

ARTÍCULO MONOGRÁFICO

Optimización operativa de Aguas de Manizales S.A. ESP, a partir de la implementación del SIG*

[Operational optimization of Aguas de Manizales S.A. ESP, throughout implementing a GIS]

VALENTINA GIRALDO-FADUL¹

RECIBO: 15.03.2010 - AJUSTE: 06.05.2010 - APROBACIÓN: 17.05.2010

Resumen

Desde el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica su aplicación se ha extendido a diversos campos como densidad poblacional, medio ambiente, transporte, agricultura, entre otros. El sector de Agua potable y alcantarillado no ha sido ajeno a las bondades que brinda un SIG para administrar de manera gráfica diferentes elementos de un sistema que poseen atributos, características y una posición geográfica relativa.

Con el fin de analizar la utilidad y beneficios de la implementación de un Sistema de Información Geográfica en una empresa de este tipo, se ha querido estudiar la empresa Aguas de Manizales S.A. ESP organización reconocida en Colombia como modelo de gestión en el sector de agua potable y alcantarillado, considerando la forma como el SIG contribuyó en su fortalecimiento empresarial y examinando el comportamiento y mejora de algunos de los componentes del sistema más representativos, además de concluir sobre las aplicaciones del SIG que hoy en día son susceptibles de mejorar su aprovechamiento en la empresa.

Este documento describe en primera instancia el sistema de acueducto y alcantarillado operado por la empresa con el fin de

* Modelo para citación:

GIRALDO FADUL, Valentina (2010). Optimización operativa de Aguas de Manizales S.A. ESP, a partir de la implementación del SIG. En: Ventana Informática. No. 22 (ene-jun., 2010). Manizales (Colombia): Universidad de Manizales. p. 77-103. ISSN: 0123-9678

1 Ingeniera de Sistemas y de Telecomunicaciones; Especialista en Sistemas de Información Geográfica.
Ingeniera SIG, Aguas de Manizales S.A. ESP. Correo electrónico: vgiraldo@aguasdemanizales.com.co

identificar los diferentes elementos que entraron a ser administrados con ayuda del Sistema de Información Geográfica. Hace una presentación del estado inicial de los componentes del sistema antes de la implementación del SIG desde el punto de vista técnico y comercial. Así mismo, muestra un análisis de la forma como la puesta en marcha del mismo contribuyó a alcanzar la optimización operativa actual, detallando finalmente los diferentes beneficios obtenidos por la empresa y las aplicaciones y utilidades del SIG que cuentan con un potencial de mejora de su uso en una empresa de acueducto y alcantarillado.

Palabras Clave: SIG, acueducto, alcantarillado.

Abstract

Since their early development Geographic information Systems (GIS) applications have extended to different areas such population density, natural environment, transportation, agriculture, among others. Water utility companies have also implemented GIS to manage the elements of their business possessing the geographical relative location and attributes that characterize them.

Aguas de Manizales S.A. ESP is a leading water utility company in the sector of drinking water and sewage system in Colombia. This document describe the process of implementing a GIS system within AGUAS considering the history of the system implementation, the contributions of GIS to AGUAs management structure and the areas susceptible of further implementation.

This document describes the characteristics of drinking water and sewage system operated by AGUAS identifying the different elements to be managed by the GIS. I present the initial state of the components of the system before the GIS implementation from the technical and commercial viewpoint and the developments to reach the current operative optimization. Finally, I summarize the benefits obtained for the organization and the areas for potential improvement.

Keywords: GIS, drinking water, sewage.

Introducción

A pesar que el uso y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica se dio a escala mundial desde la década de los setenta del siglo pasado, es solo hasta mediados de los años noventa que, en Manizales empresas de diversos sectores como telecomunicaciones, gas natural

y sector público, iniciaron procesos de implementación del SIG con el fin de lograr una adecuada apropiación de esta tecnología y obtener el máximo aprovechamiento de todos sus beneficios. En el caso particular de Aguas de Manizales S.A. ESP, la puesta en marcha del SIG buscaba permitir recopilar, almacenar, organizar, analizar y desplegar toda la información de las redes de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Manizales, de las cuencas hidrográficas y de los usuarios para hacer de él una herramienta de trabajo útil, que facilitara la toma de decisiones gerenciales y operativas, y de esa manera garantizar la prestación de un excelente servicio a la comunidad.

Para lograr tal objetivo fue necesario identificar tanto los elementos del sistema a administrar, como los procesos y relaciones existentes entre ellos, adelantando un estudio y planeación detallada que permitió estructurar los modelos numéricos, la conceptualización y el diseño de las abstracciones como fundamento y planeación del sistema que permitiera finalmente analizar sus elementos y relaciones en forma gráfica y digital.

Dentro de este contexto, el sistema de agua potable y alcantarillado que opera la empresa, no es más que un conjunto de elementos dispuestos y ordenados geográficamente para almacenar, conducir y entregar el agua tratada a los diferentes usuarios, en condiciones de potabilidad, presión y continuidad; así como para garantizar la recolección y el transporte de las aguas residuales. Entre los elementos necesarios para la prestación del servicio de agua y alcantarillado se incluyen cuencas hidrográficas, redes de tuberías de diversos diámetros y materiales, válvulas y tanques, entre otros; además de información complementaria relacionada con los mismos formando en su conjunto un complejo sistema.

La característica de tener elementos dispersos en una zona o región, ligados a una serie de variables, características y atributos, que al interactuar entre sí crean una cantidad de relaciones que sobrepasan la capacidad de análisis de los ingenieros si no poseen una herramienta tecnológica adecuada, han hecho que el SIG en Aguas de Manizales se convierta en apoyo para la toma de decisiones a nivel de planeación de inversiones, atención de daños, saneamiento hídrico, sectorización y diseño de redes, entre otros.

Han transcurrido casi 11 años desde la implementación del SIG en Aguas de Manizales S.A. ESP, en donde se ha logrado una elevada apropiación y aprovechamiento de la tecnología, desarrollando aplicativos de consulta particulares para las necesidades de la empresa, que le han permitido optimizar su desempeño operativo y mejorar sus principales indicadores de gestión.

Teniendo en cuenta el proceso de apropiación de la Tecnología SIG en la empresa, el objetivo de este texto, es analizar, identificar, estructurar y documentar formalmente el conocimiento adquirido por la organización en cuanto al montaje y puesta en marcha de un Sistema de Información Geográfica para concluir sobre las actividades exitosas emprendidas, los principales obstáculos encontrados en el proceso, la forma como fueron superados y las principales mejoras alcanzadas en la operación.

Para alcanzar el objetivo trazado, se indagó sobre las experiencias adquiridas, información que se recopiló, organizó y analizó permitiendo estructurar una memoria documental que destaca los beneficios del manejo de un SIG en una empresa de acueducto y alcantarillado y permita a futuro continuar desarrollando y potencializando aun más las ventajas que ofrece esta tecnología.

1. Antecedentes operativos de Aguas de Manizales S.A. ESP

1.1 Descripción del sistema de acueducto y alcantarillado

El sistema inicia por la captación del agua cruda en donde la ciudad de Manizales se abastece de dos cuencas hidrográficas: La cuenca de río Blanco, y la cuenca del río Chinchiná. En dichas cuencas el municipio es propietario de 4.560 hectáreas y Aguas de Manizales S.A. ESP de 695 hectáreas, para un total de 5.255 hectáreas, sobre las cuales se adelantan procesos de conservación y reforestación que son asistidos con ayuda del Sistema de Información Geográfica. Del total de estas hectáreas, el 27% están reforestadas, el 52% se encuentran en bosque natural, el 18% en potreros, y el 2% tienen otros usos. (Aguas de Manizales, 2010a).

Para captar y transportar el agua cruda de las fuentes en las cuencas a las plantas de tratamiento, el sistema cuenta con 11 bocatomas y 29,16 Km. de aducciones, además de cinco estaciones meteorológicas para el control y supervisión permanente de los aforos de las fuentes. Para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Manizales, se cuenta con dos plantas de tratamiento, la de Luis Prieto Gómez I y II, con una capacidad instalada de 1466 lt. /seg., y un caudal tratado de 706 lt/seg. y la planta de Niza con una capacidad de 600 l/seg. y un caudal tratado de 229 lt/seg. (Aguas de Manizales, 2010a).

La distribución del agua tratada se realiza a través de 554,23 Km de redes en el área urbana y 275,68 Km en el área rural. Para garantizar una continuidad del 100% en la prestación del servicio, Aguas de Manizales S.A. ESP cuenta con 38 tanques la zona urbana con capacidad de almacenamiento de 49.500 m³, y con 17 tanques en la zona rural con capacidad de almacenamiento de 3.600 m³. En cuanto a la red de alcantarillado el sistema cuenta con 473,18 Km. en el área urbana y 16,5 Km. en el área rural, además de contar con soluciones específicas a través de 1028 pozos sépticos ubicados en diferentes zonas. (Aguas de Manizales, 2010a).

Las redes de acueducto y alcantarillado, que son tal vez el elemento más destacable de este tipo de sistemas, tienen características particulares en cuanto a diámetro de la tubería y material, la cual se detalla en las tablas 1 y 2 y son precisamente estas características las que ha sido posible optimizar su manejo con el modelo de datos del SIG. El sistema de acueducto y alcantarillado cuenta además con una serie de elementos complementarios como son: 919 hidrantes de diámetros entre 1 y 4 pulgadas, 668 válvulas de control, 4.753 válvulas del sistema, 347 descoles, 17.090 cámaras y 8.332 sumideros. (Aguas de Manizales, 2010a).

Tabla 1. Detalle de la red de Acueducto Zona urbana a diciembre de 2009 (Aguas de Manizales, 2010a)

Diámetro	Longitud (m)	Diámetro	Longitud (m)	Material	Longitud (m)
1/2"	3.678,7	200 mm	4.528,1	AC	95.319,6
3/4"	1.417,2	24"	476,9	ACERO	811,4
1"	15.333,4	25 mm	935,4	GRP	70,8
1-1/4"	208,2	250 mm	251,7	HD	1.552,6
1-1/2"	3.610,6	3"	224.146,0	HF	27.950,5
10"	8.755,7	315 mm	86,8	HG	19.642,3
110 mm	18.470,1	32 mm	967,4	PE	41.279,5
12"	2.687,7	4"	74.118,7	PVC	367.612,6
14"	5.862,3	50 mm	1.224,7	Total	554.239,3
15"	13,7	500 mm	70,8		
16"	844,5	6"	28.829,9		
16 mm	3.943,1	63 mm	2.507,0		
160 mm	1.516,1	8"	21.072,4		
2"	120.768,2	9"	871,1		
2-1/2"	193,9	90 mm	6.496,0		
20 mm	353,2	Total	554.239,3		

Tabla 2. Detalle de la red de alcantarillado zona urbana a diciembre de 2009 (Aguas de Manizales, 2010a)

Diámetro	Longitud (m)	Diámetro	Longitud (m)	Material	Longitud (m)
0.00	8.199,8	30.00	4.470,7	ACERO	215,0
4.00	112,4	33.00	3.103,7	CONCRETO	394.387,0
6.00	1.699,4	36.00	5.959,5	GRESS	476,6
8.00	32.483,3	39.00	47,6	HD	134,9
10.00	192.333,6	40.00	38,5	NOVAFORT	58.138,0
12.00	103.664,7	42.00	2.444,3	NOVALOC	5.253,9
14.00	212,0	44.00	72,2	PE	87,9
15.00	37.870,2	54.00	10,9	PLASTICO	1.618,7
16.00	5.588,5	55.00	42,2	PVC	478,0
18.00	21.290,5	60.00	437,1	RIB-LOC	12.397,0
20.00	1.165,8	62.00	215,0	Total	473.187,0
21.00	18.973,4	66.00	12,3		
24.00	26.937,0	90.00	7,0		
27.00	5.422,8	Total	473.187,0		
28.00	372,8				

La empresa cuenta con 109.146 usuarios de acueducto. Se tiene una cobertura del 63,3% en el sector rural y 99,97% en la zona urbana. La participación de usuarios está determinada por una clasificación de los domicilios o viviendas a partir de sus características físicas y de su entorno económico y social, en seis grupos o estratos. Es así como el estrato 3 representa un 35,7%, el estrato 2 el 21,39%, el 4 el 13,56%, el estrato 1 el 7,2%, el estrato 6 el 6,84% y el estrato 5 el 5,04%. Se atiende un total 3.367 en el sector rural. (Aguas de Manizales, 2010b)

El alcantarillado cuenta con 104.997 usuarios de los cuales 911 pertenecen al sector rural, 581 al sector oficial, 6.684 al sector comercial y 104 al sector industrial, 96.717 corresponden a los estratos residenciales. La mayor participación de usuarios está concentrada en el estrato 3 con el 37,02%, el estrato 2 con el 21.97%, el 4 con el 13.93%, el estrato 1 con el 7,28%, el estrato 6 con el 6.75% y el estrato 5 con 5,17%. (Aguas de Manizales, 2010b)

En la tabla 3 se muestra el detalle del número de usuarios del sistema de acueducto y alcantarillado discriminados por tipo y estrato socioeconómico, lo cual da una idea de la complejidad de la operación en cuanto al manejo de las diferentes variables asociadas a cada usuario.

Los elementos del sistema de acueducto y alcantarillado descritos anteriormente que van a ser administrados con ayuda del SIG tienen características generales y particulares que los relacionan con el espacio

y a su vez los diferencian de los demás, que según Martínez (2000) son los siguientes:

Tabla 3. Número de usuarios de acueducto y alcantarillado por tipo y estrato a febrero de 2010 (Aguas de Manizales, 2010b)

Estrato	Acueducto		Alcantarillado	
	Feb-10	Participación	Feb-10	Participación
Estrato 1	7.861	7.20%	7.639	7.28%
Estrato 2	23.350	21.39%	23.073	21.97%
Estrato 3	38.961	35.70%	38.866	37.02%
Estrato 4	14.802	13.56%	14.624	13.93%
Estrato 5	5.496	5.04%	5.424	5.17%
Estrato 6	7.463	6.84%	7.091	6.75%
Total Residencial	97.933	89.73%	96.717	92.12%
Industrial	243	0.22%	104	0.10%
Comercial	6.886	6.31%	6.684	6.37%
Oficial	717	0.66%	581	0.55%
Rural	3.367	3.08%	911	0.87%
Total N° Residencial	11.213	10.27%	8.280	7.89%
TOTAL	109.146	100.00%	104.997	100.00%

- Ocupan un lugar en la superficie de la tierra o bajo de ella y por lo tanto tiene una posición definida por sus coordenadas.
- Al estar en el espacio, todos estos elementos están interactuando entre si guardando unas relaciones de vecindad con los demás objetos determinando una posición relativa.
- Cualquiera de estos elementos tiene una forma geométrica y puede ser representado por un punto (una válvula), una línea, (una red) o un polígono (un circuito hidráulico).
- Características propias que los definen, tales como tamaño, longitud, tipo de material, cota, usuario, que no se pueden mapear directamente. Esto implica que, los elementos del sistema están descritos además por información espacial independientemente de que esta se pueda o no representar gráficamente.

De acuerdo con Martínez (2000), dentro del Sistema de Información Geográfica, se trabajan los objetos geográficos que forman parte del sistema de acueducto y alcantarillado, y por lo tanto son descritos por los cuatro puntos enunciados anteriormente y que dentro del sistema se denominan entidades que pueden ser descritas por unas características o atributos que son almacenados para procesarlos y extraer información variada que responda a necesidades de una cantidad

cada vez más creciente de usuarios. En los estudios de suelos, la entidad principal es la unidad de mapeo de suelos y en el catastro la entidad central es el predio pudiéndose ambos representar en un mapa acompañado de unos registros con información que no se pueden mapear directamente, pero que se representan conectándolos con la parte geométrica del elemento.

1.2 Antecedentes operativos antes de la implementación del SIG en Aguas de Manizales S.A. ESP

En el año de 1996 surge Aguas de Manizales S.A. ESP como empresa encargada del tratamiento y distribución de agua potable, recolección de aguas residuales y saneamiento básico; en una concesión por un período de 30 años, hasta el año 2027. Se presenta un proceso de renovación del personal y la recién creada empresa se abre a nuevas tecnologías, entre ellas el SIG.

La administración de los sistemas de agua potable y saneamiento básico de Aguas de Manizales S.A. ESP, de acuerdo con Londoño (2010), en sus comienzos se caracterizaban por la falta de información oportuna, confiable y en tiempo real para la toma de decisiones en la operación diaria de las redes de acueducto y alcantarillado. La información no estaba fácilmente disponible y las modelaciones se limitaban a unas escasas variables que muchas veces no podían ser evaluadas al contar con procesos de manejo de información en medios físicos y manuales poco eficientes. La organización requería contar con una herramienta de gestión que tuviera la capacidad de integrar la información de toda la organización y a partir de esta generar informes geográficos, gráficos y alfanuméricos en tiempo real para el personal de ingeniería, el personal operativo y comercial e incluso para la alta dirección que permitiera la toma de decisiones oportunas, sobre bases unificadas, facilitando tanto el manejo estratégico de la organización, como el control permanente sobre la operación y funcionamiento de la misma.

Mucha de la información de las redes de acueducto y aguas residuales se manejaba en la empresa por tradición oral entre las personas encargadas y permanecía almacenada en la memoria de los funcionarios, la cual no necesariamente quedaba debidamente registrada en planos o simplemente se perdía por olvido con el transcurso del tiempo. Adicionalmente, considera Londoño (2010), mucha información almacenada en papel, como planos y estudios, al manipularse constantemente se fue deteriorando y en algunos casos se extravió por completo.

Esta situación hizo necesario que todo el proceso de montaje del SIG fuera acompañado de una estrategia de administración del cambio en donde se involucró a diferentes niveles de la organización y procesos afines con actividades de campo, captura y manejo de información y toma de decisiones relacionadas con la intervención de las redes.

Las experiencias emprendidas por otras empresas de diversos sectores sirvieron de referente para el inicio del proyecto en Aguas de Manizales S.A. ESP y fue así como en el año 1998, se realizaron visitas a Empresas de servicios públicos del país para observar el estado de cada uno de sus proyectos de manejo de información, dentro de las cuales se destacan: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla Triple A, Empresas Municipales de Cali y Emtelsa. Además, se realizaron contactos con Aguas y Aguas de Pereira, Empresas Públicas de Medellín, Gas Natural del Centro de Manizales y otras entidades municipales y regionales, con el ánimo de conocer la situación del SIG en cada una de ellas. Por último, a través de la participación del líder de la unidad SIG en un curso de Administración de Sistemas de Acueducto y Aguas Residuales en la ciudad de Gotemburgo - Suecia, se tuvo la oportunidad de conocer los sistemas de manejo de información de la Empresa de Acueducto de esa ciudad denominada Va-Verket, dando un panorama Internacional (Zuluaga, 2010b).

El común denominador observado en las visitas a estas empresas fue la necesidad de lograr un manejo integral de la información de un sistema complejo conformado por una cantidad importante de elementos distribuidos geográficamente y con un potencial enorme de ser administrados a través de la representación digital en la pantalla de un computador facilitando el proceso de toma de decisiones, de manejo y preservación de la información y optimizando las intervenciones sobre las diferentes redes.

1.3 Análisis de la línea base de la operación antes de la implementación del SIG en Aguas de Manizales S.A. ESP

El paso de Empresas Públicas a Aguas de Manizales S.A. ESP involucró no solo una transformación jurídica de la entidad, sino que también era necesario que se percibiera por parte de los usuarios una mejora evidente de los aspectos más relevantes en la prestación del servicio.

Para identificar claramente las mejoras alcanzadas a partir de la adopción de la tecnología SIG con el fin de lograr los cambios que se requerían en su momento, se hizo una descripción de la línea base

de gestión técnica y comercial al inicio de la entrada en operación de Aguas de Manizales S.A. ESP agrupada en los siguientes componentes:

1.3.1 Tiempos de respuesta a atención de daños. La atención de daños obedecía a un proceso en el cual se analizaba el impacto sobre planos físicos y se debía acudir a la experiencia y conocimiento de los fontaneros para identificar el procedimiento a seguir para aislar el daño mientras se producía la reparación, tratando de generar el menor impacto en los usuarios afectados y evitar el desabastecimiento en las zonas ajenas al daño. En muchos casos, la detección de la falla obedecía a un proceso de ensayo y error que tomaba tiempo, demostrando la gran vulnerabilidad del sistema, llegando a situaciones en que solo se conocía un cierre de válvula, dejando sin servicio más zonas de las que realmente eran afectadas por el daño y por consiguiente era mayor el número de predios sin servicio aumentando la inconformidad de los usuarios por la suspensión del servicio y dejando de facturar. Las pérdidas de agua eran muy significativas mientras se desocupaba toda una red, y el fontanero no tenía visión general del sistema (Londoño, 2010).

De otra parte, el conocimiento del estado de las redes era limitado, detalles como el tiempo de servicio de las tuberías y su material no estaban fácilmente disponibles. No existía un sistema de prevención de fallas y al no contar con información, se perdía mucho tiempo mientras se destapaba, se ubicaba el daño y se identificaba el material de la red.

1.3.2 Actualización y catastro de redes. La información relacionada con el estado de las redes, las reparaciones efectuadas en la misma, la ubicación de válvulas, diámetros de tuberías y materiales entre otros se manejaba de manera desarticulada y diferentes ingenieros dentro del área de redes podía manejar una versión diferente con respecto a los elementos del sistema, no existían bases de datos unificadas y muchas veces no había una relación coherente entre la información contenida en los planos y la realidad geográfica. Los cambios y modificaciones de la información no siempre quedaban disponibles y registrados debido a la baja cultura de actualización que existía en esa época, registra Londoño (2010).

La información era una fuente de poder sobre todo para el personal más antiguo y de mayor experiencia, mucha de la información no reposaba en los planos sino en la memoria de cierto personal, esto hacía que las personas se convirtieran en indispensables para los procesos de toma de decisiones, por lo que tampoco era conveniente reportarla.

1.3.3 Almacenamiento, procesamiento y disponibilidad de la información. Los problemas del momento, según Sanabria (2010), además del almacenamiento, pasaban por la actualización, la consulta y la distribución de la información, el almacenamiento se realizaba en una planoteca, la actualización estaba sujeta a la voluntad del reporte por parte de los ingenieros de las variaciones hechas en terreno, la facilidad para consultar un plano dependía del orden de la planoteca, y la distribución se hacía a través de copias heliográficas de los planos originales (Figura 1).

1.3.4 Estructuración del plan de inversiones. La planeación de las inversiones en la empresa se presupuestaba para ser ejecutada de manera anual, así como también para dar respuesta a las necesidades del cálculo del modelo tarifario en su componente de inversiones. Este ejercicio, considera Londoño (2010), obedecía principalmente al criterio y consenso entre los supervisores e ingenieros de zona con respecto a los tramos más afectados y a los daños más recientes presentados en el sistema, implicando una dificultad para proyectar las inversiones requeridas por el sistema en cinco años a incluir en el modelo tarifario.

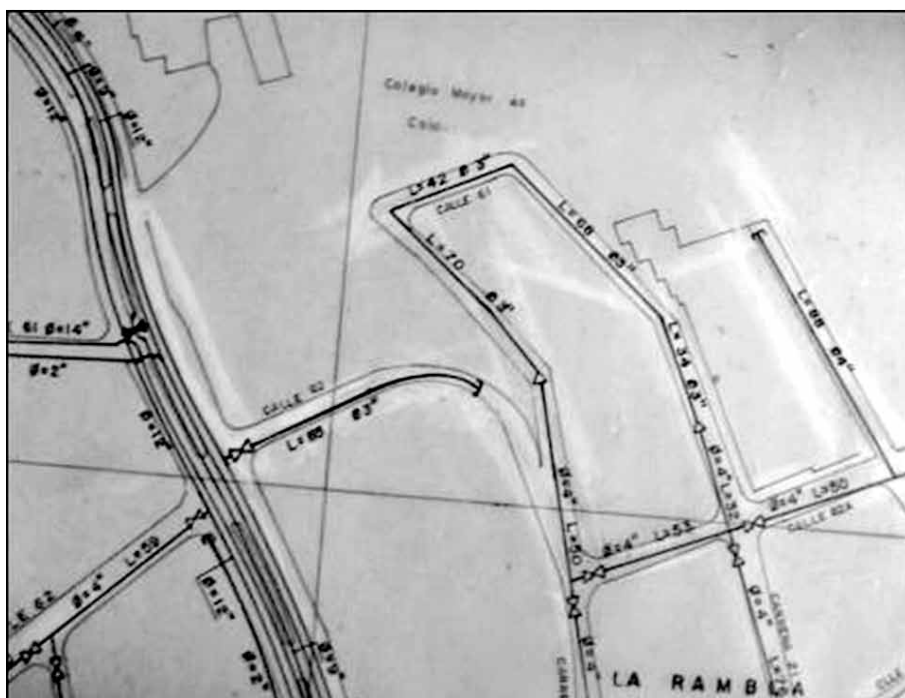


Figura 1. Copia heliográfica de plano red de acueducto (Aguas de Manizales S.A. ESP, 1970)

1.3.5 Formación y capacitación del talento humano. El nivel de educación del personal encargado de la operación y administración de la información en el sistema era muy bajo, la mayoría de personas no tenía estudios de primaria ni bachillerato, lo cual hacía difícil el proceso de diligenciamiento de órdenes de trabajo.

De otra parte, considera Londoño (2010), el personal existente manejaba los procesos de captura y procesamiento de la información en la mayoría de los casos de una manera empírica y los sistemas de información no era una herramienta disponible en los niveles operativos y técnicos, dificultando la captura de la información en su origen. Existía una barrera de entrada y era acercar al personal técnico al teclado y pantalla de un computador y el rechazo que esta nueva tecnología generaba de manera consciente e inconsciente al cambiar los procedimientos existentes.

1.3.6 Solicitud de servicios nuevos-Área comercial. El área comercial para dar respuesta a una solicitud de servicio, afirma Londoño (2010), en un proceso lento, debía verificar si el predio se encontraba en zona de alto riesgo para lo cual se debía enviar a un inspector para que realizara una revisión visual del terreno y pudiera verificar la viabilidad de ofrecer el servicio en esa zona.

2. La implementación del cambio a través del SIG

2.1 Generalidades del sistema de información geográfica

El SIG en Aguas de Manizales S.A. ESP tuvo su origen en la necesidad de atender de manera mas oportuna y ágil las intervenciones requeridas sobre el sistema de acueducto y alcantarillado empleando un instrumento tecnológico que permitiera recopilar, almacenar, organizar, analizar y desplegar toda la información de las redes de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Manizales, de las cuencas hidrográficas y de los usuarios para hacer de él una herramienta de trabajo útil que facilitara la toma de decisiones gerenciales y operativas y de esa manera garantizar la prestación de un excelente servicio a la comunidad.

Antes de conocer más detalles acerca de la implementación del SIG en Aguas de Manizales S.A. ESP es importante dar una visión conceptual acerca de los Sistemas de Información Geográfica y sus componentes.

2.1.1 Definición de SIG. «Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión» (NCGIA citado por Escobar, et al, 2001).

La funcionalidad de un SIG, consideran Escobar, et al (2001), incluye: entrada de datos, visualización de datos, gestión de datos, recuperación y análisis de la información. Una forma más general y fácil de definir los SIG es la que considera la disposición, en capas, de sus conjuntos de datos, entendiendo las capas como una serie de mapas de la misma porción del territorio, donde la localización de un punto tiene las mismas coordenadas en todos los mapas incluidos en el sistema. De esta forma, es posible analizar sus características temáticas y espaciales para obtener un mejor conocimiento de la zona.

2.1.2 Aplicaciones generales de los SIG: Escobar, et al (2001), señalan las siguientes aplicaciones:

- Cartografía de localizaciones: Los SIG se pueden utilizar en la cartografía de localizaciones. Los SIG permiten la creación de mapas por medio de cartografía automatizada, captura de datos, y herramientas de análisis.
- Mapas cuantitativos: Mapas de población, que se utilizan para localizar lugares que reúnen ciertos criterios demográficos y tomar decisiones, o para ver las relaciones existentes entre diferentes lugares. Esto proporciona un nivel de información adicional más allá de los simples mapas de localizaciones de entidades.
- Mapas de densidades: Aunque las concentraciones se pueden ver simplemente en un mapa de localización de entidades, en aquellas áreas donde existen muchas de ellas se hace complicado ver qué áreas tienen mayores concentraciones que otras. Un mapa de densidad permite medir el número de entidades en una unidad de área uniforme, tal como el metro o el kilómetro cuadrado, de forma que se puede ver claramente la distribución.
- Cálculo de distancias: Los SIG se pueden utilizar para saber qué está pasando en un radio determinado alrededor de una entidad.
- Cartografía y detección del cambio: Los SIG se pueden utilizar para cartografiar el cambio en una zona para predecir condiciones futuras, tomar decisiones, o evaluar los resultados de una acción o una política concreta.

2.1.3 Datos para aplicaciones SIG.: Según Escobar, et al (2001), incluyen - Datos digitalizados y escaneados, - Bases de datos, - Muestreo de campo con GPS, e - Imágenes de satélite y fotografía aérea.

2.1.4 Ventajas del uso de los SIG. De acuerdo con Borcosque (1997), la implementación de los Sistemas de Información Geográfica en una organización trae consigo las siguientes ventajas:

- Mejorar el ordenamiento de los datos referenciados espacialmente
- Recuperación de la información de manera inmediata.
- Proporcionar herramientas computacionales capaces de realizar variados tipos de manipulación de datos, (mediciones de mapas, la sobre posición de mapas, transformaciones de los formatos de los datos, diseños gráficos y manejo de bases de datos).
- Reducir costos de procesamiento de los datos, especialmente en las etapas de actualización de los mismos.
- Facilitar el diseño gráfico interactivo a través de las herramientas de dibujo automatizado, las que a su vez posibilitan acelerar y mejorar las tareas cartográficas tradicionales y diversificar la cartografía temática
- Permitir en forma gráfica e iterativa realizar pruebas y calibraciones de modelos conceptuales que se deseen aplicar sobre el espacio
- Facilitar el análisis de los procesos espaciales para distintos períodos
- Permitir ciertas formas de análisis que manualmente resultarían muy costosas o ineficientes. Tal es el caso del análisis digital de terreno, cálculos tales como pendientes, intensidad de insolación, sobre posición de conjuntos complejos de polígonos, entre otros
- Permitir la incorporación constante de nuevas aplicaciones, en respuesta a nuevas necesidades de los usuarios.

2.1.5 Errores en la implementación de un SIG. Para Borcosque (1997), los errores pueden ser clasificados en:

- Errores de recolección y registro de datos,
- Errores de manipulación y análisis de los datos,
- Errores teóricos,
- Errores de interpretación de datos

2.2 El modelo de datos como eje central de la implementación del sistema de información geográfica

La idea de almacenar y manipular el sistema de acueducto y alcantarillado en un computador obliga a tener un conocimiento profundo de la realidad que se va a modelar y a generar las abstracciones de los elementos y los modelos que permitan pasar al computador dicha

abstracción, este proceso es parte fundamental al realizar la implementación de un SIG.

«El modelo datos es un concepto sistémico para representar parte del mundo real en un sistema manejador de bases de datos. Al diseñar el modelo de datos para un Sistema de Información Geo-referenciada, básicamente se tienen en cuenta dos premisas: Uso y objetivos que cumplirá el sistema (funciones a desempeñar) y clase de objetos que se van a manipular con sus atributos y relaciones (información necesaria para cumplir con las funciones)» (Martínez, 2000, 7). El diseño del modelo de datos es tal vez uno de los aspectos más importantes en la concepción del Sistema de Información Geográfica ya que de él se desprende toda la conceptualización y posterior implementación del sistema evitando confundir la implementación del SIG con un simple proceso de digitalización y tecleado de datos en el computador.

La planeación del diseño y montaje del Sistema de Información Geográfica en Aguas de Manizales S.A. ESP se hizo teniendo en cuenta que se iban a gestionar objetos que existen en la realidad: redes, válvulas, tanques, hidrantes que tenían características que los diferenciaban guardando relaciones espaciales que se debían conservar; por lo tanto, se tuvo muy presente una adecuada conceptualización que permitiera un excelente diseño del modelo de datos.

Un buen diseño del modelo de datos permitirá manipular digitalmente los objetos tal cual como aparecen en la realidad, con lo cual, se convertirán imágenes de fenómenos reales en señales que se interpretan en el computador como datos que harán posible analizar los objetos que ellas representan y manipularlos para extraerles información.

El diseño del modelo de datos en Aguas de Manizales S.A. ESP, consideró las siguientes etapas:

2.2.1 Conceptualización. En este punto, se llevaron a cabo los análisis que permitieron comprender y esquematizar el sistema de acueducto y alcantarillado a modelar con todos sus elementos y relaciones tomando como punto de partida las siguientes premisas:

- Análisis de los objetivos de prestación del servicio de acueducto y alcantarillado de la empresa, para determinar con ello los objetivos que debía cumplir el SIG.
- Análisis de la información y los datos que se usan y producen en la empresa para realizar cada proceso, determinando qué dato entra a cada proceso y que dato sale del mismo.

- Estudio de los requerimientos de información de los usuarios internos y externos.
- Esquematización del flujo de la información de los diferentes procesos relacionados con la operación del sistema.

2.2.2 Diseño. Con el conocimiento profundo sobre qué hace la empresa, con los análisis efectuados sobre la información y los datos utilizados, el siguiente paso fue el diseño de los modelos que en forma abstracta representan el paisaje a modelar y que permiten su almacenamiento y manipulación en el computador. Para ello fue fundamental la determinación de las entidades y los atributos con las relaciones que aquellas guardan entre sí.

Es importante recordar que las entidades espaciales que se van a modelar, son aquellos elementos del sistema que se requieren estrictamente para poder realizar los procesos, por esto, al determinarlas se deben seleccionar cuidadosamente para no involucrar en el sistema datos que solo ocuparán espacio pero no tendrán utilidad alguna o al contrario, dejar por fuera elementos importantes para el proceso. Toda entidad debe existir en la realidad y por lo tanto tiene que aparecer en los modelos. (Martínez, 2000).

• **Diseño del modelo conceptual.** Este modelo consiste en la conceptualización de la realidad por medio de la definición de objetos de la superficie de la tierra (entidades) con sus relaciones espaciales y características (atributos) que se representan en un esquema en el papel describiendo esos fenómenos del mundo real con un alto grado de abstracción que sea comprendido por el usuario. El modelo conceptual se definió como una abstracción del sistema que no existía en la realidad sino en la mente de los diseñadores; los diferentes esquemas metodológicos utilizados para representar dicha abstracción, permitían mostrar el sistema a través de sus entidades y relaciones.

En los SIG., sobre todo si tienen algo de complejidad, se debe pensar en un modelo entidad-relación que garantice la organización de todas las entidades con sus relaciones obteniendo un medio efectivo para mostrar los requerimientos de información, organización y documentación necesarios para desarrollar el SIG y la clase de datos que se estarán manipulando, además este modelo debe ser muy similar a la percepción que tienen los usuarios sobre los datos y las aplicaciones. (Martínez, 2000).

Las relaciones espaciales que pueden tener los elementos del sistema se clasifican en dos tipos: Implícitas y explícitas

Las *relaciones implícitas* las define la naturaleza misma y existen permanentemente impleméntese o no un SIG como es el caso de los bosques y los ríos; los suelos y el relieve en que la relación es muchos a muchos. Las relaciones implícitas son resueltas en forma digital por una superposición que genera un tercer mapa que muestra como interactúan los dos elementos, es decir que no es necesario abrir una tercera entidad una *tabla de paso* que conecte las dos entidades, este es la caso que más se presenta cuando se manipulan elementos concernientes a los recursos naturales. (Martínez, 2000).

Las *relaciones explícitas* se refieren a las que se tienen que definir por cuanto su existencia no es por *defecto* como al intentar mostrar la relación que hay entre los predios y los propietarios en que se debe abrir una tercera tabla que permita romper la relación muchos a muchos, las relaciones implícitas se presentan entre elementos espaciales mientras las explícitas entre elementos no geo-referenciables o al relacionarlos con elementos del sistema. (Martínez, 2000).

• **Diseño del modelo lógico.** Se puede definir como la descripción detallada de las entidades, clasificación, codificación y simbolización de los elementos, descripción de procesos y de salidas finales que producirá el SIG, para esto se requiere:

- Definir las reglas que rigen los procesos que se van a modelar.
- Describir las entidades.
- Clasificar los elementos
- Codificar los elementos
- Asignarles las reglas de representación (símbolos, prioridades)
- Describir los análisis y salidas de mayor uso.

El modelo lógico, considera Martínez (2000), es el que permite implementar en el computador la abstracción que se diseño en el modelo conceptual y por lo tanto, se trata de describir en forma lógica, o sea comprensible para el computador, toda la información. Para lograr el diseño, se deben describir los atributos que caracterizan cada entidad, los identificadores, conectores, tipo de dato (numérico o carácter) y su longitud; además, se define la geometría (punto, línea o área) de cada una de ellas. (Martínez, 2000).

Es en esta etapa que se elaboraron las estructuras en que posteriormente se almacenaron todos los datos, tomando como base el Modelo conceptual desarrollado anteriormente; se hizo una descripción detallada de las entidades, los procesos y análisis que se llevaban a cabo, los productos que se esperaban obtener y la preparación de los menús

de consultas para los usuarios. Es importante recalcar que existe una relación directa entre la estructura de los datos y los análisis y el uso que se pueda dar a la información.

2.3 Contribución del SIG en la optimización operativa de la empresa

A partir de un adecuado proceso de estructuración de modelo de datos en el cual se identificaron los diferentes elementos presentes en el sistema, se hizo una descripción detallada de todas sus variables y atributos y se establecieron todas las relaciones lógicas entre los mismos, se implementaron una serie de aplicaciones específicas que permitieron a partir de las utilidades del SIG facilitar y optimizar la gestión operativa en la empresa.

2.3.1 Aplicación de consulta. Esta aplicación está desarrollada en el lenguaje de programación *Visual Basic* y *Map Objects* o software de programación de la casa ESRI, el cual permite crear una plataforma SIG personalizada, independiente y auto-ejecutable en ambiente Windows, sin la necesidad de un software motor tal como ArcView o Arc/Info. Zuluaga (2010a) considera que esta aplicación permite:

- Despliegue gráfico de la información de los sistemas de acueducto y aguas residuales, o localización e interconexión de tuberías y accesorios de las redes con sus características asociadas, permitiendo todo tipo de consultas dependiendo del modelo entidad relación definido.
- Consulta de información espacial y atributiva en formato shp (Arc-View), coberturas (ArcInfo), o SDE en conjunto con un manejador de bases de datos (SQLServer o Oracle). Por ejemplo información cartográfica y catastral del IGAC, usos del suelo, estratificación, información comercial de la empresa, entre otros.
- Gestión de daños de acueducto y aguas residuales, y diagnóstico de redes de aguas residuales. Administración de la información de puntos que señalen un daño de acueducto o alcantarillado en las respectivas redes, manejo gráfico e histórico de los mismos, permitiendo despliegue por zonas de la ciudad, rangos de fechas de ocurrencia del daño, tipo de daño, entre otros. Manejo de programas de reposición de redes de aguas residuales a partir de la información obtenida con el equipo de inspección (cámara de video) asociada a los tramos de tuberías.
- Asociación de archivos de imágenes a elementos del sistema y su despliegue, por ejemplo fotografías, planos, manuales de operación en formato digital de los elementos de acueducto y aguas residuales.

2.3.2 Aplicación del modelamiento operativo e hidráulico. El mismo autor (Zuluaga, 2010a), también contempla las siguientes aplicaciones:

- Simulación operacional del sistema de acueducto, o determinación del efecto de un evento (suspensión del servicio) determinado, con predios y/o sectores afectados. Como eventos se consideraron los siguientes: cierre ó apertura de una o varias válvulas, Interrupción de un tramo de tubería, y selección de un sector cualquiera para aislamiento del resto del sistema.
- Simulación hidráulica de alcantarillados combinados. Se cuenta con un modelo en capacidad de arrojar resultados que permiten observar el comportamiento hidráulico de las tuberías aguas abajo del sistema simulado luego de adicionar nuevos caudales a la red. Esta aplicación de alcantarillado permite además considerar la interconectividad de elementos y por lo tanto los efectos que tendría una interrupción cualquiera aguas arriba y aguas abajo.
- Control de programas de mantenimiento de elementos de acueducto y alcantarillado. Aplicación que permite la programación y actualización frecuente de las actividades de mantenimiento y operación de válvulas, ventosas, purgas, tuberías de agua potable y alcantarillado, tanques, cámaras de inspección de alcantarillado, imbornales y obras especiales, contando con su respectivo despliegue gráfico de consultas.

2.3.3 Aplicación temática de manejo ambiental. Viendo la importancia de la información de las cuencas hidrográficas y su relación con el sistema de acueducto, se incluyó, afirma Zuluaga (2010a), dentro del alcance de la fase inicial del Sistema de Información Geográfica *el manejo temático de planos de parámetros hidrológicos e hidráulicos de las cuencas* para su análisis básico.

Todas las aplicaciones mencionadas han sido desarrolladas sobre el software ArcInfo, en el cual son desplegadas. Además de esto el SIG de Aguas de Manizales S.A.ESP emplea la cartografía catastral digital de 2003 a escala 1:2.000 para la zona urbana y escala 1:10.000 para la zona rural.

2.4 Obstáculos relevantes presentados en la implementación

Los obstáculos tecnológicos relacionados con la precisión de la información cargada al sistema, la obtención de un mapa digital confiable, la elaboración del catastro con equipos GPS fueron superados de manera oportuna y no representaron mayores retrasos en la implementación del

SIG, sin embargo, uno de los principales obstáculos encontrados fue la dificultad de lograr un cambio cultural inmediato de los ingenieros y diferentes usuarios del sistema, quienes no tenían confianza en la calidad de la información del sistema y seguían con sus planos viejos de Empresas Públicas de Manizales en sus oficinas, el personal de campo no reportaba más del 50% de los trabajos realizados y consideraban que era un trabajo adicional, inútil y que no les proporcionaba ningún beneficio.

Con la ayuda de decenas de socializaciones y capacitaciones a todo el personal operativo, desde el subgerente técnico hasta los obreros y la implementación de indicadores se logró que cada vez creciera esta cultura SIG. De otra parte se llevó a cabo un procesos de “descentralización del sistema”, con el cual se buscaba una conexión en red del Sistema de Información Geográfica a diferentes computadores y usuarios de la empresa, para la consulta y despliegue de información, ampliando su alcance a todas las personas de la empresa que requerían de sus aplicativos.

3. Beneficios alcanzados con la implementación de la tecnología SIG

Como resultado de la adecuación de las utilidades del SIG a las necesidades particulares de Aguas de Manizales S.A. ESP a través de una adecuada planeación del modelo de datos y del desarrollo de las diferentes aplicaciones, la empresa logró optimizar el uso de esta tecnología logrando unas mejores significativas en los diferentes componentes del sistema.

3.1 Tiempos de respuesta a atención de daños

Con la implementación del SIG, ahora es posible calcular cuales son las válvulas que se deben cerrar para aislar el daño y obtener el cierre de menor afectación en cuanto a número de usuarios y continuidad del servicio, el operador informa vía radio al supervisor de turno cuales son las direcciones de las válvulas y el identificador de cada una de las mismas.

De otra parte, la implementación del SIG permitió tener la posibilidad de saber cuál es la tubería rota antes de tener que realizar una excavación y poder anticiparse a la solicitud de materiales para la atención del daño, optimizando enormemente los tiempos de respuesta a daños. En la figura 2 se muestra como el SIG hace un reporte gráfico de concentración de daños.

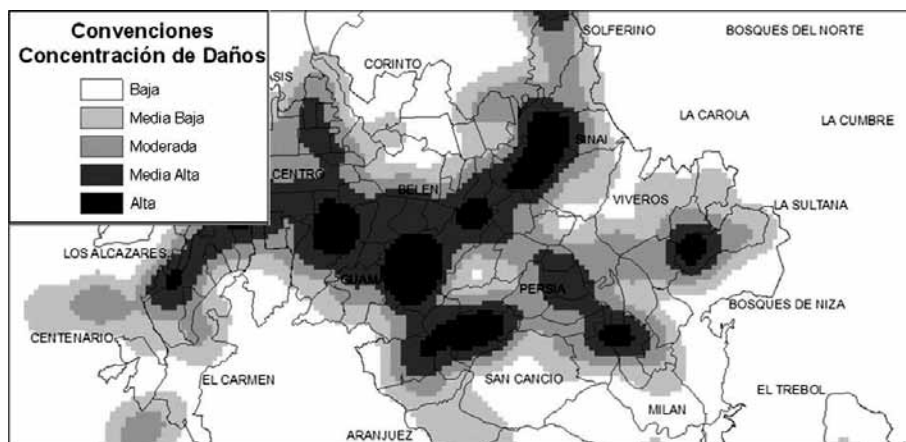


Figura 2. Análisis de concentración de daños (Aguas de Manizales, 2010a)

3.2 Actualización y catastro de redes

El inventario de las redes instaladas (Catastro de Redes) ahora se lleva de manera digital y georreferenciada, lo que facilita tener un panorama general del sistema, realizar consultas y reportes del estado y material de las tuberías, longitud de red, vida útil de las tuberías y accesorios, daños, presiones estáticas y dinámicas, circuitos hidráulicos, zonas de operación, información sobre los usuarios y sus consumos, entre otras consultas.

3.3 Almacenamiento, procesamiento y disponibilidad de la información

La información de todo el sistema y sus elementos se maneja de manera digital, actualizando permanente cualquier cambio o intervención sobre el mismo, producto de órdenes de trabajo o reparaciones, garantizando su disponibilidad en todo momento y conservación. La información se encuentra centralizada y la fuente de consulta se unificó para todas las instancias de consulta en la empresa.

3.4 Estructuración del plan de inversiones

Un ejemplo del apoyo que brinda el SIG en la optimización de la planeación de inversiones se presenta en la instalación de hidrantes. Según el RAS², debe existir una cobertura de hidrantes de uno por cada 100 m a

² Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico. El Reglamento fija los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, señaladas en el artículo 14, numerales 14.19, 14.22, 14.23 y 14.24 de la Ley 142 de 1994, que adelanten las

la redonda, realizar la medición de esta disposición en terreno es una labor muy dispendiosa. Con ayuda del SIG se puede hacer un análisis espacial para determinar en que sectores están haciendo falta la presencia de hidrantes, haciendo uso de una herramienta de proximidad de buffer tal como se muestra en la figura 3.

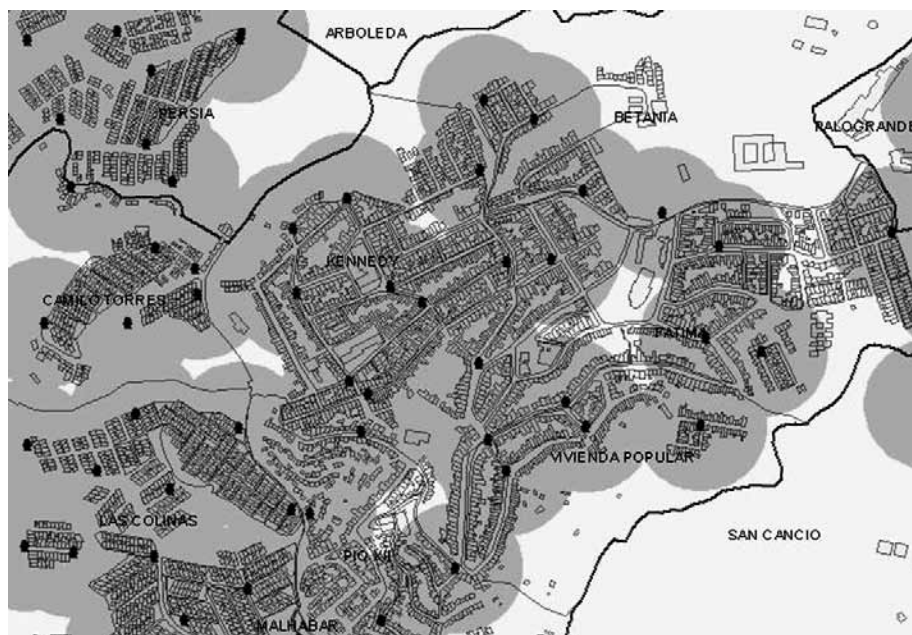


Figura 3. Análisis de radio de cobertura de hidrantes por sectores de la ciudad. (Aguas de Manizales, 2010a)

De otra parte, debido a la topografía de la ciudad se presentan altas presiones en las redes por lo cual es necesaria la implementación de válvulas reductoras de presión, la ubicación en campo de las altas presiones y donde se deben ubicar las válvulas es muy complejo. Con el apoyo de un modelo de datos *raster* del SIG, es mucho más eficiente realizar un análisis espacial de distribución, densidad y de superficie permitiendo determinar las zonas de más alta presión de la tubería de la ciudad en donde es necesario instalar las válvulas reductoras de presión.

La reposición de tuberías no necesariamente obedece a una variable de antigüedad o de tipo de material. Para establecer este análisis en el SIG se realiza el cruce de la capa de las redes de tubería, con la capa

entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces.

de daños y se obtiene cuales son los tramos de red en un determinado lapso de tiempo que mas han presentado daños y determinar de esta manera la necesidad de reposición.

Lo anterior, es posible gracias a que se ha implementado una cultura de registrar en el SIG de manera inmediata, todos los daños ocurridos en la red durante el día, lo cual permite establecer un historial de las tuberías más vulnerables y por consiguiente optimizar la planificación de la inversión, la priorización de obras y la determinación de problemas hidráulicos.

3.5 Formación y capacitación del talento humano

La implementación del SIG y la necesidad que intervinieran en él niveles operativos de la empresa, obligó a generar un programa de formación académica dirigido a aquellos operadores, fontaneros y supervisores que no contaban con estudios de educación básica primaria y fortaleciendo de otra parte las habilidades para el manejo del computador para algunos ingenieros.

3.6 Solicitud de servicios nuevos en el área comercial

La factibilidad de prestar los servicios de acueducto y alcantarillado a un usuario nuevo está basada en la disponibilidad de redes en el sector, el SIG se utiliza para consultar si se cuenta con redes o no y así evitar la inspección en campo y agilizar la respuesta al usuario. Así mismo, es posible establecer si el predio se encuentra en una zona de alto riesgo en la cual se tenga restringida la prestación del servicio.

Otra utilidad es la integración realizada entre el SIG y el sistema comercial, al tener los usuarios referenciados geográficamente en el sistema y acceder a los datos básicos como nombre, teléfono, último consumo, valor de la última factura, estrato, entre otros. Un ejemplo de esta utilidad se puede observar en la figura 4 que muestra la concentración de estratos de la ciudad.

3.7 Otros beneficios

En el SIG es posible registrar las presiones en diferentes puntos del sistema, esto permite realizar mapas isobáricos (igual presión) que ayudan a determinar problemas hidráulicos. También ha sido utilizado como elemento probatorio para la resolución de procesos jurídicos, al contar con una herramienta que permite simular el comportamiento de los flujos de agua producto de una fuga por la rotura de una tubería, empleando un análisis de escorrentía sobre un modelo de datos digital del terreno.

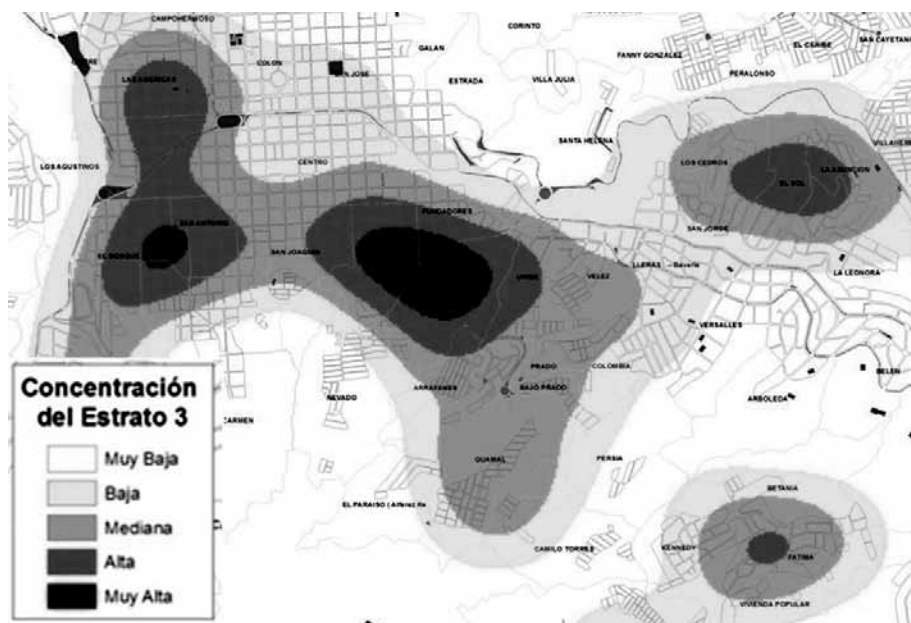


Figura 4. Concentración del estrato 3 en la ciudad. (Aguas de Manizales, 2010a)

En el campo del saneamiento hídrico, con ayuda del SIG es posible determinar en que lugar específico descola un área aferente a una población y realizar el cálculo de la carga contaminante DBO y DQO de un circuito determinado para planear el modelo de saneamiento de la ciudad por sectores específicos.

4. Conclusiones

- El Sistema de Información Geográfica implementado en Aguas de Manizales S.A. ESP, se ha convertido en una herramienta importante de administración de los activos que hacen posible la operación del sistema y permiten su ubicación en un entorno geográfico, facilitando tareas de operación y mantenimiento, planificación y priorización de inversiones, reducción de tiempo de atención de daños, estructuración de perímetros hidráulicos y sanitarios, coordinación de reposición de infraestructura con otras entidades relacionadas, análisis comerciales de consumos, cartera, estratificación, entre otros.
- Al combinar las propiedades de las bases de datos alfanuméricas, con la información geográfica en un solo ambiente, la empresa ob-

tuvo nuevas posibilidades en la edición, consulta y tratamiento de la información, todos los datos alfanuméricos que corresponden a un objeto (válvula, tubería, accesorio, predio, medidor, etc.) tiene enlazada su propia información alfanumérica y es posible establecer relaciones con otras tablas, bases de datos y archivos para la realización de consultas específicas.

- Una característica del Sistema de Información Geográfica como lo es el manejo inteligente de las redes geométricas, permitió en Aguas de Manizales S.A. ESP la posibilidad de tener una estructura con comportamiento específico (en este caso los componentes de la red de distribución de acueducto: redes de aducción, conducción y distribución, accesorios, válvulas, acometidas y medidores), posibilitando fabricar un modelo de flujo del agua dentro del sistema, así como el poder diseñar una serie de reglas que validen aquellos elementos que puedan existir entre un tramo de tubería y otro; en otras palabras interpretar de la mejor manera posible la realidad del comportamiento de la infraestructura instalada.
- Como resultado de la implementación del modelo de datos y del establecimiento de las relaciones entre los diferentes elementos del sistema, la implementación de una red geométrica sobre el sistema de acueducto y alcantarillado, es un complemento fundamental en la función del SIG ya que permite la disminución de errores de digitación al contar con una gran cantidad de dominios y subtipos.
- El nivel de madurez de implementación del SIG y la cultura de operación entorno a él, hacen factible pensar en la posibilidad y en la necesidad de desarrollar una integración mas avanzada con el ERP (*Enterprise resource planning*) de la empresa de tal forma que pueda apoyar los diferentes procesos y facilitar la toma de decisiones en diferentes niveles de la organización. Actualmente aunque esta integración existe, solo presenta en aspectos relacionados con temas comerciales principalmente con información de usuarios y sus variables asociadas, sin embargo el SIG podría representar un apoyo y complemento muy importante en la gestión administrativa y gerencial de la empresa.
- Alineado con los objetivos estratégicos de la empresa el desarrollo de una herramienta de consulta vía web, es una utilidad que puede representar beneficios importantes para manejar otros negocios de operación de acueducto y alcantarillado unificados desde un mismo servidor y con una sola administración.

Bibliografía

- ACUEDUCTO. AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. (2004). Descripción del Sistema de Información Geográfica Unificado Empresarial (SIGUE) de la Empresa de acueducto. [En línea]. Bogotá DC: Acueducto de Bogotá. <<http://web.acueducto.com.co/sigueweb/pdf/SIGUE.pdf>>. [Consulta: 22/02/2010]
- AGUAS DE MANIZALES S.A. ESP (2010a). Proceso SIG: Descripción de los elementos del sistema de acueducto y alcantarillado. Manizales: Aguas de Manizales S.A. ESP 5 p. [Documento interno de trabajo].
- AGUAS DE MANIZALES S.A.ESP (2010b) Área Comercial: Descripción de los suscriptores por estrato y tipo. Manizales: Aguas de Manizales S.A. ESP 5 p. [Documento interno de trabajo].
- BORCOSQUE, J. (1997). Apuntes sobre Sistemas de Información Geográficos. Material de Clases. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile. 120 p.
- CHANG, Kang-tsung. (2002). Introduction to Geographic information systems, 5 ed. Nueva York: McGraw Hill. 392 p. ISBN: 0072382112 (HB).
- COMAS, D. y RUIZ E. (1993). Fundamentos de los Sistemas de Información Geográficos. Barcelona: Ariel. 295 p. ISBN: 84-344-3452-0.
- ESCOBAR, F.; HUNTER, G.; BISHOP, I. and ZERGER, A. (2001). Introducción a los SIG [En línea]. Victoria: Department of Geomatics, The University of Melbourne. <<http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/>> [Consulta: 12/03/2010]
- FELICISIMO ÁNGEL, Manuel (2001). Conceptos básicos, modelos y simulación. [En línea]. Cáceres: Universidad de Oviedo. <http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_1.pdf>. [Consulta: 12/03/2010]
- GOODCHILD, Michael. (2000). The current Status of GIS and Spatial analysis. En: Journal of Geographical Systems. No. 2, (mayo, 2000). Santa Barbara: National Center for Geographic information and analysis, University of California. p. 5-10.
- GUTIÉRREZ, J. y M. GOULD. (1994). SIG: Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Síntesis S.A. 251 p. ISBN: 84-7738-246-8
- KERANEN, K., y KOLVOORD, R. (2008). Making spatial decisions using GIS. Redlands: ESRI press. 212 p. ISBN: 9781589481831.
- LAW, Derek. (2007). Better data use, Workflows, and Communication. En: ArcUser. Vol.10, No. 3. (July-September 2007). Redlands: Business Management. p. 12-13.
- LO, C.P. y YEUNG, A.K. (2006). Concepts and techniques of geographic information systems. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall. 544 p. ISBN:9780131495029
- LONDOÑO TRUJILLO, Sandra (2010). Descripción de la prestación del servicio en Aguas de Manizales S.A. ESP antes de la implementación del SIG. [Documento interno de trabajo].
- LÓPEZ DOMÍNGUEZ, Luis Horacio y ARBOLEDA GONZALEZ, Carlos. (1998). Manizales Ciudad del Agua. Manizales: Instituto Caldense de Cultura. 160 p.
- MARTÍNEZ M., Yovanny A. (2000). Conceptos básicos para conceptualización y diseño de SIG. Bogotá D.C.: Universidad Distrital, 17 p. [Documento interno de trabajo].
- MATEUS SANABRIA, Rubén Dario; SUA TUNJANO, Sonia Mireya y FRANCO AGUILERA, Carol Andrea. (2006). Sistema de administración de información espacial. Primera edición. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander Humboldt. 150 p. ISBN: 978-958-8151-97-7.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. (Colombia). Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento básico, Ras – 2000. Bogotá D.C.: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. 94 p.
- OLAYA, Víctor; LUACES, Miguel y ORELLANA, Daniel. (2007). Sistemas de Información Geográfica. [En línea]. Madrid: OSGEO. Capítulo local de la Comunidad Hispanohablante. <https://svn.osgeo.org/osgeo/book/es/libro_sig/PDF/Libro_SIG.pdf>. [Consulta:15/02/2010].
- ORGANIZACIÓN DE ESTADOS AMERICANOS (1993). Capítulo 5: Sistemas de Información Geográfica en el manejo de peligros naturales. [En línea]. Washington, D.C.: OEA. <<http://www.oas.org/osde/publications/Unit/oea65s/ch10.htm#TopOfPage>>. [Consulta 12/03/2010]

- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (2000). Módulo de acceso a servicios. [En línea]. Manizales: OPS. <<http://www.col.ops-oms.org/Municipios/Manizales/modservicios.htm>>.[Consulta: 22/02/2010].
- ORMSBY, T.; NAPOLEON, E.; BURKE, R.; GROESS, C. y FEASTER, L. (2004). Environmental Systems Research Institute (ESRI). Getting to Know ArcGIS (GTArcGIS). 2 ed. Redlands: ESRI press. 569 p. ISBN: 1-58948-083-X.
- PROCALCULO-PROSIS. (2004). Que es un SIG?. [En línea]. Bogotá: Procalculo-Prosisis. <<http://web.acueducto.com.co/sigweb/pdf/QuesSIG.pdf>>.[Consulta: 22/02/2010].
- RUNQUIST, Sh.; ZHANG, N.; and TAYLOR, R. (2001). Development of a field level geographic information system. En: Computers and electronics in agriculture. Vol. 31, (abril,2001). Manhattan: Elsevier Science B.V. p. 201-209.
- SANABRIA MARTÍNEZ, Ricardo. (2010). La evolución de los SIG enmarcada en el contexto particular de una empresa de servicios públicos, 4 p. [Documento interno de trabajo].
- SARRIA, Alonso. (2006) Sistemas de Información Geográfica. [En línea]. Murcia: Licenciatura de Geografía, Universidad de Murcia <<http://www.um.es/geograf/sigmur/>> [Consulta: 02/03/2010]
- SLOCUM, T.A.; MCMASTER, R.B.; KESSLER, F.C. and HOWARD, H.H. (2009). Thematic cartography and geovisualization. 3 ed. New Jersey: Prentice Hall (Pearson). 498 p. ISBN-100132298341.
- TOMLINSON, Roger. (2008). Pensando en el SIG. Planificación del Sistema de Información Geográfica dirigida a Gerentes. 3 ed. Redlands: ESRI Press. 274 p. ISBN: 9781589482296.
- TOMLINSON, Roger. (2009). Changing the FACE of Geography: GIS and the IGU. En: ArcNews. Vol. 31, No 1. (Spring, 2009). Redlands: ESRI. p 3-5. ISSN 2072-4292.
- ZULUAGA TOBÓN, Juan Martín. (2010a). Descripción de Aplicaciones SIG de Aguas de Manizales. Manizales: Aguas de Manizales S.A. ESP 3 p. [Documento interno de trabajo].
- ZULUAGA TOBÓN, Juan Martín. (2010b). La implementación del Sistema de Información Geográfica de Aguas de Manizales. ¡Un esfuerzo de todos!. Manizales: Aguas de Manizales S.A. ESP 2 p. [Documento interno de trabajo].