

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADA A LA LOCALIZACIÓN
Y ANALISIS DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN LAS REDES DE LOS
USUARIOS DE LA EMPRESA IBAL EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ**

**CARLOS ANDRES CAMACHO ACUÑA
DIEGO ARMANDO HENAO ZULUAGA**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2018**

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADA A LA LOCALIZACIÓN
Y ANALISIS DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN LAS REDES DE LOS
USUARIOS DE LA EMPRESA IBAL EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ**

**CARLOS ANDRES CAMACHO ACUÑA
DIEGO ARMANDO HENAO ZULUAGA**

Trabajo de Grado presentado como opción para optar
Al título de Especialista en sistemas de Información Geográfica

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2018

AGRADECIMIENTOS

Cada paso que se inicia tiene dificultades y retos que afrontar, pero sin ellos no sería tan satisfactorio cuando ves cumplido los objetivos. Y al suceder de esta manera, te motiva a tener unos objetivos nuevos para cumplirlos.

Cuando tenemos estos retos son más fáciles de sortear, si no estamos solos. Es por esto que agradezco a: Dios por estar a mi lado y escucharme en los momentos que más lo he necesitado.

Al IBAL por permitirme un crecimiento como profesional y brindarme las herramientas necesarias para obtener este logro. A todos los instructores y la universidad, que nos dio el conocimiento para ponerlo en práctica; a mis compañeros de clase que me apoyaron en este crecimiento.

A mi compañero de tesis, ya que logramos obtener importantes resultados; a mi mamá, mis hermanos y mi señora. Ellos son fundamentales en cada logro que tengo, pues sus consejos y comprensión me ayudaron a transitar este camino.

Finamente solo quiero decir gracias, este logro no es solo mío. Es de todos.

Carlos Andrés Camacho Acuña

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme cada día, a mis padres María Consuelo Zuluaga y Armando Henao por todo el amor y el apoyo que me brindan; a mis hermanos Ricardo Andrés y Ángela Tatiana por su compañía y comprensión.

A mi novia Ángela María por su cariño y paciencia en mi abandono, a mis compañeros de estudio Carlos Camacho, Alejandro Duque, Juan David España y los demás compañeros que compartimos en este ciclo, a los profesores de la especialización que compartieron cada uno de sus conocimientos y experiencias para nuestra formación. A los demás mil y mil gracias.

Diego Armando Henao Zuluaga

CONTENIDO

GLOSARIO	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEÓRICO	15
5. METODOLOGÍA	22
5.1 TIPO DE TRABAJO.....	22
5.2 PROCEDIMIENTO	22
6. RESULTADOS	28
7. CONCLUSIONES	35
8. RECOMENDACIONES	36
9. BIBLIOGRAFÍA	37

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Formato de recolección de datos de campo usado por el IBAL.	23
Figura 2. Almacenamiento físico de los daños reportados en el IBAL.	23
Figura 3. Base de datos con dominio y campos.	26
Figura 4. Puntos de fugas en ArcGis Online.	27
Figura 5. Visor de las fugas de la ciudad de Ibagué en Web mapping application.	27
Figura 6. Dominios en Blanco de la GDB	28
Figura 7. Campos en Blanco en la GDB	28
Figura 8. Vista de fugas de la ciudad en ArcGis Online	29
Figura 9. Capacitación del personal en el manejo de la herramienta	30
Figura 10. Puntos recolectados en Collector.	30
Figura 11. Vista base de datos en Collector.	31
Figura 12. Vista de la base de datos en el Web mapping application.	31
Figura 13. Vista de informes en el Web mapping application.	32
Figura 14. Mapa de fugas por distrito	33
Figura 15. Mapa de Calor de concentración de fugas	33
Figura 16. Mapa de fugas por estrato.	34

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dominios de la base de datos	25
Tabla 2. Campos de la base de datos	26

GLOSARIO

Acometida domiciliaria: Derivación de la red matriz y conduce el suministro de agua desde la red propiedad de la empresa al predio, las acometidas domiciliarias suelen ser en un diámetro de ½ pulgada.

Arreglo: Reparación de la fuga. Esta actividad es realizada por los contratistas.

Daño: Ruptura de la acometida domiciliaria, estas fallas suelen suceder por desgaste de los materiales, mala calidad del material, sobre presiones o influencia externa.

Distrito hidráulico: perímetro de servicio de los tanques de la empresa, este perímetro se encuentra a una altura inferior del tanque para poder dar servicio a los usuarios por gravedad.

Catastro: Almacena y registra información como especificaciones técnicas, ubicación, fotografías y demás datos que sean necesarios. Esta información es útil para realizar análisis y evaluaciones por parte de la empresa.

Geo codificación.

Asignación de coordenadas a un punto, en este proceso se tomaron las direcciones de una tabla de Excel y con el apoyo de software se ubicó en un mapa las direcciones.

RESUMEN

La ciudad de Ibagué cuenta con servicio de agua potable, que está a cargo de la empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL. Entidad que pertenece al sector público y que cada día debe realizar reparaciones por fugas entre 25 a 30 veces. El 77% de estas fugas son en las acometidas domiciliarias, que son propiedad de los usuarios. Previamente se pudo establecer que el IBAL repara estos daños y no guarda los registros en bases de datos digitales; además estas reparaciones no están espacializadas.

Este hecho nos indica que: La problemática radica en que día a día la empresa está ejecutando reparaciones correctivas y no preventivas. Pero, si la empresa conociera las zonas de la ciudad donde se presentan la mayoría de las fugas, se podría realizar cambios de red, que evitaría muchas fugas. Al disminuir el índice de fugas, se evitarían costos de reparación, daño en las vías y tiempo sin servicio a los usuarios.

Como solución a la problemática, realizamos el levantamiento de la información existente en hojas impresas y la espacializamos; luego realizaremos una base de datos geográfica para que el IBAL, desde dispositivos móviles y desde computadores pueda cargar y ver en tiempo real, la posición e información de las fugas que se están reparando, para que esta información sea analizada y convertir al SIG en una herramienta fundamental en la toma de decisiones de la empresa.

PALABRAS CLAVES: IBAL, Fugas, Sistemas de información geográfica, Base de datos.

ABSTRACT

The city of Ibagué has potable water service, which is in charge of the Ibagué's aqueduct and sewerage company - IBAL.

Entity that belongs to the public sector. Every day, the company must perform about 25 to 30 leak repairs. 77% of the leaks are in the users' home connections.

Previously it could be established that the IBAL repairs these damages and does not keep the records in digital databases; besides these repairs are not specialized.

This fact indicates that: the problem lies in that the company is executing corrective and not preventive repairs every day. But, if the company knew the areas of the city where most of the leaks occur, network changes could be made to avoid them

By decreasing the leakage rate, repair costs, damage to the roads and time without service to users would be avoided.

As a solution to the problem, we carry out the survey of the existing information in printed sheets and we specialize it. Then, a geographic database is going to be made so that the IBAL, from mobile devices and computers, can load and see in real time the position and information of the water leaks that are being repaired, by this, the information can be analyzed and become the "SIG" into a fundamental tool in the decision making of the company.

KEY WORDS: IBAL, Leaks, Geographic information systems, Database.

INTRODUCCIÓN

La utilización de los SIG en tema de infraestructura, se remonta a los años 1970 cuando se empezaron a crear los ordenadores con mayor almacenamiento y capacidad de realizar cálculos estadísticos avanzados y realizar salidas graficas a mayor detalle.

Los sistemas SIG se comenzaron a utilizar en temas referentes con la distribución de población, distribución de tuberías de gas y ahora con temas realizados con el agua y el manejo de ella. Inicialmente se utilizó para observar redes de abastecimiento de agua, tuberías, redes de catastro, pero con la posibilidad de realizar consultas y un mejor manejo de la información, se pueden realizar modelamiento de redes de flujos de agua, actualización de redes de catastro y manejo de base de datos para observar la concentración de fugas y daños en las redes de distribución de aguas.

El IBAL actualmente no cuenta con un sistema de información geográfica, que permita desde el almacenamiento de los datos en una base de datos geografía, tampoco se realiza análisis de la información obtenida, y la información no está disponible para una fácil consulta.

Este proyecto ayudará a la empresa en prestar un mejor servicio a los cuídanos, ya que permitirá conocer las falencias que presenta el servicio y cómo hacer para mejorarlo. Además de detectar las zonas con mayores problemas de fugas y daños en tubería para hacer un plan de mejora y renovación de acometidas que presenten mayor afectación.

Con la implementación del SIG se espera que los arreglos de los daños se reduzcan considerablemente, ayudando a la eficiencia de la empresa y a la prestación del servicio a los ciudadanos. Convirtiéndolos en la principal herramienta de toma de decisiones.

Al finalizar la implementación, se contará con toda la estructura necesaria para que el IBAL continúe fortaleciendo el SIG en diferentes áreas y procesos. Demostrando la importancia que tiene en la toma de decisiones.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

El agua es un recurso vital para los habitantes de las ciudades, por ello, se debe garantizar que el suministro satisfaga todas las necesidades y cumpla con las normas de calidad.

El departamento del Tolima cuenta con 47 municipios, la capital es la ciudad de Ibagué que al 2016 contaba con 558.805 habitantes.

El IBAL es el mayor prestador de servicio de acueducto y alcantarillado de la ciudad con una cobertura del 93% (<http://www.ibal.gov.co/>); desde 1936 se inició la construcción de la primera planta de filtración para suministro de agua y en la actualidad la empresa cuenta con tres fuentes de captación que son el río Combeima con 1.860 lt de concesión, quebrada Cay con 290 l/s de concesión y quebrada Chembe con 240 l/s de concesión.

En las redes de acueducto se genera un promedio de 25 a 30 daños al día (<http://www.ibal.gov.co/>), afectando el servicio a los usuarios de la empresa, generando pérdidas del recurso y aumento del agua no contabilizado. Estas fugas se pueden presentar por la obsolescencia de los materiales o la mala calidad de los mismos. El 77 % de los daños presentados se generan en las acometidas domiciliarias que son propiedad de los usuarios.

Para el IBAL es importante conocer cuáles son las zonas de la ciudad donde existe un mayor número de fugas en las redes domiciliarias, así mismo poder analizar la información para la posterior toma de decisiones. Es de vital importancia para la empresa realizar el análisis de concentración de daños en sectores de la ciudad, si se conociera las zonas de mayor afectación, se podrían realizar campañas de sensibilización y acciones para minimizar las fugas.

Es por esto que se hace necesario implementar un sistema que permita la recolección de información de campo que contenga: La ubicación espacial de las fugas, información relevante sobre la actividad realizada, un sistema que analice la información obtenida, y que permita una fácil consulta de los datos y los resultados. Estas herramientas permitirán a la empresa la optimización de los procesos y toma de decisiones.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de información geográfica que permita analizar y procesar la información de fugas en redes domiciliarias de IBAL, obtenida en campo, y poder brindar a la empresa herramientas para la toma de decisiones.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar la base de datos y la captación en campo de las fugas presentes en el acueducto pertenecientes al IBAL.
- Determinar las zonas donde más se concentran fugas en la ciudad.
- Correlacionar la incidencia de fugas en el sistema con la estratificación de las áreas de la ciudad donde opera IBAL.

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto tiene como objetivo la creación de un sistema de información geográfica que permita la captación, análisis, procesamiento y visualización de los datos que se obtienen en campo, al momento de la realización de las reparaciones de las fugas domiciliarias en el acueducto de la ciudad de Ibagué.

Este sistema es útil para que el IBAL tome decisiones que beneficien tanto a la comunidad como a la empresa prestadora del servicio, minimizando las pérdidas de agua y aumentando la continuidad del servicio a los usuarios.

La importancia radica en el impacto social que se reflejara en la satisfacción del cliente, mostrando una empresa que se acerca más a los usuarios. La implementación se realizará con nuevas herramientas que permitirán en tiempo real, la toma de datos y posterior análisis de la información de manera gráfica que ayudara a la toma de decisiones; así como la implementación de estrategias de renovación de acueductos y optimización de los procesos de reparación de las fugas en las redes domiciliarias.

4. MARCO TEÓRICO

Los Sistemas de Información Geográfica, -SIG- con el pasar del tiempo han sido ampliamente utilizados en muchos campos de investigación, incluyendo la gestión técnica del agua urbana, donde se han observado avances al utilizar información SIG no solo para mapear y realizar consultas, sino para analizar tendencias y tomar decisiones mediante las aplicaciones que brindan los análisis espaciales.

La evolución de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) discurre paralela a la de los ordenadores desde su aparición. Así, hay un segundo salto en su evolución, paralelo a la aparición de los microprocesadores, a principios de 1970. A esta época corresponde la creación del ODYSSEY en la Universidad de Harvard, el primer SIG vectorial de la historia. Además, también a esta época corresponde la aparición del sistema DIME de codificación, basado en el concepto de topología, así como la creación del Environmental Systems Research Institute (ESRI) en 1969 por J. Dangermond. Esta empresa empezó a comercializar su producto estrella, el ARC/INFO, una década más tarde, en 1981. De la misma forma, también en 1969, Jim Meadlock crea Intergraph Corporation (Martinez, 2002, p.23).

En la actualidad se está produciendo una nueva revolución en las tecnologías de la información, con la aparición y el uso generalizado de tecnologías como el GPS (Global Positioning System), Internet o sistemas de telefonía móvil. Esto afecta también a los SIG, que han ido cediendo protagonismo al usuario, integrando los dos formatos principales de SIG (vectorial y matricial), facilitando el desarrollo de aplicaciones personalizadas mediante el uso de lenguajes de programación de última generación con gestión de datos orientada a objetos y descentralización de la información en bases de datos distribuidas (Martinez, 2002, p.23).

Desde el año 1975 surgieron los primeros inicios para el acople de un SIG con modelos hidrológicos e hidráulicos, realizados por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), iniciando con la versión HEC-1 y con un SIG que trabajaba un método basado en la red. Esto dio como resultado el HECSAM (Metodología de Análisis Espacial). Se llegó a la conclusión que estos sistemas de información permiten la integración de información en el estudio de dos diferentes ámbitos como son el medio ambiente y manejo del agua y el estudio hidrogeológico dirigido al ordenamiento del recurso hídrico (Pineda y lopez, 2014).

Actualmente los SIG, en la gran mayoría de las empresas administradoras de los servicios públicos, se usan para consulta y gestión de la información en lo que se refiere a las redes de suministro de agua y recolección de aguas residuales. Para ello existe una aplicación llamada GISRed, concebida como una extensión de ArcView 3.2 encargada de extraer y calibrar un modelo desde el sistema SIG combinada con la información de campo de SCADA. Para la modelación del suministro de agua potable, se utiliza el EPANET 2 con una calibración utilizando algoritmos genéticos, permitiendo simulaciones en tiempo real. Básicamente la

aplicación GISred reúne en un mismo escenario diferente tipo de información, la depura, la filtra y la almacena en una base de datos propia del programa. Así mismo, genera el modelo de red para simular su comportamiento con las herramientas del programa EPANET (Pineda y Lopez, 2014).

La integración de los SIG con modelos hidráulicos y manejo de los recursos hídricos permite obtener una mayor agilidad en la planeación y control de las redes de suministro de agua y alcantarillado, también genera un nuevo enfoque en el análisis de la información para posterior toma de decisiones.

Ejemplo de integraciones de proyectos que comprenden sistemas de información geográficas, se desarrolló en el municipio de San Juan de Nepumuceno en el departamento de Bolívar, el proyecto consistió en el análisis de la red de acueducto de ese municipio por medio de un sistema SIG, la implementación del sistema de información geográfica permitió conocer las diferentes fallas que se presentan en el suministro de agua potable a la población en tanto en las zonas bajas como en las zonas altas donde el suministro de agua es intermitente, también conocer donde se presentan las mayores velocidades de agua y a que están asociadas, como son diferencia en el revestimiento de las tuberías, pendiente de la zona de suministro de agua y tipo de residencia si es local o comercial (Diaz y Mercado, 2016).

La implementación del SIG en este municipio fue de gran importancia ya que se realiza una gestión técnica adecuada de las redes de suministro de agua y realizar la toma de decisiones adecuadas respecto a la información que se esté presentando.

Otro ejemplo de los proyectos donde el SIG permitió la administración de grandes volúmenes de información, es el caso que se desarrolló en el campo de los hidrocarburos con la implementación una nueva metodología que permite agilizar en tiempos record; las actualizaciones de la información y que además disminuya la cantidad de errores que ya sean sistemáticos o humanos, ayudando en el procesamiento de la información (Cubides y Ballesteros,2015).

Debido a la reciente implementación de proyectos concernientes al transporte de hidrocarburos que involucren bases de datos geográficas, no se cuenta con la experiencia profesional, careciendo de metodología y procesos que satisfagan los requerimientos del proyecto, por este motivo se implementó una metodología que permite una mayor eficiencia en la realización de los procesos de generación de base de datos del sistema de ductos para hidrocarburos (Cubides y Ballesteros,2015).

Por no tener unos lineamientos, ni procesos establecidos se presentan retrasos de tiempo donde se ve reflejado un incremento elevado en los costos de operación. A medida que se van implementando el sistema de información, se van desarrollando mejoras que agilizan y optimizan recursos.

A continuación, se describe la metodología usada para la optimización de los procesos:

- Recopilación de información
- Análisis de las fuentes de información
- Procedimiento de georreferenciación en campo
- Análisis de información adquirida
- Definición del center line
- Migración del BD al Model Builder
- Estructuración de la tubería y elementos del sistema
- Verificación de GDB
- Realización de ficha técnica
- Generación de archivos KMZ.

Los sistemas de información geográfica no solo permiten el diseño de una red de acueducto o alcantarillado, también permiten el almacenamiento de información referente a la calidad del agua que se suministra por esta red.

Debido a la importancia de un adecuado suministro de agua potable a la comunidad, se ha realizado mucho énfasis en el monitoreo constante de la calidad del agua. Los proyectos realizados en SIG pretende, facilitar la administración de variables de la calidad del agua como es el caso del municipio de Pereira, donde se pretende atender una necesidad básica en sectores donde ha prestado el servicio de acueducto sin un efectivo control, sectorizando las comunidades más vulnerables y teniendo un histórico de la información para ejercer a través de un sistema de información geográfica, un seguimiento que permita llevar a un mejoramiento continuo de los resultados obtenido periódicamente o para continuar con la mejor calidad de agua en cada localidad, basados en los instrumentos actuales que permitan integrar la información geográfica a los datos convencionales que siempre se han generado (Gonzales y Lema, 2015).

Las herramientas informáticas aplicadas para este proyecto pretenden entonces, fortalecer la captura, manejo y administración de la información generada, de acuerdo con el diagnóstico del agua para el conocimiento de varias instituciones, por lo cual es necesario, la geolocalización de la información para administrarla en un sistema de información que facilite el procesamiento, análisis y reporte de la información en el menor tiempo posible.

Con este proyecto se realizó un geoportal GIS donde se puede ingresar a la información georreferenciada como es las siguientes (Gonzales y Lema, 2015):

- Visualización de la cartografía base de Pereira.
- Visualización de los puntos de muestreo de calidad de agua.
- Consultas básicas de la información.
- Constructor dinámico de consultas.
- Consultas geográficas: Realiza consultas que involucran intersección geográfica entre una capa y un área seleccionada en el mapa.
- Insertar un punto de muestreo: Permite crear en la base de datos geográfica un punto de muestreo a partir de las coordenadas geográficas, además de los datos atributales.
- Insertar muestra: Permite insertar los resultados de muestras asociadas a un punto calculando su riesgo de acuerdo a la calificación ingresada.

Los SIG permiten también la actualización constante de las redes de acueductos y el control catastral de usuarios, como es el proyecto realizado en del municipio de Pasto, donde se generó un sistema de información geográfica para el inventario y control catastral de los usuarios y de redes de acueductos internas.

La problemática que presentan las juntas de acción comunales de los municipios de pastos con respecto al suministro de agua en las zonas rurales, motivó a la realización de este trabajo detectándose varios factores como son la desactualización de la base de datos de los usuarios, lo cual genera pérdidas económicas, la existencia de tarifas inapropiadas al elevado consumo de algunos previos, la insostenibilidad financiera por parte de juntas o asociaciones comunales hacen necesarias la implementación de herramientas administrativas. Estos factores permitieron dilucidar las necesidades organizativas que requieren las comunidades, en primer lugar, la realización de catastro de usuarios, redes internas y micro ruteo georreferenciado y posterior generación de base de datos de usuarios y cartografía actualizada (Duarte. 2012).

Con la información adquirida por el SIG permitirá a las juntas ubicar sus usuarios con alta precisión cartográfica, además de realizar consultas, actualizar datos estadísticos y de redes, y obtener mapas de alta calidad gráfica.

En la empresa 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.

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 (Fadul, 2010).

- **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 (Fadul, 2010, p.96).

- **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 (Fadul, 2010, p.97).

- **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 (Fadul, 2010, p.98).

Otros proyectos consisten en un diseño de sistema de alcantarillado, por medio de un motor SIG con sistema hidráulico, supone un gran adelanto en la optimización de los recursos del desarrollo de infraestructura. Se pretende correlacionar las entidades como son el motor hidráulico y las bases de datos espaciales que anteriormente se trabaja de manera independiente. Se ha observado que el flujo de información entre el SIG y el modelador se hace mediante metodologías manuales, que son dispendiosas, consumen gran cantidad de tiempo y pueden llevar a errores humanos. Debido a esto, se ha pensado en desarrollar una metodología de integración de los sistemas que potencialice los beneficios de cada uno y le de valor agregado a estas herramientas (Mrtinez, 2002).

El desarrollo de la aplicación apunta a que pueda ser utilizada por los diferentes tipos de ejecutores del proyecto: consultores, contratistas ó funcionarios de EPM

Aguas, y regido directamente según las normas de diseño y construcción implementadas por EPM.

Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión técnica de redes de Distribución de agua potable

El estudio de una red de distribución de agua potable, bien para conocer su comportamiento hidráulico, bien para ejercer una gestión eficaz de los recursos que la componen, exige el manejo de una importante cantidad de información. Tradicionalmente, esta información se ha guardado en distintos formatos. La información sobre los elementos de la red (diámetros, longitudes, fechas de puesta en operación, proveedores, etc.) quedaba guardada en planos de obra o pequeñas bases de datos de inventario, por este motivo más frecuente la necesidad de ligar la información sobre las infraestructuras con la económica y ambas a su vez con la componente espacial. Esto es posible gracias a la implantación de un adecuado Sistema de Información Geográfica (SIG) (Martinez, 2002).

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA RED DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE ARBOLETES ORIENTADO A LA OPERACIÓN DEL SISTEMA

Este proyecto busca por medio de una herramienta SIG identificar las zonas de alcantarillado del municipio arboletes que presenten problemas, es decir como fugas, intermitente suministro de agua, falta de actualización de la información. Es importante dentro de la ejecución del proyecto que se alimente la base de datos con la información adquirida en campo que ayudarían a la solución oportuna de una recolección efectiva de aguas residuales y aguas lluvias generando el menor impacto ambiental y social posible (Castaño y Ramírez, 2015).

Con toda la información recolectada durante el proyecto se desarrollará la base de datos concerniente al sistema de alcantarillado existente en el Municipio, y con la combinación de esta información y las herramientas de análisis espacial se determinarán de manera inicial las principales necesidades a término inmediato y futuro de la administración de este sistema de recolección de aguas Lluvias y residuales y además la gestión de activos en tiempo real (Castaño y Ramírez, 2015).

Con la base de datos espacial desarrollada la empresa encargada, puede tener una respuesta más rápida ante una emergencia demandada, pues la información requerida, se encuentra almacenada de manera espacial, facilitando a su vez consultas al sistema.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADO AL CATASTRO DE ALCANTARILLADO DEL CANTÓN PAUTE, ECUADOR

En este trabajo se presenta la deficiencia en el sistema de alcantarillado la provincia de Paute en Ecuador, En lo que concierne al mantenimiento de las redes de alcantarillado se lo hace en forma esporádica, y en forma continua en los recolectores pluviales, determinando que continuamente existen taponamientos, y colapsos en tramos cuyas pendientes no son muy bien definidas, los mismos que, son la causa para el constante daño del sistema, debilitando así la calidad en el servicio. La información catastral del sistema se encuentra en planos analógicos, que fueron dibujados a mano, durante la construcción de las redes de alcantarillado del cantón; no existe ninguna referencia adicional, procedimientos o estándares establecidos para entrega de documentos relacionados con el tema (Samaniego, 2012).

Con este proyecto se busca crear un sistema de información geográfica que permita integrar la información cliente servidor la información espacial y temática para gestionar de manera eficiente y oportuna las distintas necesidades de los usuarios (Samaniego, 2012).

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

El trabajo realizado en la empresa IBAL se enfoca en una investigación aplicada, debido a que se implementan nuevos desarrollos tecnológicos para la solución de problemas sociales. En este caso se utilizan las áreas de conocimiento en sistemas de información, hidráulica y geomática para el desarrollo de un SIG, que permita el almacenamiento de la información recolectada en campo para un posterior análisis y toma de decisiones, permitiendo de esta manera mejora de la prestación del servicio.

5.2 PROCEDIMIENTO

Para esta etapa la empresa IBAL nos permitió el acceso a la información requerida. Así como mostro la disposición de la compra de licencias requeridas para el desarrollo y puesta en marcha del SIG planteado en esta tesis.

5.2.1 Fase 1 Obtención de la información requerida para el desarrollo del proyecto.

- **Solicitud de la información requerida.**

Para la realización del proyecto se solicitó a la empresa IBAL: La información referente a la red de acueducto de la ciudad, acometidas domiciliarias, actualización de la red de catastro y la ubicación referente de las fugas y daños reportados por los usuarios.

Encontramos que el IBAL no presenta una base de datos digital donde se almacene los reportes generados por las llamadas telefónicas de los usuarios, tampoco tienen un almacenamiento de la información, por parte de los contratistas cuando se realiza el arreglo, solamente se hace el respectivo llenado de un registro o bitácora donde se escribe información general, en dicho documento registran: el daño, dirección de la residencia, ubicación geográfica, croquis de la ubicación de la fuga o daño reportado, barrio y estrato del domicilio.

Figura 1. Formato de recolección de datos de campo usado por el IBAL.



Figura 2. Almacenamiento físico de los daños reportados en el IBAL.

- **Recolección de datos de campo.**

Debido a la cantidad de fugas domiciliarias que se reportan día a día y la no presencia de una base de datos adecuada para el almacenamiento de la información georreferenciada, se le dio prioridad al manejo de la información presente de manera impresa, tomando los registros físicos y convirtiéndolos en digitales en tablas de Excel para un posterior manejo de la información. Estas tablas de Excel se realizaron adecuadamente permitiendo el orden y la clasificación de la

información por medio de tipo de daño, barrio donde se generó el daño y a que estrato pertenece.

5.2.2 Fase 2 Verificación y depuración de la información.

- **Normalización de la información.**

Después de obtener la información de manera digital, se procedió a la verificación y normalización de las tablas Excel, para esto se tomaron los nombres de los barrios y se le asignó un solo código ya que, al momento de llenar los reportes, los distintos operarios colocaban prefijos distintos a los nombres de los barrios, ejemplo “urbanización” esto hacía parecer que fueran en lugares distintos. La misma actividad se realizó para los nombres de los distritos.

- **Geo codificación**

Al tener los datos en una tabla de Excel con la información normalizada, se buscó dentro de las herramientas de google la manera de espacializar los datos de forma masiva, para esto encontramos google fusión tables, esta herramienta nos permitió espacializar los datos con la información presente.

La función de la herramienta se basa en dar una coordenada a cada dato de la tabla de Excel, esto lo realiza por la dirección existente en los datos (calles y carreras) Luego de revisar el resultado encontramos que los datos tenían un 30% de error, por consiguiente, fue necesario revisar punto a punto la ubicación y realizar corrección de la posición geográfica, para la corrección de la posición, buscando las direcciones con google street view y luego desde Arcmap se realizó la corrección.

- **Análisis de requerimientos.**

Se analizará la información recolectada y se identificará la información que sea útil y no útil en el proyecto; así también como la faltante y que se deberá adquirir paulatinamente con el avance de la implementación del sistema de información geográfica o por fuentes secundarias como los contratistas encargados de la reparación de las fugas.

5.2.3. Fase 3 Generación de la base de datos

- **Dominios de la base de datos.**

Debido a la gran cantidad de información que genera el IBAL, se procedió a la generación de una base de datos que permita el almacenamiento de la información que anteriormente se presentaba de manera física. La GDB se dividió en dominio

considerando la información que no tiene cambios o modificaciones en tiempos cortos. Los dominios considerados son los siguiente:

N°	DOMINIOS
1	COMUNAS
2	TIPO DE DEMOLICION
3	DIAMETROS DE TUBERIA
4	ELEMENTOS
5	ESTADO DE LOS ELEMETOS
6	TIPO DE EXCABACION
7	PRIORIDAD
8	TIPO DE RELLENO
9	TIPO DE DAÑO

Tabla 1. Dominios de la base de datos

- **campos de la base de datos.**

Se definieron 21 campos para la recolección y alimentación de la base de datos, luego de revisar detenidamente la información existente consideramos que son los campos más adecuados para la captura en campo de la información. Los 22 campos seleccionados fueron las siguientes.

N°	CAMPOS
1	Fecha de inicio
2	Hora de inicio
3	Cuadrilla (equipo que realiza la actividad)
4	Usuario
5	Matricula (consecutivo que la empresa asigna al momento de adquirir el servicio de agua potable) dirección
6	Barrio
7	Comuna
8	Medidor
9	Lectura
10	Tipo de daño
11	Diámetro
12	Demolición
13	Excavación
14	Tipo de relleno
15	Suministro de accesorios
16	Observaciones
17	Estado del reporte

18	Prioridad
19	Fecha finalización
20	Tiempo de ejecución
21	Contratista

Tabla 2. Campos de la base de datos

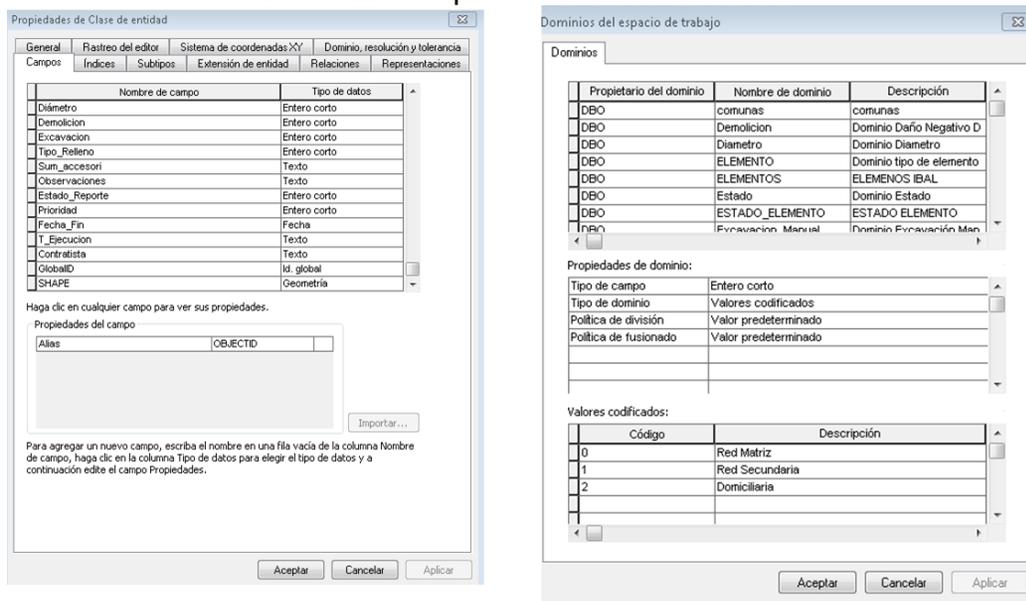


Figura 3. Base de datos con dominio y campos.

5.2.4. Fase 3 Análisis de los datos.

- **Análisis de la información**

Con los datos finales obtenidos, se inició el proceso de análisis de la información, para esto nos enfocamos en dos objetivos: correlacionar la incidencia de fugas en el sistema con la estratificación de las áreas de la ciudad, donde opera IBAL y cuál es la zona de mayor concentración de fugas en la ciudad. Para las respuestas de estas preguntas de investigación es importante la elaboración de mapas gráficos donde se muestre la distribución de las fugas.

5.2.4. Fase 3 Salidas gráficas y Visor.

- **Collector y ArcGis on line.**

Al contar con la base de datos ya elaborada y funcional se procedió a subir la información en ArcGis online, el cargue de la base de datos en línea permite el uso de la herramienta collector, y de esta manera se está preparado para la posterior recolección de datos en campo con esta herramienta.

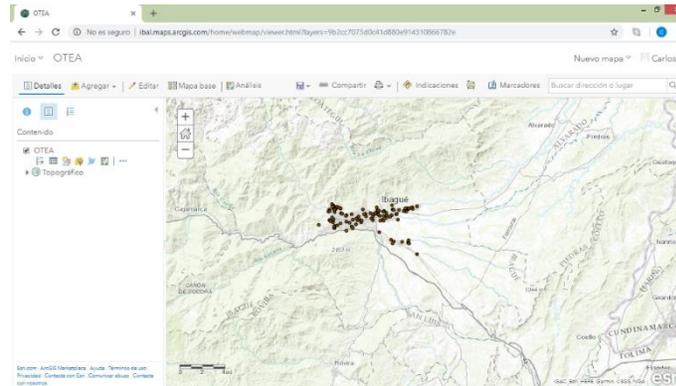


Figura 4. Puntos de fugas en ArcGis Online.

- **Visor Web Mapping application.**

Una vez la base de datos está en uso, se hace necesario configurar un visor que permita al personal de oficina ver en tiempo real la información que los operarios están cargando en campo. Para esto se utilizó Web Mapping Application, esta herramienta además de permitir ver en tiempo real la información cargada, permite, editar, medir distancias, dibujar en el mapa, exportar los datos a Excel y generar informes muy rápidamente sobre los datos existentes en un área que podemos escoger.

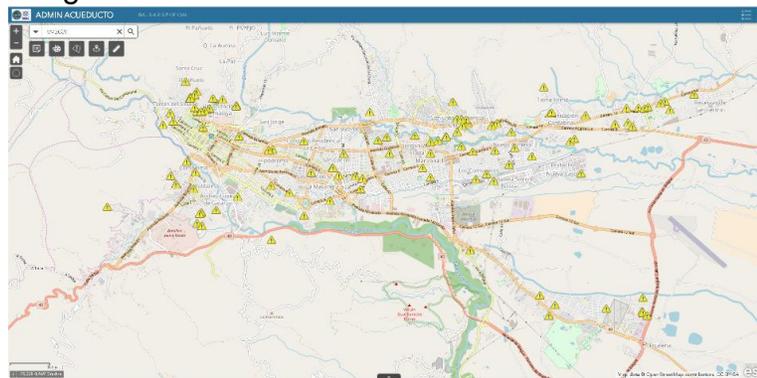


Figura 5. Visor de las fugas de la ciudad de Ibagué en Web mapping application.

- **Mapas de distribución de fugas y mapa de Calor.**

Con la información debidamente normalizada y almacenada en la base de datos, se procedió a la realización de las salidas graficas que permitan responder las preguntas de investigación anteriormente planteadas, para esto se realizaron mapas de distribución de fugas por Distrito, por estratos y mapas de calor que permitan observar la localización de las mayores concentraciones de fugas en la ciudad.

6. RESULTADOS

Debido a la necesidad de la empresa IBAL de almacenar la información adecuadamente, cuando se genera un reporte de daño y posterior al arreglo por parte de los contratistas, que anteriormente se realizaba de manera física, llenando formatos sin una posterior guardado en una base de datos digital, que permita la realización de consultas y un análisis posterior. se decidió realizar un sistema de información geográfica, que permita el almacenamiento en una base de datos las fugas de la ciudad con sus respectivos atributos y una visualización de los datos en Arcmap o Arcgis online.

Estas herramientas permitirán de manera muy versátil la actualización constante de la ubicación geográfica de las fugas y la realización de un análisis de distribución de las mismas, generando conclusiones importantes para la toma de decisiones. Esto ayudara a la empresa a prestar un mejor servicio para los usuarios.

Para la implementación de un sistema de información geográfica, se creó una GDB de datos con 9 dominios y 21 campos alimentados por la información de los reportes de daño de formatos física convertidos posteriormente a formatos digitales.

Los campos y dominios se crearon con lo aprendido en el proceso de recolección de información. Igualmente fue de gran importancia las observaciones realizadas tanto por el personal que realiza las reparaciones como el líder del área.

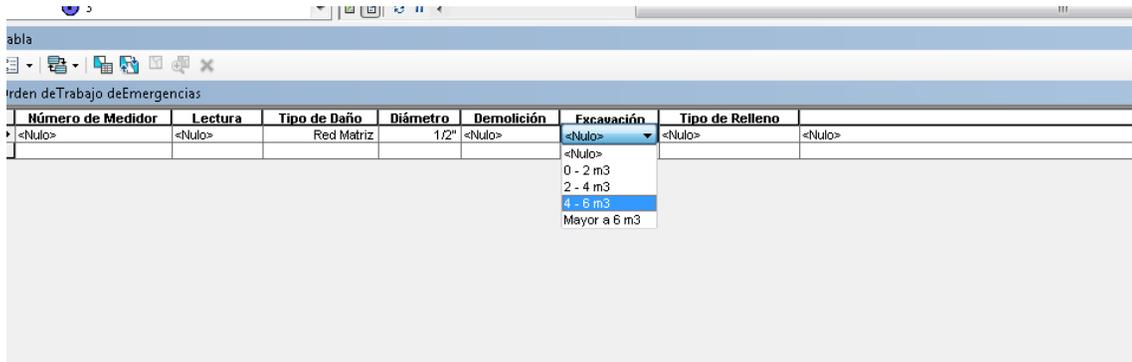


Figura 6. Dominios en Blanco de la GDB.

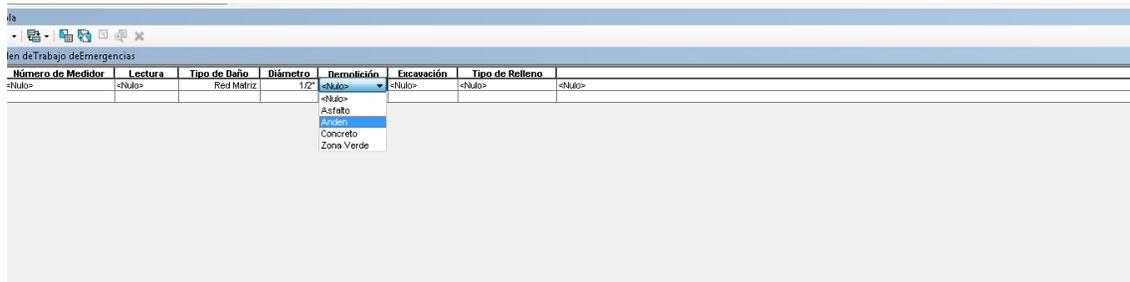


Figura 7. Dominios en Blanco de la GDB.

Al contar con la base de datos ya elaborada y funcional, se ingresó la información a ArcGis online, al tener la información en este portal en línea permite el uso de herramientas como collector, que permite la recolección en campo la información acerca del daño reportado.

Para este proceso el IBAL ya había otorgado la viabilidad de la compra de las licencias de arcgis on line y tablets para continuar con el proyecto.

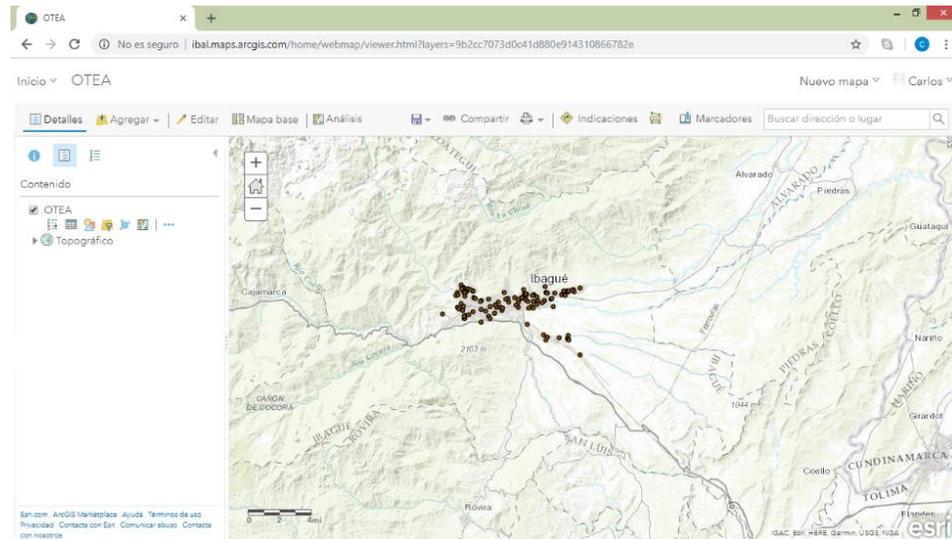


Figura 8. Vista de fuga de la ciudad en ArcGis Online.

Ya contando con la base de datos geográfica lista y las herramientas tanto de software con de hardware, se procedió a la capacitación del personal que realizaría la recolección de los datos en campo. Esta actividad se realizó en varias cesiones debido a la resistencia y miedo al cambio que se presentó al inicio. Actualmente, el personal se encuentra a gusto con el uso de la herramienta



Figura 9. Capacitación del personal en el manejo de la herramienta

Se inicia el uso de la herramienta de ArGIS on line y collector para recolectar la información de campo de las fugas, como apoyo fundamental de la empresa en este proceso se destinó recursos para la compra de 22 tablets en las cuales se les instaló collector y se entregó a los operarios de campo para que iniciaran la captura de la información requerida. En el programa collector se presenta la información como: usuario, dirección, observaciones, tipo de daño, prioridad, estos campos son llenados por los operarios en el momento de la reparación de las fugas.

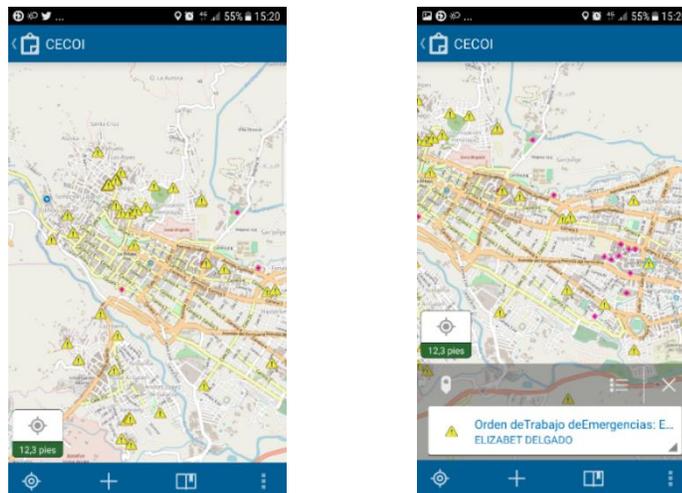


Figura 10. Puntos recolectados en Collector.

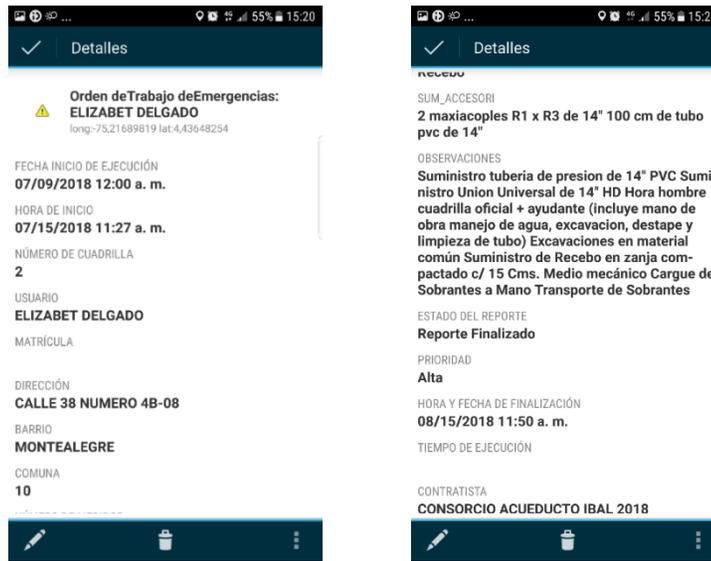


Figura 11. Vista base de datos en Collector

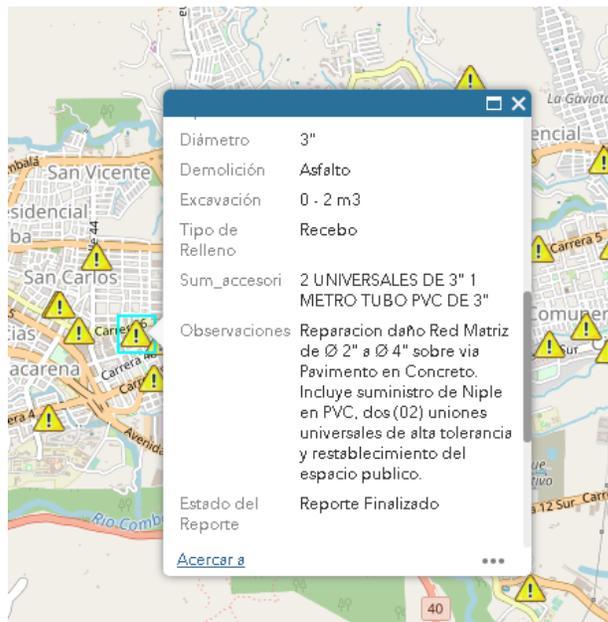


Figura 12. Vista de base de datos en el Web Mapping application.

Teniendo ya en uso la herramienta el personal capacitado y evidenciando el aumento de información en la base de datos, como complemento decidimos realizar la configuración de un visor para que el personal administrativo pueda realizar consulta y tener información en tiempo real. así como poder tener la información gráficamente y generar reportes que faciliten el trabajo y la toma de decisiones, y aumentar la confiabilidad y aprovechamiento de la herramienta por parte de los funcionarios.

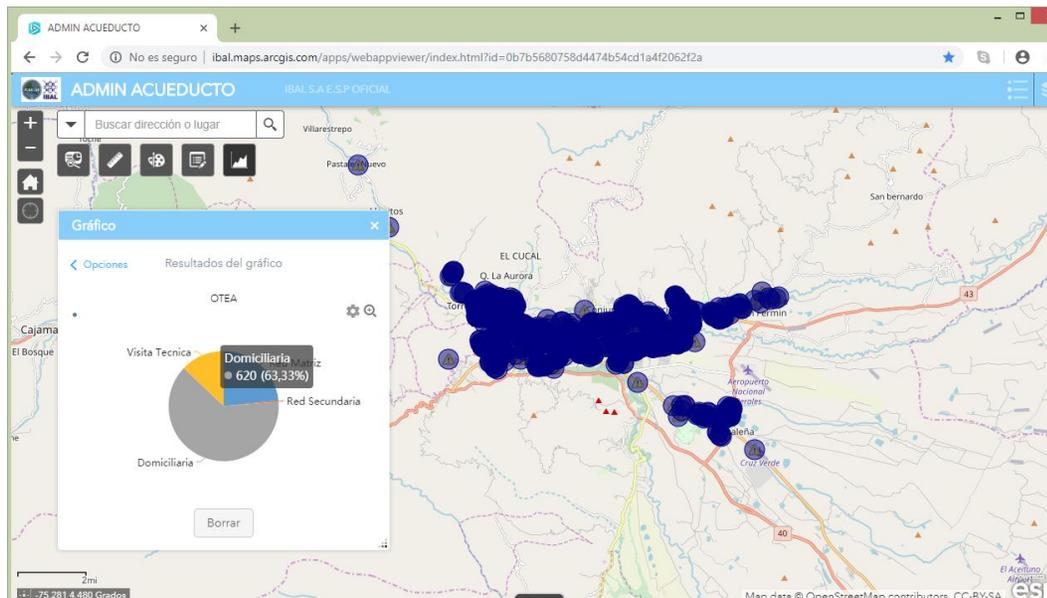


Figura 13. Vista de informes en el Web Mapping application.

Con la distribución de las fugas en el servidor y en el visor, se interpretó en que zonas de concentra el mayor número de fugas en la ciudad y a qué distrito están más relacionadas.

Para nuestra respuesta es necesario precisar que la empresa IBAL tiene zonas hidráulicas llamadas distritos, que son las zonas donde el tanque alimenta las redes y por consiguiente a la población, si nos fijamos en el mapa de "Fugas Por Distrito" es fácil notar que la mayor concentración de fugas, se generan el Distrito Hidráulico número 6 con el 26% de la totalidad de las fugas reportadas seguido del distrito número 10 con el 20%. Corroborando este resultado tenemos el mapa de calor que muestra una significativa concentración de puntos en la zona de los distritos 6 y 10, por lo tanto, la zona con mayor concentración de fugas es el distrito número 6 con un total de 675 reportadas.

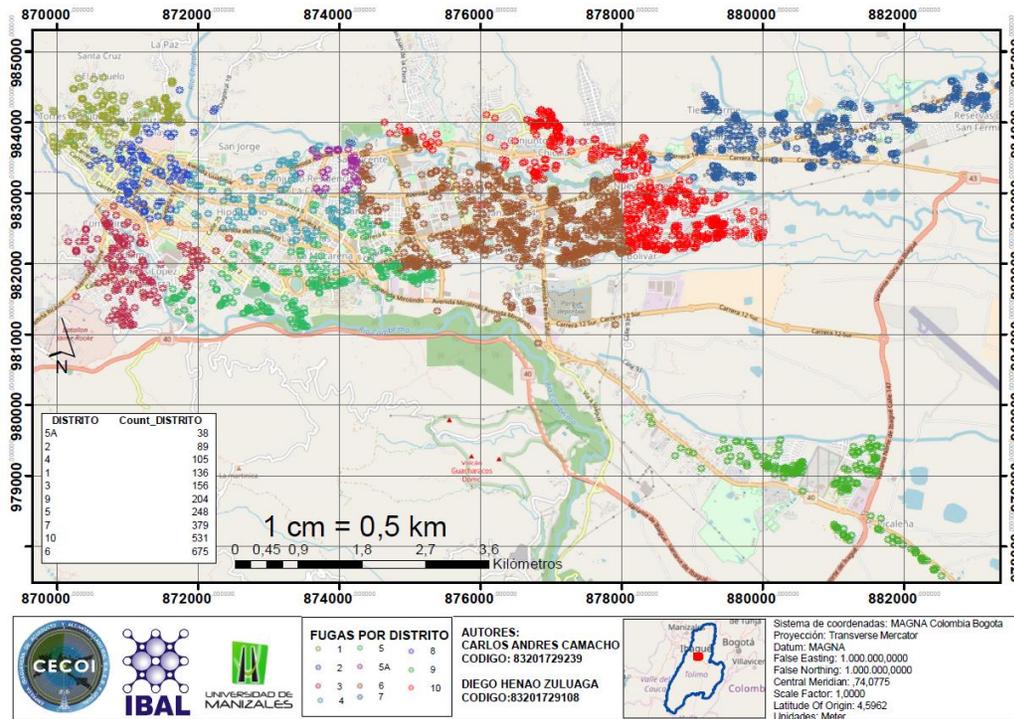


Figura 14. Mapa de fugas por distrito

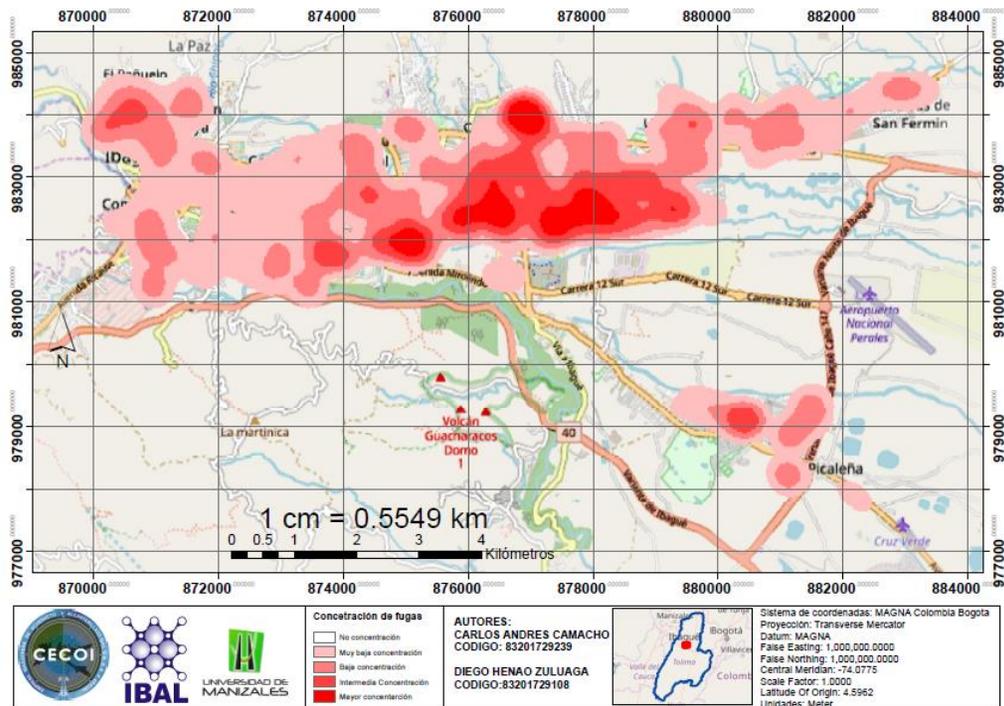


Figura 15. Mapa de Calor de concentración de fugas.

Se planteó también la correlación entre las incidencias de fugas del sistema con la estratificación de las áreas de la ciudad donde opera el IBAL. El mapa realizado de “fugas por estrato” nos permite evidenciar que el estrato que presenta mayor cantidad de fugas es el 2 con un 48% seguido del estrato 1 con 20% a 21% respectivamente.

como resultado final se obtuvo una gran aprobación por la empresa IBAL. Por la solución dada y pueden ver los beneficios del SIG. Solicitando una segunda etapa donde se implemente la herramienta en las demás actividades de campo como son. visitas de supervisores, actividades de equipo video robot, actividades equipo vactor, entre otras.

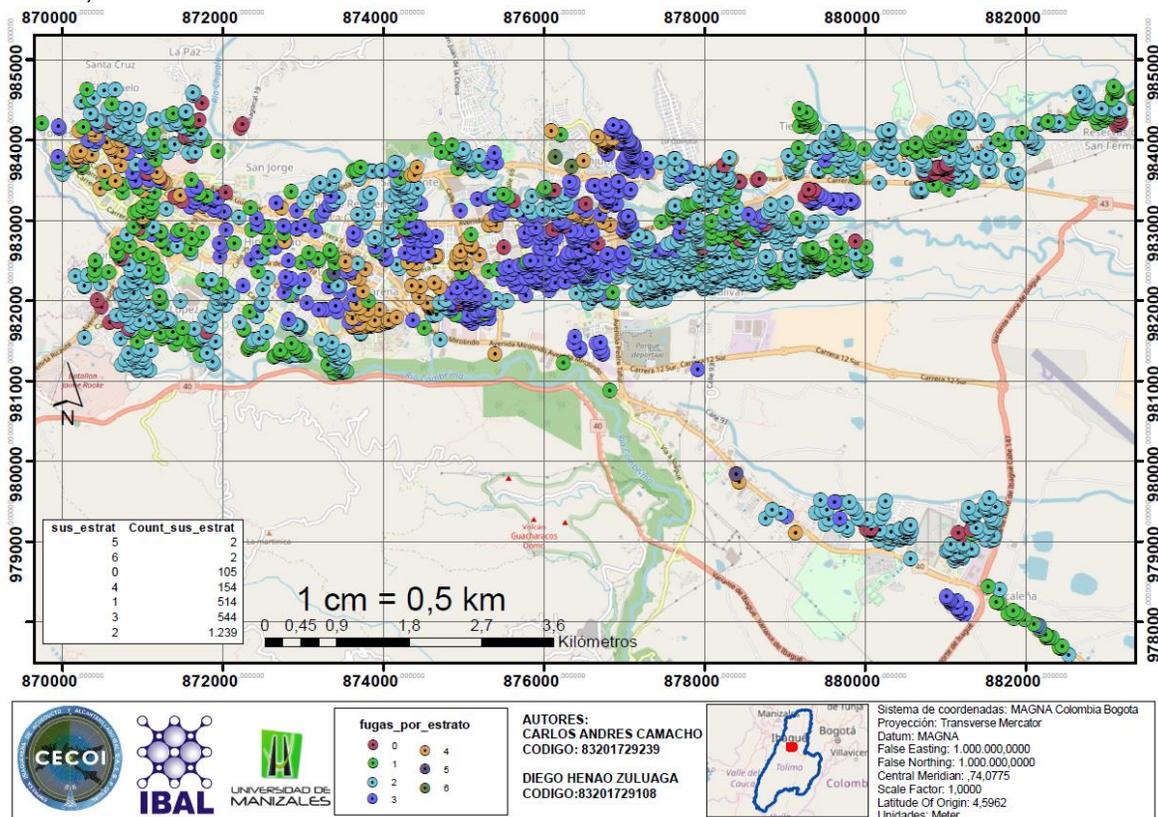


Figura 16. Mapa de fugas por estrato.

7. CONCLUSIONES

- El desarrollo de un sistema de información geográfica permite el almacenamiento, procesamiento, análisis, visualización e interpretación de los datos recolectados. En el caso del IBAL el SIG desarrollado permitió el almacenamiento de las fugas reportadas y la visualización en un mapa, lo que permitió obtener información acerca de la distribución de las fugas en los distintos barrios y distritos de la ciudad de Ibagué.
- La empresa IBAL con la utilización del ArcGis online y la herramienta collector permite la obtención en campo en tiempo real de las fugas reportadas por los usuarios, el collector presenta una base de datos que permite la obtención de información referente con las reparaciones de las fugas.
- La utilización de el visor Web Mapping application permite a los supervisores observar en tiempo real la información que suben los operarios por medio de colector, esto permite el rápido análisis de la información y la toma de decisiones.
- El mayor contenido de fugas se concentra en el distrito número 6 con 26% del total de fugas reportadas.
- El mapa de calor realizado corrobora que las fugas se concentran en el centro de la ciudad, más específicamente en los distritos número 6 y 10, con un total de 675 fugas reportadas para el distrito número 6.
- Las mayores fugas en la ciudad se presentan en los estratos 2 y 3 con un 48% y 21 % respectivamente.
- El IBAL gracias a los resultados obtenidos ha pensado como segunda etapa la implementación de esa herramienta para la captura de los datos de todas las actividades que se hacen en campo y que estas puedan ser visualizadas en tiempo real.

8. RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar nuevas inscripciones la empresa debe solicitar a los nuevos usuarios conexiones de calidad con materiales certificados y enfocar estas campañas a usuarios que cumplan con las dos características que estén en el distrito 6 y sea de estrato 2.
- La empresa debe poner a disposición de la comunidad personal capacitado que realice las conexiones y de esta manera garantizar la calidad tanto en mano de obra como en materiales.
- Evaluar los resultados obtenidos y analizar los costos de reparación versus los costos por reposiciones totales de las acometidas, ya que muchas reparaciones en una zona generan intermitencia del servicio, daños en las vías, así como alta disposición del personal para reparar las fugas presentadas.
- Capacitación del personal en el manejo de las herramientas como collector, arcáis online y el visor configurado para una adecuada captura de la información, análisis y visualización de los resultados.
- Continuar con la implementación del SIG en las diferentes dependencias y procesos, involucrando a todo el personal para que se adapten a esta tecnología de forma más fácil.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, L. V., & LUZ NATALIA LOPEZ GOEZ. (2014). *INTEGRACION DE UN SIG Y UN MODELADOR HIDRAULICO APLICADO AL DISEÑO DE ALCANTARILLADO(tesis posgrado)*. MEDELLIN: UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SECCIONAL MEDELLÍN FACULTAD DE INGENIERÍAS.
- ARANGO, J. A., & AGUDELO, J. A. (2015). SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA RED DE ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE ARBOLETES ORIENTADO A LA OPERACIÓN DEL SISTEMA. *UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SECCIONAL MEDELLÍN*, MEDELLIN.
- Cañón, A. G., & Herman Fernando Lema Trejos. (2015). *SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN PEREIRA*. Manizales : Universidad de Manizales Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- COTO, R. W. (2008). *SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO PARA RED DE ALCANTARILLADO Y DRENAJES (Tesis pregrado)*. GUATEMALA: UNIVERSIDAD GALILEO FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, INFORMÁTICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN.
- Cruz, Y. S., & Magaly Amorós Núñez. (Set-Dic 2012). Gestión del agua urbana mediante Análisis Espacial en los SIG. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXXIII, No.3*, 58-71.
- CUBIDES, G. T., & MIGUEL BALLESTEROS RAMIREZ. (2015). *PROCESOS PARA LA ESTRUCTURACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA PARA UN SISTEMA DE DUCTOS DE TRANSPORTE DE DATOS GEOGRÁFICA PARA UN SISTEMA DE DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS(tesis especializacion)*. Manizales : UNIVERSIDAD DE MANIZALES FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA.
- DIAZ, C. A., & EDUARDO FORERO GONZÁLEZ. (2016). *IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN LA RED DEL ACUEDUCTO ACUACOMBIA DEL MUNICIPIO DE PEREIRA*. Manizales : UNIVERSIDAD DE MANIZALES FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA.
- Giraldo-Fadul, V. (enero - junio 2010). Optimización operativa de Aguas de Manizales S.A. ESP, a partir de la implementación del SIG*. *CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO-FACULTAD DE INGENIERÍA*, 77-103.
- LUNA, D. H. (Enero 2012). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA EL INVENTARIO Y CONTROL CATASTRAL DE LOS USUARIOS Y LAS REDES INTERNAS DE ACUEDUCTOS RURALES Y*

*SUBURBANOS DEL MUNICIPIO DE PASTO(Tesis) . San Juan de Pasto:
UNIVERSIDAD DE NARIÑO FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS.*

MONROY, M. P., & JOAN ANDRES URIBE GOMEZ. (2011). *PROGRAMA DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN GIL*. BUCARAMANGA: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA .

MORALES, D. B., & NESTOR ENRIQUE MERCADO YEPES. (2016). *GESTIÓN TÉCNICA DE REDES DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN NEPOMUCENO BOLÍVAR MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG (Tesis de especialización)*. Manizales : UNIVERSIDAD DE MANIZALES FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA.

Nieves R. Brisaboa, J. A., Fariñ, A., Luaces, M. R., & Viqueira, J. R. (s.f.). *Sistemas de Información Geográfica:Revisión de su Estado Actual. Laboratorio de Bases de Datos.Facultade de Informática.Universidade da Coruña, 78-94.*

Núñez, M. A., & Yoany Sánchez Cruz. (Set-Dic 2012). *Gestión de acueducto y alcantarillado mediante sistemas de información geográfica. INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXXIII, No. 3, 44-57.*

Sandoval, E. M. (2015-2016). *Monografía para optar al título de ingeniero civil (tesis pregrado)*. Boaco: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Solano, F. J. (julio 2002). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión técnica de redes de distribución de agua potable (tesis doctoral)*. Valencia : UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA .

Vintimilla, H. M. (julio 2012). *Sistema de Información Geográfica aplicado al Catastro de Alcantarillado del Cantón Paute, ECUADOR (tesis maestría)*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.