de la implementación del SIG, se puede observar que los mayores costos estarían reflejados en la adquisición de software comercial y capacitación del personal, ya que en el momento, ya se cuenta con información para desplegar el SIG; su costo puede disminuir en la medida es que se utilice un software libre como motor, sin embargo, los resultados obtenidos no serían las bondadosos como los del software comercial.

En términos generales, con la implementación del SIG propuesto en el presente proyecto de grado, alimentado con toda la información espacial disponible y en la cual se invirtió antes, se esperaría que los costos no sean tan altos en comparación a si un sistema estuviera en la fase de planificación; lo anterior brinda un balance positivo y viable en la relación costo beneficio.

La implementación del SIG aquí propuesto, supone una mejoría en algunos de los procesos que actualmente se llevan a cabo por los administradores del sistema de acueducto; así mismo representa una puerta abierta a muchas opciones de esta herramienta, enfocadas a trabajos de gestión, mantenimiento, mejoras, etc., de estas obras civiles, modelos que están siendo utilizados a nivel internacional para fines equivalentes.

Una vez aprobado el presente trabajo por el comité de opción de grado de la Universidad Militar Nueva Granada, será entregado a los gestores del acueducto del municipio para que estos observen y estudien sus beneficios, y de ser necesario, se realizaría una presentación del caso estudiado, a fin de que se implemente en la administración y gestión del sistema.

Referencias Bibliográficas

- Alberca Manzaneque, A., & Galvez Díaz-Tendero, J. (2007). Modelos Avanzados de Bases de Datos. Castila-La Mancha, España: Universidad de Castila-La Mancha.
- Amorós Núñez, M., & Sánchez Cruz, Y. (2012). Gestión de acueducto y alcantarillado mediante sistemas de información geográfica. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, VOL. XXXIII, 44-57.
- DANE. (2005). *Censo General 2005*. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.
- De Miguel, J. (1992). *Información geográfica y sistemas de información geográfica (SIGs)*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Diaz Morales, D. B., & Mercado Yepes, N. E. (2016). Gestión técnica de redes de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar mediante la implementación de herramientas SIG. *Gestión técnica de redes de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar mediante la implementación de herramientas SIG*. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.
- ESPINA Y DELFIN COLOMBIA. (2015). *Manual de Operación y Mantenimiento Bahía Solano*. Bahía Solano : Espina & Delfín .
- Espinoza, Y. (2005). *Sistemas de información geográfica SIG*.
- ESRI. (2016). *ArcGis for Desktop*. Recuperado el 07 de Julio de 2018, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/gdb-architecture/the-geodatabase-is-object-relational.htm>
- Fragoso Sandoval, L., Ruiz Zurvia-Flores, J. R., & Juárez León, A. B. (Abril de 2013). Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de Mexico. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, VOL. XXXIV, No. 1, 112-126.
- Guzmán, D., Ruíz, J., & Cadena, M. (2014). *REGIONALIZACIÓN DE COLOMBIA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, A TRAVÉS ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Hernández, G. (22 de Noviembre de 2002). Proyecto SIG Triple A. Implantacion desarrollo y gestión de un Sistema de Información Geográfico en una empresa de servicios públicos. Barranquilla, Colombia: Triple A - Barranquilla.
- Martinez Ospina, D. (2010). Diseño de un modelo de datos geográficos para la gestión empresarial. Caso de estudio Aguas Capital Bogota s.a. esp. Empresa de acueducto. *Diseño de un modelo de datos geográficos para la gestión empresarial. Caso de estudio*

- Agua Capital Bogotá s.a. esp. Empresa de acueducto.* Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Noviembre de 2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Bogotá, Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). *Saneamiento básico e higiene.* Bogotá: EXPRECARDS S.A.S.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (28 de Julio de 2017). Decreto No. 1272 del 28 de julio de 2017. Bogotá D.C., Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de junio de 2017). Resolución 0330 del 08 de junio de 2017. Bogotá, Colombia.
- Paz Velásquez, S. P., & Vargas Marín, L. A. (2013). *Perspectiva de la vulnerabilidad al cambio climático en la Región Pacífica.* Manizales.
- Servicio Nacional de Aprendizaje. (2005). Fontanería Municipal. *Sistemas de Acueductos.* Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente.
- Zarzosa, N. L., & Andrés, M. N. (2004). *Sistemas de información geográfica. Prácticas con ArcView (Vol. 120).* Catalunya: Universidad Politècnica de Catalunya.

Lista de anexos

- Carpeta digital denominada “Información geográfica”, con un tamaño de 32 Mb, que contiene toda la información del SIG creado.
- Carpeta digital denominada “Salidas gráficas”, con un tamaño de 5.15 Mb, que contiene las salidas gráficas generadas para la presentación del presente.
- Archivo de Excel (.xlsx) denominado “GDB_BS_METADATA”, con un tamaño de 30.3 Kb, el cual contiene los metadatos de la base de datos creada.
- Proyecto de mapa en formato de ArcGis (.mxd) denominado “PRESENTACIÓN_GENERAL_SIG_BASO”, el cual obedece a la plantilla creada.
- Documento en PDF denominado “Acta de reunión – 26 05 2017”, que obedece al sustento de la reunión efectuada con un funcionario de Aguas y Aguas de Pereira.