

**GESTIÓN TÉCNICA DE REDES DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN
JUAN NEPOMUCENO BOLÍVAR MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE
HERRAMIENTAS SIG**

**DAVID BERNARDO DIAZ MORALES
NESTOR ENRIQUE MERCADO YEPES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

**GESTIÓN TÉCNICA DE REDES DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN
JUAN NEPOMUCENO BOLÍVAR MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE
HERRAMIENTAS SIG**

**DAVID BERNARDO DIAZ MORALES
NESTOR ENRIQUE MERCADO YEPES**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Néstor Enrique Mercado De Oro y Mirian Del Socorro Yepes Rodelo por su infinita voluntad de apoyarme cada instante. A mi familia, amigos y colaboradores que acompañaron este proceso que hoy llega a su final, con la certeza de que solo aquellas luchas que cuestan grandes esfuerzos son las que valen la pena.

Lo más apreciable de un proceso de aprendizaje es que quien lo reciba pueda compartirlo con los demás. Y ese es el propósito de este trabajo, en el que he invertido una buena parte de mis ideas y una gran parte de mi corazón.

Néstor Enrique Mercado Yepes.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre y a mi padre (QEPD) que siempre creyeron en mí, que siempre esperaban mi mayor esfuerzo en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, ejemplos de perseverancia y constancia la cual me han inculcado, les estaré eternamente agradecidos...Y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

David Bernardo Díaz Morales

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	10
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
LOCALIZACIÓN	18
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	19
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. JUSTIFICACIÓN	20
4. MARCO TEÓRICO	22
4.1 Sistema de información geográfico sig.	
4.2 NORMATIVA	22
4.2.1. Reglamento Técnico De Agua Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico	22
4.2.2. Guías RAS	24
4.2.2.1 Los SIG como herramientas de apoyo para la toma de decisiones	25
4.2.2.1.1 Aplicaciones generales de los SIG: Escobar, et al (2001), señalan las siguientes aplicaciones.	26
4.2.2.1.2 Ventajas del uso de los SIG	27
4.3 ESTADO DEL ARTE	28
4.3.1 Metodología para la gestión y planificación de un sistema de agua potable con suministro intermitente: Aplicación a la Ciudad de Tegucigalpa (Honduras)	28
4.3.2 Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México	29
4.3.3 Aplicación de SIG en proyecto de gestión de redes hidráulicas en la república de Sudáfrica	31
4.3.4 Emcali desarrolla proyecto de modernización tecnológica	32
4.3.5 Proyecto SIG triple a: implantación, desarrollo y gestión de un sistema de información geográfico en una empresa de servicios públicos	32
4.3.6 Aplicación de sig. en proyecto de gestión de redes hidráulicas en la república de Sudáfrica	35

5. METODOLOGÍA	37
5.1 TIPO DE TRABAJO	40
5.2 PROCEDIMIENTO	40
5.2.1 Fase 1 Obtención de la información requerida para el desarrollo del proyecto.	40
5.2.1.1 Diagnóstico Del Sistema Existente	42
5.2.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO	47
5.2.2.1 Caudales y Niveles	47
5.2.2.2 Calidad del Agua	47
5.2.2.3 Captación	47
5.2.2.4 Sistema de conducción - bombes y PTAP en proceso de optimización	48
5.2.2.5 Almacenamiento existente	49
5.2.3 Redes de distribución y conexiones domiciliarias de San Juan Nepomuceno.	51
5.2.3.1 Redes de distribución	51
5.2.3.2. Acometidas domiciliarias	52
5.2.3.3 Macromedición	52
5.2.3.4 Conducción	52
5.2.4 TANQUES DE ALMACENAMIENTO	53
5.2.4.1 Tanque PTAP Perico	53
5.2.4.2 Tanque Buenos Aires	53
5.2.4.3 Tanque La Paz	54
5.2.4.4 Tanque Veinte De Marzo	55
5.3 Fase 2 Depuración y alistamiento de la información requerida para la simulación de la red de acueducto del Municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar.	56
Descripción	56
5.4 Fase 3 Simulación de la Red de acueducto del Municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar.	61
5.4.1 Calculo de análisis de dotación de agua potable por usuarios en uniones (junction)	63
5.4.1.1 Uso Residencial	63
5.4.1.2 Uso Comercial	64
5.4.1.3 Uso Institucional	65
5.4.1.4 Uso Escolar	65
5.4.1.5 Uso Para Fines Públicos	66

5.4.2 Ingreso de datos para modelación de análisis red de acueducto	67
5.4.2.1 Unión (Junction)	67
5.4.2.2 Tubería (Pipe)	68
6 RESULTADOS	69
6.1 DESCRIPCIÓN	69
6.1.1 Tuberías (Pipe)	70
6.2 Localización de velocidad agua en tuberías	71
6.2.1 Porcentaje de predios según velocidad del agua (m/s)	72
6.4 Unión (Junction)	74
6.4.1 Presión de agua en uniones (Junction)	74
6.5 Localización de presión del agua en uniones	75
6.5.1 Porcentaje de predios según presión agua en uniones (mh20)	76
6.6 Porcentaje de predios según presión del agua (mh20)	77
7. CONCLUSIONES	78
8. RECOMENDACIONES	79
9. BIBLIOGRAFIA	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Imagen 1. Localización del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar	18
Imagen 2. Diversos elementos de una red de distribución de agua	37
Imagen 3. Conexión Fraudulenta dentro del sistema de Red de Acueducto	42
Imagen 4. Planta de Tratamiento PERICO	44
Imagen 5. Tratamiento de Agua Cruda.	44
Imagen 6. Localización de Tanques zona Urbana.	45
Imagen 7. Baipás línea de acueducto	46
Imagen 8. Conexión planta de tratamiento y tanque	50
Imagen 9. Tanque de almacenamiento Perico	50
Imagen 10. Tanque de rebombeo 20 de Marzo	50
Imagen 11. Representación de la Red de distribución de acueducto del Municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar	51
Imagen 12. Plano topografía Urbana San Juan Nepomuceno (Bol.) Formato DWG.	58
Imagen 13. Plano topografía Urbana San Juan Nepomuceno (Bol.) Formato MDB.	
Imagen 14. Generación de TIM a partir de Curvas de Nivel para la inclusión de alturas Piezométricas	59
Imagen 15. Detalle predios con Uso Comercial Mixto. Cartografía IGAC (2016)	62
Imagen 16. División predial según suministro de Agua Potable por Unión.	64
Imagen 17. Cargue de información en el atributo Demand Collection de la capa Unión.	64
Imagen 18. Cargue de alturas mediante TIN en el atributo Physical/Elevation de la capa Unión con el comando Trex Wizard.	65
Imagen 19. Cargue de diámetro y material de la capa Pipe.	65
Imagen 20. Porcentaje de velocidad de agua (m/s) en Tuberías	67
Imagen 21. Localización de velocidades (m/s) de agua en Tuberías	68
Imagen 22. Porcentaje de predios por velocidad de agua (m/s) en Tuberías	69
Imagen 23. Localización de velocidad de agua (m/s) en predios Urbanos	70
Imagen 24. Porcentaje de presión de agua (mH ₂ O) en Tuberías	71
Imagen 25. Localización de presiones de agua (mH ₂ O) en Uniones	72
Imagen 26. Porcentaje de predios por presión de agua (mH ₂ O) en Tuberías	73
Imagen 27. Localización de presiones de agua (mH ₂ O) en predios Urbanos	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Glosario	10
Tabla 2. Datos y resultados en un una red de distribución de agua.	37
Tabla 3. Análisis de agua cruda Rio Magdalena	47
Tabla 4. Tuberías Matrices y secundarias del Sistema de Acueducto Municipio de San Juan Nepomuceno	52
Tabla 5 Nivel de Complejidad de un Sistema de Acueducto según Población Urbana (habitantes). RAS (2003)	60
Tabla 6. Dotación por suscripción según nivel de complejidad del sistema. RAS (2010) 60	60
Tabla 7. Consumo Mínimo en Comercio. RAS (2010)	61
Tabla 8. Consumo Mínimo en Institucional. RAS (2010)	62
Tabla 9. Consumo Mínimo en Uso Escolar. RAS (2010)	63
Tabla 10. Resultados	66

GLOSARIO

Conceptos básicos para la optimización de un acueducto basados en el REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (RAS 2000).

Tabla 1. Glosario

TÉRMINO	DEFINICION
Accesorios	Elementos componentes de un sistema de tuberías, diferentes de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, té s etc.
Acometida	Derivación de la red local de acueducto que llega hasta el registro de rueda en el punto de empate con la instalación interna del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general.
Acueducto	Sistema de abastecimiento de agua para una población.
Acuífero	Formación geológica o grupo de formaciones que contiene agua y que permite su movimiento a través de sus poros bajo la acción de la aceleración de la gravedad o de diferencias de presión.
Aducción	Componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión.
Agua cruda	Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.
Agua potable	Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.
Aguas de infiltración	Agua proveniente del subsuelo, indeseable para el sistema separado y que penetra en el alcantarillado.
Aireador	Dispositivo o equipo que permite transferir aire al agua.
Almacenamiento	En sistemas de Acueducto, acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua

	para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.
Altura dinámica total	Energía suministrada por una bomba a un flujo en tuberías, expresada en términos de cabeza, obtenida como la suma de la altura estática en la succión, de las pérdidas de energía por fricción y pérdidas menores en la succión y en la impulsión, y de la presión requerida al final de la línea de impulsión.
Anclaje	Apoyo que soporta los empujes ocasionados por el cambio de dirección en una tubería sometida a presión interna.
Bocatoma	Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto.
Boca de acceso	Abertura que se localiza sobre una tubería con el objeto de permitir el acceso a su interior.
Boquilla	Dispositivo para aumentar la velocidad del agua.
Borde libre	Espacio comprendido entre el nivel máximo esperado del agua fijado por el sistema de rebose y la altura total de la estructura de almacenamiento.
Cabeza de presión	Presión manométrica en un punto, expresada en metros de columna de agua, obtenida como la razón entre la magnitud de la presión y el peso específico del agua.
Cama de soporte	Es la capa de material que sirve directamente de apoyo a la tubería.
Cámara de caída	Estructura utilizada para dar continuidad al flujo Cuando una tubería llega a una altura considerable respecto de la tubería de salida.
Cámara de succión	Depósito de almacenamiento de agua en el cual se encuentra la tubería de succión.
Capacidad hidráulica	Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.
Capacidad máxima	Caudal máximo de diseño de una estructura hidráulica.
Captación	Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de fuente de abastecimiento.
Catastro de redes	Inventario de las tuberías y accesorios

	existentes incluidas su localización, diámetro, profundidad, material y año de instalación.
Caudal de diseño	Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.
Caudal de incendio	Parte del caudal en una red de distribución destinado a combatir los incendios.
Caudal específico de distribución	Caudal de distribución medio que se presenta o se estima en un área específica y definido en términos de caudal por unidad de área o caudal por unidad de longitud de tubería de distribución instalada o proyectada en el área de diseño.
Caudal máximo diario	Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.
Caudal máximo horario	Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.
Caudal medio diario	Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.
Conducción	Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.
Cota de batea	Nivel del punto más bajo de la sección transversal interna de una tubería o colector.
Cota de clave	Nivel del punto más alto de la sección transversal externa de una tubería o colector.
Desarenador	Cámara destinada a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.
Dotación	Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes
Hidrante	Elemento conectado a la red de distribución que permite la conexión de mangueras especiales utilizadas en la extinción de incendios.
Línea de energía	Línea o elevación obtenida como la suma de la

	cabeza de presión, la cabeza de velocidad y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.
Línea piezométrica	Línea o elevación obtenida de la suma de la cabeza de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.
Población de diseño	Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño
Población flotante	Población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un espacio de tiempo corto por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal.
Red de distribución	Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.
Tubería	Ducto de sección circular para el transporte de agua.
Tubería de impulsión	Tubería de salida de un equipo de bombeo
Tubería de succión	Tubería de entrada a un equipo de bombeo
Tubería flexible	Los materiales de tuberías que clasifican como flexibles son aquellos que derivan su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la interacción de la tubería flexible y del suelo circundante el cual trabaja por la deflexión de la tubería hasta el punto de equilibrio bajo carga.
Válvulas de sectorización	Son dispositivos que cierran el paso del agua en las tuberías de distribución, con el fin de sectorizar la red. Usualmente son válvulas de compuerta con vástago fijo o válvulas mariposa con mecanismo de reducción de velocidad de cierre para evitar golpe de ariete.
Zona de presión de la red de distribución	Es una de las partes en que se divide la red de acueducto para evitar que las presiones mínimas, dinámica y máxima estática sobrepasen los límites prefijados.

RESUMEN

Este proyecto busca presentar un diagnóstico de la red de agua potable que existe en el Municipio de San Juan Nepomuceno (Bolívar), identificando las variables que presenta éste sistema; tales como niveles de caudal, velocidad y presión del agua, topografía, entre otras, mediante la implementación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permitan determinar el estado y comportamiento del actual sistema de distribución de agua potable.

Partiendo de los diferentes problemas que se presentan en sistema de acueducto, sobresale de manera notoria un inconveniente en particular y es la discontinuidad con la que se presta el servicio en el municipio, viéndose afectada de manera directa la población que habita en éste, de igual forma se ha logrado observar con el pasar del tiempo que mientras la mayoría de las viviendas que se encuentran en las zonas bajas del municipio consumen el servicio de acueducto de manera normal, aquellas viviendas que se encuentran en zonas más altas perecen de éste servicio, lo que conlleva a realizar un análisis en cuanto a las presiones implementadas en el sistema de acueducto, así como también el tipo de tuberías con que cuenta la red. Se necesita realizar la simulación del sistema de acueducto para así identificar las áreas que presentan mayores inconvenientes con el servicio, a fin de poder brindar apoyo a la toma de decisiones y poder darle solución a los problemas planteados.

Para lograr la simulación de red de acueducto, se necesita contar con información depurada, tal como planos de redes, topografía, cartografía, a fin de apoyarnos en herramientas que ayuden a la simulación del sistema de acueducto como lo es la herramienta, WaterGEMS V8I for ArcMap, la cual permite realizar el análisis respectivo.

Finalmente se Diseña e Implementa un Mapa de Consulta WEB que permite el acceso, visualización, consultas y gestión de la información resultante del análisis realizado.

Palabras Claves: Sistema de Información Geográfica SIG, Base de Datos, Acueducto.

ABSTRACT

This project seeks to present a diagnosis of the drinking water that exists in the municipality of San Juan Nepomuceon (Bolívar), identifying the variables of this system; such as levels of flow, speed and pressure of the water, topography, among others, by implementing tools Geographic Information Systems (GIS) for determining the state and behavior of the current system of distribution of drinking water.

Based on the various problems that arise in water system, stands conspicuously disadvantageous in particular and is the discontinuity with which the service in the municipality lends, looking directly affected the people living in it, just form has been achieved observe over time that while most of the homes that are in the lowland areas of the municipality consume water service normally, those homes that are in higher areas perishing of this service, leading to an analysis in the story implementadas system pressures Acueducto Romano well as pipe type available to the network. You need to perform the simulation of water system in order to identify areas that have major problems with the service, in order to provide support for decision making in order to rectify the problems.

To logarar simulation aqueduct network, you need to have refined information such as network plans, surveying, mapping, in order to rely on tools that help system simulation acueucto as it is the tool, WaterGEMS V8I for ArcMap, which allowed for the examination.

Finally it designs and implements a Map Web query that allows access, visualization, management consultation and information resulting from the analysis.

Keywords: Geographic Information System GIS, Database, Aqueduct.

INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable es una más de las actividades fundamentales dentro de los distintos tipos de servicios públicos que aportan calidad de vida a las personas. Presenta unas características peculiares frente a otros servicios y su funcionamiento puede ser analizado desde distintas perspectivas; como recurso, la cantidad de agua disponible para el consumo está limitada y, en ocasiones, su distribución es irregular en el tiempo y en el espacio. Como producto de consumo, son de especial interés los aspectos sanitarios relacionados con la calidad de agua y su mantenimiento mientras permanece en el sistema de conducciones. El sistema de abastecimiento se encarga de distribuir el agua desde los puntos de inyección, hacia los puntos de consumo. Por ello, adolece necesariamente de una gran dispersión espacial, que complica el trabajo para un adecuado mantenimiento de la red. En muchos sistemas de distribución, una cantidad significativa de agua se pierde a lo largo de los varios elementos de la red por fugas o consumos no autorizados (acometidas ilegales), inconveniente que afecta el adecuado funcionamiento del sistema de acueducto.

Los Sistemas de Información Geográfica, -SIG- con el pasar del tiempo han sido ampliamente difundidos y puestos en práctica 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.

El proyecto planteado sobre el análisis de la red de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, a través de los SIG, comprende un conjunto de procedimientos utilizados para abordar el estudio de la estructura y de las relaciones territoriales a partir del conocimiento de la posición y de las características de las entidades geográficas de las variables involucradas. En este trabajo se propone su implementación para el planeamiento y toma de decisiones dentro de la red de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, con el fin de ayudar a la administración a tomar respuestas idóneas y oportunas a las diferentes fallas que se presente en el sistema de acueducto, así como también al planteamiento de regulación del servicio en los diferentes sectores del municipio.

La implementación del SIG en la gestión técnica de redes de acueducto es de gran utilidad para la empresa gestora del servicio de agua potable, ya que a través de éste se obtendrá información pertinente y oportuna del estado real de las redes de acueducto, para así por ejemplo definir zonas que presenten

menor velocidad y presión del agua por causas del mal estado de la red, material de la tubería, topografía, etc. y con ello contemplar en sus planes de acción el mejoramiento continuo de las redes de acueducto, teniendo prioridad de ejecución las zonas en las cuales el análisis de redes mediante los SIG determine como más vulnerables, contribuyendo de esta manera en el mejoramiento del servicio de agua potable.

Es muy importante para el municipio que la red de acueducto brinde un servicio con calidad mediante el abasto eficiente. La inmediatez con la que se requiere tomar una medida, en muchas ocasiones, omite el paso del análisis por medio de las nuevas tecnologías y la solución aparece, generalmente, asociada a la experiencia acumulada en el tema y al análisis de un equipo de expertos. Entonces, la experiencia operativa pasa a ser lo más importante. Lo que se propone, por tanto, el uso de las herramientas de análisis espacial brindadas por los SIG en la tarea de gestión técnica de redes de agua urbana para la toma de múltiples decisiones técnicas.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

El uso eficiente del agua es una necesidad para la sostenibilidad de los recursos hídricos, hoy día es un tema que cada día ocupa más la atención por parte de científicos, técnicos, políticos y la comunidad en general, ya que hace referencia a un problema clásico de mercado: “*un desequilibrio entre oferta y demanda*”, algo que se ha denominado como “*Crisis del Agua*”, es decir que el hombre como tal ha creado una demanda creciente y descontrolada sobre los recursos naturales, donde el recurso hídrico no es la excepción. Para Colombia el Estudio Nacional del Agua 2014, publicado por el Idean, trae las mismas malas noticias de todos los estudios nacionales del agua que se han publicado en los últimos 30 años: la gran riqueza en agua de Colombia está siendo destruida y degradada, a tal punto que es hoy tan solo un recuerdo para los habitantes de no pocos lugares del país.

Para el caso del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, se puede decir que existen varios inconveniente respecto al tema de la distribución del recurso hídrico; debido a que éste no es constante en los hogares y en muchas ocasiones por no contar un control idóneo sobre la administración de las infraestructuras o redes de acueducto, no se distribuye de manera pertinente el recurso agua al 100% de los hogares de la comunidad sanjuanera.

Por ésta y otras razones más, muchas personas se encuentran inconformes con respecto al servicio prestado, porque en el momento que se realizan las labores de bombeo, el líquido no llega al 100% de los hogares, afectando así de esta manera en su mayoría de porcentaje a las viviendas que se encuentran en zonas altas del municipio, por lo que las viviendas que se encuentran en las zonas bajas gozan del servicio gran parte del tiempo en que se realiza ésta actividad, dejando poca presión para que el líquido llegue hasta las parte más altas.

Se ha logrado observar con el pasar del tiempo que mientras la mayoría de las viviendas que se encuentran en las zonas bajas del municipio consumen el servicio de acueducto de manera normal sin ninguna clase de inconvenientes, al tiempo aquellas viviendas que se encuentran en las zonas altas no llega dicho servicio hasta que las primeras no dejen de consumir. El inconveniente observado, al parecer es generado por la falta de presión en las tubería, ya que la zonas bajas cuando empiezan a consumir el servicio, hace que se disminuya la presión del líquido y es por ésta razón que las zonas altas no consumen el recurso como las otras. Se considera que uno de los factores que inciden sobre esta problemática es la presión implementada para la distribución del líquido, así como también la ubicación distante de tanques de distribución, de igual forma la distribución idónea de las cantidades en metro cúbico (m³) requerido por cada vivienda.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico de la red de agua potable del Municipio de San Juan Nepomuceno (Bolívar), para determinar el estado y comportamiento teniendo en cuenta las diferentes variables que presenta éste sistema, mediante la implementación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que ayude a la toma de decisiones.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular mediante el uso de herramientas de información geográfica la red de acueducto.
- Identificar los puntos dentro de la red de acueducto que posean el valor mínimo de presión.
- identificar las zonas que presentan problemas con el suministro de agua potable.
- Analizar las cartográficas y otras fuentes documentales, que aporten información que permita la optimización para la red de acueducto.

3. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso de gran importancia para el hombre y puesto que de este dependen muchos procesos productivos y es esencial para la salud humana y por ende para la vida, sin olvidar que es un recurso escaso, se vuelve necesario su uso racional y equilibrado. Esto implica un cambio en la visión del usuario final que lleve a valorar el agua como un recurso finito que puede agotarse y considere que disponer de agua apta para consumo humano implica un costo económico y ambiental.

De la misma forma es importante mencionar el hecho que a medida que aumenta el desarrollo del país, se deben incrementar los controles y cuidados para la conservación de los bienes y recursos, dado a que sin una vigilancia exhaustiva de la productividad de los recursos disponibles, los servicios de abastecimiento de agua deberán afrontar, tarde o temprano, cuantiosas inversiones en la búsqueda de nuevas fuentes, posiblemente cada vez más alejadas, debido al cambio climático que afrontamos actualmente reflejado en las largas épocas de sequitas que se han venido presentando.

Es por ello que el primer paso para poder efectuar una gestión y control eficientes del agua consiste en disponer de un conocimiento adecuado de cada una de las redes de distribución de agua. Este conocimiento resulta difícilmente alcanzable sin un estudio de la red de distribución de agua potable mediante su análisis y posterior diagnóstico. Esta necesidad de gestionar de una manera eficiente el agua junto con el continuo desarrollo de la tecnología y, especialmente, la tecnología de la información, sitúan a este proyecto en un marco de plena actualidad, además de contribuir a la identificación de áreas problemas con respecto al servicio prestado y la posible solución a éste, partiendo del análisis realizado mediante las herramientas de sistema de información geográfico.

Teniendo en cuenta que el Gobierno Nacional establece una alternativa de manejo racional del agua a través de la ley 373 del 6 de junio de 1997 por la cual establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua como una obligación dentro de los planes ambientales regionales y municipales. A nivel local, para el municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, se hace necesario realizar un estudio sobre la gestión de las redes de acueducto que aporte a la toma de decisiones a fin de garantizar soluciones a la problemática presentada y genere beneficios en la comunidad, como la continuidad del servicio y que se convierta en una alternativa que conduzca al desarrollo sostenible.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Sistema de información geográfico 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.

4.2 NORMATIVA

4.2.1 Reglamento Técnico De Agua Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico

Esta normativa señala los requisitos que deben cumplir las obras, equipos y procedimientos operativos que se utilicen en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y sus actividades complementarias. Se expide en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 142 de 1.994, que establece el régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia, y busca garantizar su calidad en todos los niveles. Esta ley le asignó al Ministerio de Desarrollo Económico la responsabilidad de determinar el alcance de los requisitos técnicos una vez que la Comisión de Regulación de Agua potable y Saneamiento Básico señaló esta necesidad, teniendo en cuenta que su aplicación no conlleva restricción indebida a la competencia.

La presente edición actualizada es el resultado del proceso de revisión al RAS-98 iniciado en febrero de 1.999 y para dar cumplimiento al Decreto 1112 de 1.996 del Ministerio de Desarrollo Económico, por el cual se crea el Sistema Nacional de Información sobre Medidas de Normalización y Procedimientos de Evaluación de la Conformidad, se dictan normas para armonizar la expedición de Reglamentos Técnicos y se cumplen algunos compromisos internacionales adquiridos por Colombia. En este proceso intervino la Junta Técnica Asesora del Reglamento que está conformada

por entidades y gremios del Sector y cuyas funciones generales son las de revisar, modificar y actualizar en forma permanente el Reglamento Técnico, de oficio o a solicitud de parte interesada, previo estudio de la viabilidad y conveniencia de la petición. Adicionalmente, el RAS-98 fue sometido a consulta pública nacional en doce eventos de divulgación que se efectuaron en diferentes lugares del territorio nacional y contaron con la presencia de funcionarios e ingenieros locales, que con sus aportes enriquecieron el proceso de revisión mencionado.

Esta revisión concluyó en la primera quincena del mes de junio de 2.000 y su texto, en formato de resolución, fue enviado a la Organización Mundial de Comercio, a los países del Pacto Andino y a los países socios del Tratado de Libre Comercio para someterlo a procesos de consulta pública internacional la cual se cumplió entre el 20 de junio y el 20 de septiembre, sin que se hubieran presentado objeciones u observaciones por parte de estos organismos multilaterales con los cuales Colombia tiene compromisos comerciales.

De acuerdo a su obligatoriedad, el presente Documento Técnico Normativo está dividido en tres secciones: Sección I Título A: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, el cual contiene el acto resolutorio mediante el cual el Ministerio de Desarrollo Económico, con base en las facultades que le otorga el Decreto No. 1112 de 1.996, lo expide como tal y le confiere carácter oficial para su aplicación en todo el territorio nacional. Los requisitos, procedimientos, prácticas y normatividad vigente, allí contenidos o mencionados, tiene el carácter de mandatorios y se reafirman por el uso frecuente de la palabra debe en cualquiera de sus acepciones.

La sección II de este Documento Técnico Normativo contiene los siguientes Títulos: B. Acueducto C. Potabilización D. Recolección y evacuación de aguas residuales, domésticas y pluviales E. Tratamiento de aguas residuales F. Aseo urbano G. Aspectos complementarios Cada título de esta sección es un Manual de prácticas de buena ingeniería, en donde se establecen los criterios y recomendaciones para el diseño, construcción, supervisión técnica, interventoría, operación y mantenimiento propios del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Al inicio de cada Título se presenta un listado que describe brevemente el contenido de las Normas Técnicas Colombianas e Internacionales de los productos terminados, de los ensayos de control de calidad y de procedimientos, referenciados por su Código en el texto del respectivo Título.

También se mencionan las leyes, decretos y legislación colombiana pertinente. El contratista, o la entidad ejecutora, o la entidad contratante a través de su interventoría, pueden utilizar estos Manuales para dar

cumplimiento a su cometido, a menos que se utilicen los métodos alternativos de diseño y/o construcción y/o suministros con tecnologías no institucionalizadas aún en el país para sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico de que trata el Artículo 208 – Permisos Especiales, del presente Reglamento Técnico. La Sección III, Título H del presente Documento Técnico Normativo contiene, a manera de información, el listado completo de las Normas Técnicas Colombianas y extranjeras que se aplican para los productos terminados, sus procesos de fabricación y procedimientos propios del Sector. También incluye información sobre las principales leyes, decretos y resoluciones del orden nacional, que aplican al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico a la fecha de su publicación.

Con el fin de que este Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS – 2000) junto con sus Manuales, Guías y Normas Técnicas relacionadas, se convierta en un elemento dinámico, la Junta Técnica Asesora que se encarga de su revisión y actualización permanente, seguirá recibiendo de la comunidad de usuarios, las observaciones que permitan su mejora continua en provecho de la calidad en la prestación del servicio de Agua Potable y Saneamiento Básico.

4.2.2 Guías Ras

Las Guías Ras tienen como propósito facilitar el uso del reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), en lo que respecta a la determinación del nivel de complejidad de un sistema y a las proyecciones de población y demanda de agua. Para la realización de las Guías RAS se han desarrollado metodologías asociadas a los temas mencionados, las cuales se han complementado como un ejemplo práctico que muestra su aplicación en el Municipio de San Vicente (Antioquia). Es importante, sin embargo, aclarar que los casos presentados como ejemplos son hipotéticos, pues, aunque utilizan la mejor información que sobre ellos se ha obtenido, no pueden ser tomados como ejercicios definidos aun para el caso de los municipios utilizados en estas Guías.

La Guía se encuentra dividida en cinco capítulos que corresponden a los elementos básicos necesarios para iniciar el diagnóstico y evaluación de un sistema de agua potable y saneamiento básico. El primero de ellos incluye el procedimiento para determinar el nivel de complejidad de un sistema a partir de proyecciones de población y de algunos indicadores de la capacidad económica del usuario. El Segundo capítulo se dedica a la descripción detallada de los diferentes métodos propuestos por la RAS para las proyecciones de población y presenta comentarios sobre los resultados obtenidos en algunas aplicaciones prácticas. El capítulo tercero trata sobre la estimación de un parámetro fundamental para la determinación de la demanda de agua: La dotación; para llegar a este punto es necesario

abordar temas de consumo de pérdidas de agua, los cuales son particulares y específicos de cada sistema analizado. En el capítulo cuarto se juntan los resultados de los capítulos dos y tres para obtener las proyecciones de demanda total de agua, que es el parámetro fundamental para realizar el planeamiento futuro de un sistema de agua potable y saneamiento básico. Por último, en el capítulo quinto se presenta un problema completo de aplicación de todos los temas incluidos en la Guía.

4.2.2.1 Los SIG como herramientas de apoyo para la toma de decisiones.

La idea de almacenar y manipular el sistema de acueducto 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 para el Acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar 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. No obstante cabe resaltar que se cuenta con la base de datos digital de catastro, del municipio, realizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, la cual poseen un Modelo de datos Robusto y ayudará a la identificación puntual de aquellos predios que son afectados por una presión baja y por ende un inadecuado servicio de acueducto para éstos. 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 SIG en el sistema de red de Acueducto para el municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, tuvo su origen en la necesidad de identificar las áreas en las cuales no se cuenta con la presión idónea para que los usuarios finales consuman el recurso hídrico de la manera adecuada, así como también atender de una u otra manera de forma ágil las intervenciones requeridas sobre el sistema de acueducto empleando un instrumento tecnológico que permitiera recopilar, almacenar, organizar, analizar y desplegar toda la información de las redes de acueducto del municipio 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.

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

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.

- 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.

4.2.2.1.2 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.

4.3 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se hace una revisión del estado del arte en la gestión de los abastecimientos urbanos de agua potable, resaltando los puntos en los que un SIG puede ayudar a esta gestión técnica, encargada de garantizar el correcto funcionamiento de la red, tanto desde un punto de vista estructural (estado de la red) como hidráulico (garantía de unos niveles de calidad del servicio adecuados). Puesto que el objetivo de la Tesis es contribuir a la mejora de la gestión técnica del abastecimiento de agua potable en el municipio de San Juan Nepomuceno, se dedicará una especial atención al papel que un SIG puede jugar en ella. Se citan entonces a continuación modelos de gestión técnica de modelos SIG en diferentes partes del mundo.

4.3.1 Metodología para la gestión y planificación de un sistema de agua potable con suministro intermitente: Aplicación a la Ciudad de Tegucigalpa (Honduras)¹

La tesis doctoral que lleva por título *“Metodología para la gestión y planificación de un sistema de agua potable con suministro intermitente: Aplicación a la Ciudad de Tegucigalpa (Honduras)”* es un proyecto que permite servir de apoyo para otros trabajos de investigación relacionados con una adecuada gestión de un sistema de agua potable no continuo en un entorno de una ciudad, región o país en vía de desarrollo.

El objetivo general de la tesis fue *“Elaborar una metodología integrada que permita la correcta gestión de un sistema de agua potable con características de intermitencia (no continuo)”*. Para llevar a cabo este propósito se planteó elaborar una metodología para realizar el diagnóstico integrado del sistema existente y de su entorno con particular hincapié en: evidenciar las deficiencias estructurales y operacionales de la red; cuantificar el índice de Agua No Contabilizada (ANC) existente y proyectado; estimar el déficit hídrico existente y proyectarlo en el horizonte de estudio; Identificar, evaluar y profundizar todos aquellos fenómenos inducidos por un servicio intermitente; Evaluar el despilfarro energético que a diario se presenta en un suministro intermitente por diversas razones.

En este se analizarán y se detallarán todos los fenómenos y elementos inducidos por un servicio de agua con estas características y se medirá el impacto que estos provocan en la región o comunidad y lo que corresponde al factor económico. Una vez que se realice la etapa de diagnóstico del sistema y valorado el impacto económico de la gestión, se considerarán posibles alternativas de mejoras en un

¹ Mario Tavera.(2013).Metodología para la gestión y planificación de un sistema de agua potable con suministro intermitente: Aplicación a la Ciudad de Tegucigalpa (Honduras), 13-32. Recuperado en 10 de agosto de 2016, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/21067/TESIS%20DOCTORAL%20MT%20DEF.pdf?sequence=11>

tiempo establecido. Dicha propuesta o plan de mejora formará parte del eje central que dinamizará el resultado esperado u óptimo del sistema.

Para este estudio se tuvo en cuenta una metodología de enfoque multidisciplinar, puesto que un sistema discontinuo obliga a la empresa o entidad prestadora del servicio a trabajar de manera irregular, intermitente, con altibajos en el sistema y con cierta incertidumbre. Las fases a tener en cuenta fueron: Diagnóstico actual del sistema, Estudio del entorno del sistema, Diagnóstico de fenómenos inducidos por la intermitencia en el suministro y Metodología de Soporte a la Decisión propuesta.

El desarrollo y resultados de la tesis consideran satisfactorio en la consecución de los objetivos planteados dado a la metodología propuesta para llevar a cabo el diagnóstico del entorno y del diagnóstico físico del sistema. Dado a que el proyecto como tal fue ejecutado a casos reales, se deduce que el diagnóstico conlleva a un esfuerzo enorme en términos de recursos humanos especializados, equipos de medición específicos y tecnología adecuada. Estos aspectos son justificados por la importante trascendencia que tiene el diagnóstico en los pasos siguientes de la metodología propuesta. Cabe resaltar que la verificación y análisis de cada uno de los diagnósticos obtenidos de manera parcial, se puede lograr gracias a la metodología que se implementada se han descrito detenidamente en el capítulo 8 siendo básicamente: 1) cantidad relevante de obras menores para mejorar la eficiencia y la operación en zonas puntuales de la red; 2) sectorización de la red en 75 sectores; 3) 4 proyectos de renovación de tuberías; 4) 5 intervenciones para incrementar la capacidad de regulación de la red.

4.3.2 Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México²

La implementación de las nuevas tecnologías y herramientas como lo son los sistemas de información geográficas para las dos localidades de México, consistió en el desarrollo de un SIG que apoyara a la administración de la información espacial y no espacial, relacionada más que todo con la operación de una red de distribución de agua potable, la cual brinda apoyo para la gestión y distribución de agua de buena calidad. Es importante mencionar que la organización requerida por el sistema de información aporta un logro adicional en cuanto a la automatización del sistema lo que hace que los procesos a desarrollarse en un futuro permitan tener actualizado y a su vez estar en la vanguardia tecnológica.

² Fragoso Sandoval, Lucio, Roberto Ruiz, Jaime, Flores, Zurvia, & Juárez León, Arturo Bruno. (2013). Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 34(1), 112-126. Recuperado en 04 de agosto de 2016, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000100009&Ing=es&tIng=es

Este SIG fue aplicado a dos unidades habitacionales de Tehuacán, Puebla, México, en el cual por medio de herramientas computacionales se permite al usuario visualizar y efectuar operaciones con la información de la base de datos generada del SIG. Los cálculos hidráulicos fueron realizados por medio del software Epanet, obteniéndose resultados confiables y un buen diseño del sistema.

En este trabajo se justifica la funcionalidad de estas tecnologías y se abre un amplio margen de posibilidades de explotación de los SIG para un futuro, gracias a las interconexiones que se definen en el sistema de una red de tuberías. Para la gestión de la red se requiere contar con información exacta, que permita una vinculación entre los clientes y el sistema. El funcionamiento de esta red debe ser capaz de abastecer a todos sus clientes con agua potable y dar un servicio adecuado y de calidad.

Esa gestión incluye planificar las posibles extensiones de la red, dar mantenimiento a la misma, determinar el valor del activo fijo asociado a esta infraestructura, determinar y proyectar las inversiones futuras en extensiones de la red, generar información para la proyección de la demanda de los clientes y para la regulación tarifaria, definir sectores de corte y otras tareas que se incorporen en el tiempo.

El uso de una tecnología de información como el SIG permite representar la realidad de manera visual, ayudar a mantener, generar y usar información mediante bases de datos para planificar y lograr un análisis temporal de las situaciones futuras. Para manejar la información de esta infraestructura se utilizaron planos elaborados en AutoCAD, los cuales sirvieron para dar la ubicación referencial y caracterización de la infraestructura del sistema

Para el desarrollo del sistema se definieron varios aspectos, como son las fronteras entre el sistema y el ambiente externo del proyecto. Se identificaron alcances y delimitaciones, así como también se establecieron los parámetros en los cuales se definieron los objetivos y expectativas. Por lo tanto para el desarrollo de este sistema, se estableció una metodología con la cual se puede retroalimentar el sistema en sus diferentes fases, y a la vez tener un desarrollo sistemático para este proyecto.

La metodología utilizada se integró con las siguientes fases:

- Estudios preliminares
- Análisis y diseño
- Desarrollo y ejecución
- Implantación
- Producción y Mantenimiento

De manera general, el desarrollo del proyecto antes mencionado, resultan evidentes las ventajas que presenta el uso de los sistemas de información geográfica (SIG), ya que pueden ser referenciados a entidades espaciales, particularmente por la gran utilidad que significa combinar la potencialidad de la parte gráfica del sistema con un banco de datos interactivo y de actualización automática. En cuanto al software utilizado en el proyecto, se puede decir que Arc View es una herramienta de gran ayuda en los SIG, ya que provee herramientas para incorporarlas en la información espacial y atributiva, y apoya el proceso de creación mapas que sirven de apoyo para la toma de decisiones, además que se pueden realizar consultas, desarrollar análisis espaciales, acceder a base de datos externas e implementar aplicaciones bajo programación en lenguaje Avenue. Para concluir, es importante destacar que el uso de los SIG no debe ser manejado como un problema de tecnología, como ha ocurrido durante ya varios años, sino que su uso debe reflejar la necesidad de una herramienta para el manejo de datos espaciales con la finalidad de resolver un problema.

4.3.3 Aplicación de SIG en proyecto de gestión de redes hidráulicas en la república de Sudáfrica³

El desarrollo del presente proyecto, significó la presentación de las experiencias de la aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en un proyecto de minimización de riesgos de dolinas (sinkhole) en la República de Sudáfrica. En el mismo se demuestra como la herramienta SIG facilitó tanto, el manejo de las redes de agua y saneamiento como la gestión de los reportes de incidencia. No obstante es de gran importancia mencionar que de igual forma se presentan las características específicas del proyecto, las fases en que se trabajó para la creación de las bases del SIG, los resultados preliminares obtenidos y las perspectivas del desarrollo futuro. Por último, se presentan algunas experiencias adquiridas en las condiciones sudafricanas y que pueden ser aplicadas en Cuba, dada la similitud de condiciones.

El objetivo de este trabajo es, exponer la experiencia de la aplicación de tecnologías SIG en trabajos de gestión y mantenimiento tanto de redes de suministro de agua como de saneamiento; de igual forma, compartir experiencias y conceptos adquiridos en tres años de trabajo en la República de Sudáfrica, como son: el funcionamiento de los Centros de Llamadas, el establecimiento de prioridades para los reportes y la implementación de penalidades al Contratista por no cumplir los plazos de respuesta a los reportes. Desde el comienzo de los trabajos, la aplicación del SIG al proyecto ha constituido un paso de avance, ya

³ Fragoso Sandoval, Lucio, Roberto Ruiz, Jaime, Flores, Zurvia, & Juárez León, Arturo Bruno. (2012). Aplicación de SIG en Proyecto DE Gestión de Redes Hidráulicas en la República de Sudáfrica. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 2(1), 77-89. Recuperado en 04 de agosto de 2016, http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Hidraulica/Vol-XXXIII/2-2012/77-89-JorgeAlfonsoSIG_SAfrica.pdf

que derivado de sus trabajos previos, permitió la creación de un plano digital de la zona, y la recuperación y unificación de información de diferentes fuentes, sobre las características e historia de las diferentes áreas. Otro aspecto importante es la adopción de la información de redes hidráulicas, que si bien aún continúa siendo insuficiente, significa una información muy valiosa y facilita el trabajo de verificación de los datos existentes y el de búsqueda de los inexistentes. El análisis de los puntos con reincidencia de reportes, nos permite ver que de los 38 lugares reconocidos como críticos, se pasó a 64 luego del análisis con el SIG, evidenciando que existían lugares sin la debida atención. De igual forma se detectaron lugares donde las incidencias siguen un ciclo en el tiempo y que requieren del análisis de la situación específica para determinar sus causas. En otros lugares, por el contrario, se reportaron muchas incidencias en un corto período de tiempo, lo que evidencia un mal trabajo en su solución

4.3.4 Emcali desarrolla proyecto de modernización tecnológica⁴

Las Empresas Municipales de Cali EMCALI, ejecutaron la construcción e implementación de un Centro de Control Maestro que permite instrumentar, monitorear y gestionar la información de los sistemas de acueducto y alcantarillado, con el fin de optimizar su operación y mantenimiento.

Gracias a este proyecto, la ciudad de Cali, cuenta con un moderno sistema de monitoreo que garantiza una operación más eficiente. Así mismo, obtiene una herramienta tecnológica para gestionar racionalmente el recurso hídrico disponible. El desarrollo e implementación del Centro de Control Maestro de Acueducto y Alcantarillado coloca a EMCALI a la vanguardia en proyectos de tecnología del agua.

La magnitud del proyecto y la inversión ejecutada consolidan y materializan el cumplimiento de su plan estratégico. Con este proyecto se generaron tres nuevas herramientas tecnológicas integradas:

1. Sistema de Adquisición de Datos (Scada): se obtiene las diferentes variables de operación y funcionamiento de plantas, estaciones de bombeo, tanques y redes, para la supervisión y control de la operación.
2. Sistema de Información Geográfico (SIG): permite a EMCALI tener toda la información técnica de las redes de acueducto y alcantarillado, así como la información de sus clientes en un mismo sistema, información a la que se podrá acceder de manera sencilla. Esta integración de hardware, software y datos geográficos diseñada, permite capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información georreferenciada de redes y clientes. El sistema SIG beneficia la operación del sistema porque permite crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

⁴ EMCALI (2010) EMCALI Desarrolla Proyecto de Modernización Tecnológica. Recuperado el 10 de Agosto de 2018 de http://www.emcali.com.co/c/journal/view_article_content?groupId=10157&articleId=116932&version=1.0

3. El Sistema Distribuido de Gestión de Daños (OMS): utiliza las capacidades y potencial del SIG para la representación geográfica de todas las entidades (daños, tareas, solicitudes, unidades operativas, clientes afectados, etc.) asociadas a la gestión de daños en redes de distribución de agua y alcantarillado. El objetivo del sistema OMS es proveer la información relevante a las personas clave encargadas de todas las actividades operativas, tanto en situaciones de emergencia como durante la operación diaria, facilitando la toma de decisiones informada.

La modernización tecnológica en implementación, es un cambio positivo para EMCALI teniendo en cuenta que ahora estos procedimientos de operación se hacen de manera manual. Para operar convenientemente las plantas de potabilización en el suministro de agua es necesario tener control sobre los tanques de almacenamiento y los niveles de agua que hay en ellos, actualmente esa información se envía a la planta o se comunica vía radio, donde se informa el nivel de tanques.

El centro de control permite que a través de telemetría se obtenga información permanente y en tiempo real. Según el ingeniero Eduardo Arbeláez Caicedo, jefe del Departamento de Planeación de Acueducto y Alcantarillado de EMCALI, la inversión total en la primera fase del Centro de Control Maestro incluido el contrato del edificio y algunos componentes adicionales, es de \$19.600 millones; sin embargo, considera que un proyecto de esta magnitud para una ciudad del tamaño de Cali requiere inversiones del orden de los \$40.000 millones.

El Centro de Control Maestro de Acueducto y Alcantarillado busca una optimización operacional, permitiendo una reducción significativa en consumo de energía, que es uno de los componentes que más pesa en los costos de operación de los servicios de Acueducto y Alcantarillado.

Por otro lado, el proyecto desde el punto de vista del recurso humano, también es positivo porque requiere que los funcionarios de EMCALI adquieran un nivel mayor de conocimientos en términos de la tecnología que se está implementando. Además, se necesita una mayor formación, la gente se está preparando y el proyecto contempla la capacitación necesaria del personal a cargo.

4.3.5 Proyecto SIG triple a: implantación, desarrollo y gestión de un sistema de información geográfico en una empresa de servicios públicos⁵

Una visión completa de la ejecución de un proyecto SIG para la gestión técnica de una empresa de servicios públicos se puede apreciar en la Implantación, Desarrollo y Gestión de un Sistema de Información Geográfico que realizó la empresa triple AAA en la ciudad de Barranquilla, en el cual se conjugaron una excelente planeación, ejecución, control y seguimiento del mismo.

Tradicionalmente las empresas prestadoras de servicios públicos en el mejor de los casos, vienen manteniendo en fichas o libros de registro la información de las

⁵ Tripe AAA ESP (2002). PROYECTO SIG TRIPLE A: Implantación, desarrollo y gestión de un sistema de Información geográfico en una empresa de servicios públicos. Barranquilla, Colombia

características de los elementos de sus redes, y emplean una cartografía realizada manualmente en la que también se recoge la información del material y diámetro de la tubería, identificadores de válvulas, etc.

Estas metodologías de trabajo condujeron a la empresa AAA a una serie de problemáticas inconvenientes internos, entre los cuales se pueden citar:

- Disposición de una gran cantidad de planos físicos a diferentes escalas.
- Engorrosa actualización de la información de dichos planos.
- Costosa gestión patrimonial de la red.
- Escaso control de la red en general y poca efectividad en consultas sobre los elementos de las mismas.
- Dificil integración en los procesos informáticos de gestión.

En este contexto aparecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una herramienta informática que permite recoger, almacenar, chequear, manipular y visualizar diferentes tipos de información (alfanumérica y gráfica) asociadas a objetos referenciados geográficamente. En el caso de las redes de acueducto, la situación y geometría del tubo, sus características, su estado, los valores hidráulicos, su historia (mantenimiento, averías), su valor patrimonial etc. y su relación con otras entidades de la red como los nudos que lo definen y los elementos (válvulas, ventosas, hidrantes, etc.) que se instalan en él, constituyen la información que caracterizaría al objeto tubo.

Una vez efectuado el proyecto SIG en la gestión técnica de las redes de acueducto los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Mejora en la gestión patrimonial de la red:

- Inventario: El sistema permite mantener totalmente automatizado el inventario de los elementos que componen la red, además de toda su información posicional y su relación con otros elementos.
- Renovación: Estas bases de datos permiten la planificación de la renovación de la red teniendo en cuenta criterios imposibles de cuantificar en otras circunstancias.

Mejora en la gestión técnica de la red:

- Planoteca: se solucionan los problemas de almacenamiento, modificación y consulta de centenares de planos. Nos permite conocer inmediatamente una serie de datos técnicos, totalmente actualizados, asociados a un elemento gráfico, sin necesidad de consultar listados o explorar complejas bases de datos. También se puede generar un plano de cualquier zona y a cualquier escala.
- Explotación: el GIS posibilita el desarrollo de aplicaciones de explotación diaria de la red, como modelos de cálculo, modelos operacionales, procesos de optimización etc. Podemos conocer la ubicación geográfica de elementos que cumplen determinados criterios de selección, como, por ejemplo, su fecha de instalación. Es posible determinar automáticamente las válvulas que habría que maniobrar para evitar la pérdida de agua ante una avería e identificar las acometidas afectadas por la misma y, por lo tanto, los usuarios afectados. Se puede controlar también el historial de averías de cada elemento de la red. Las posibilidades en este aspecto son prácticamente ilimitadas.

- Diseños: las redes de distribución son claramente evolutivas y dinámicas. La realización de diseños se ha de apoyar en la cartografía de base y la de la red. Los sistemas GIS racionalizan este trabajo, permitiendo la realización de diseños constructivos de una forma cómoda, eficaz, y facilitando la modificación de los planos.

Además, el SIG mejoro las perspectivas de la empresa en los siguientes aspectos:

- Integración de la información procedente de diferentes áreas de la empresa (comercial, diseños, distribución,) y enlace con las bases de datos del computador de gestión.

- Posibilidad de adquisición e intercambio de información sobre cartografía de base y redes de servicios con organismos oficiales, y otras empresas de distribución de servicios (eléctricas, telefónica,).

- Mejora en el nivel de atención al abonado, facilitando información más precisa y rápida sobre diseños de nueva instalación, situación y alcance de averías.

Como conclusión los SIG posibilitaron la constitución en el tiempo de un activo de información sobre la red de distribución no desarrollable por medios manuales, y que mejora, sin lugar a dudas, el servicio al cliente y la productividad y eficiencia de la empresa.

4.3.6 Aplicación de SIG para el diagnóstico y gestión de la red de agua potable de ciudad Cuauhtémoc, chihuahua⁶

La implementación de las herramientas de información geográfica para el proyecto que tiene como nombre “aplicación de SIG para diagnóstico y gestión de la red de agua potable de ciudad CUAUHTEMOC, CHIHUAHUA”, se ejecutó un primer análisis sobre las condiciones del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable de la Ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua, lo que conllevó a incluir un muestreo aleatorio de la presión (kg cm⁻²) en tomas doméstica y comercial para realizar los análisis respectivos. Estos datos fueron georreferenciados con ayuda de la traza, finalmente se procedió a aplicar métodos de interpolación geoestadísticos para obtener la distribución espacial de las presiones registradas en la red de agua potable, lo cual ha permitido identificar todas las áreas que no cumplen con los requisitos mínimos necesarios de presión para un buen funcionamiento y servicio a la población, así como aquellas zonas que pudieran estar registrando riesgo a fugas por los excesos de presión.

Para poder obtener datos espacialmente distribuidos de la presión de suministro a partir de datos puntuales fue necesario realizar una interpolación mediante el módulo geoestadístico de distancia inversa ponderada (IDW). Este modelo asume que las cosas que están más cerca son más parecidas a las que están más cerca.

⁶ Yadira Iveth Ibarra Pérez & Luis Carlos Alatorre Cejudo. (2015). Aplicación de SIG, para el Diagnóstico y Gestión de la Red de Agua Potable de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua. Recuperado en 04 de agosto de 2016, <http://selper.org.mx/images/Memorias2015/assets/et014.pdf>

Para predecir un valor en un lugar no muestreado utilizará los valores muestrales de los que haya alrededor del lugar que se va a predecir, en resumen, los valores de los lugares más próximos al que se va a predecir tendrán más influencia y por lo tanto más peso que los que están más lejos.

Conclusiones: La presión de suministro de una red de agua potable es uno de los principales indicadores del funcionamiento hidráulico, debido a que esta condición física determina la manera en que se está distribuyendo y suministrando el vital líquido a los usuarios. En general los resultados muestran problemas en cuanto a presiones bajas, altas y muy altas, lo cual nos indica un mal funcionamiento hidráulico de la red de agua potable en ciertos sectores de la ciudad. Por otra parte estos resultados son producto de una primera aproximación, sin embargo, el método empleado muestra su potencial para ser replicado en otras zonas del país. Finalmente destacar que este trabajo es parte de una tesis para la obtención del grado de Licenciado en Geoinformática, la cual incluirá datos de caudales de suministro contra datos de aforos, indicador de la eficiencia recaudatoria del organismo operador, y datos sobre las condiciones físicas de las cajas de válvulas, aspecto clave si se pretenden seccionar la red o en caso de fuga para no afectar a un área amplia.

5. METODOLOGÍA

El análisis de un sistema de distribución de agua consiste, en general, en determinar las alturas piezométricas de todos los nudos y los caudales que circulan por todas las tuberías, dados una serie de datos de los elementos. Estos datos consisten en las características de todas las conducciones (longitudes, diámetros y rugosidades) y de los elementos especiales (niveles iniciales de los depósitos, curvas características de los grupos de bombeo, grado de apertura de las válvulas de regulación, presión de tarado de las válvulas reductoras y sostenedoras, etc.), así como los consumos que se realizan en los nudos y la altura piezométrica (suma altura de presión y cota) en al menos uno de los nudos del sistema.

Se trata de obtener unos resultados a partir de unos datos y un conjunto de Ecuaciones que representan a cada elemento:

Datos Resultados

Datos	Resultados
<ul style="list-style-type: none">• características de todas las conducciones (longitud, diámetro, y rugosidad)• características de todos los elementos especiales• consumos en los nudos• una altura piezométrica de referencia	<ul style="list-style-type: none">• caudales que circulan por las tuberías• alturas piezométricas en los nudos

Tabla 2. Datos y resultados en un una red de distribución de agua.

Si se considera con rigor el funcionamiento de una red de distribución de agua, la existencia de un régimen permanente en el mismo es una situación teórica. Sin embargo, cuando las variaciones de caudal y presión son pequeñas, no conduce a demasiados errores despreciar dichas variaciones y considerar como permanentes las situaciones de funcionamiento en que los valores medios en el tiempo de estas cantidades se mantienen constantes.

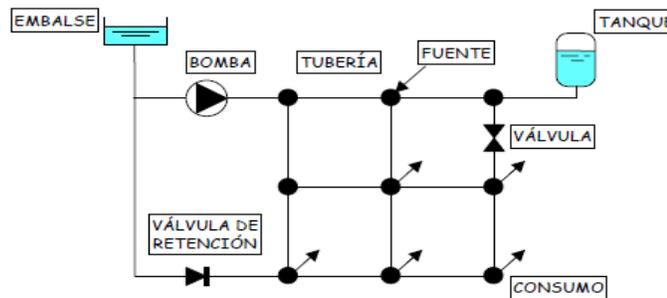


Imagen 2. *Diversos elementos de una red de distribución de agua.*

Entrando de lleno en la problemática de estudio, se define una red de distribución como un conjunto de elementos convenientemente conectados entre sí cuya finalidad es conducir el agua desde los puntos de alimentación (en general, pozos y depósitos de distribución) a los puntos de consumo (edificios, industrias, bocas de riego e incendio, etc.), manteniendo unas buenas condiciones cuantitativas y cualitativas. Cuando se habla de un elemento de la red se hace referencia a un componente real de la red, esto es, una válvula, un tramo de conducción (constituido por una sucesión de tubos rectilíneos montados en serie), una bomba, etc., sin unión alguna con el exterior a lo largo de su longitud y cuyo comportamiento hidráulico está perfectamente definido.

Debido a la gran cantidad de elementos que tiene una red de acueducto como tal, se agruparán elementos para hablar de ellos y tenerlos en cuenta. Puesto que ya ha aparecido el concepto de línea de la red, conviene proceder a su definición. Una línea de un modelo de red se define como un conjunto de elementos de la misma conectados entre dos puntos, a los cuales se les puede asociar una ecuación constitutiva que permita caracterizar, con la mayor fidelidad posible, el comportamiento global de esos elementos, o sea la relación entre el caudal circulante y la diferencia de alturas piezométricas entre los citados puntos. Dependiendo del grado de abstracción o esqueletización que se haga de la red real se tendrán más o menos líneas en el modelo.

Una vez agrupados todos los elementos de la red en las correspondientes líneas, se está en condiciones de realizar un esquema de la misma. Los extremos de cada línea serán los nudos del sistema. De esta forma, un sistema de distribución, con cualquier nivel de complejidad, puede esquemáticamente ser representado, a efectos de análisis hidráulico, por un conjunto de nudos y líneas. Las líneas pueden ser de diversos tipos: tuberías, válvulas, bombas, estructuras de medición y control, etc.

Los nudos pueden ser definidos como puntos de la red en los cuales se unen dos o más líneas (nudos de conexión), o puntos en los cuales se efectúa la entrada o salida de caudales al sistema (en el análisis hidráulico, como veremos, los consumos son concentrados en los nudos). Corresponden pues a los lugares

donde son aplicadas las condiciones de contorno del problema y es a través de ellos por donde la red se comunica con el exterior. Además, puesto que los nudos constituyen el punto de unión de varias tuberías, éstos se descomponen habitualmente en nudos propiamente dichos (uniones, consumos o puntos de inyección) y depósitos (depósitos de nivel constante o variable). En el caso de un nudo que represente un consumo, el valor asignado a éste se corresponde con el caudal demandado por los usuarios a los que abastece para la situación de cálculo analizada. El consumo será generalmente (problema de análisis) un dato del problema, mientras que la presión en el citado nudo será la incógnita a determinar (nudos de altura piezométrica incógnita o nudos de caudal). Una vez conocida ésta será necesario analizar si bajo las condiciones supuestas es posible suministrar ese consumo a los usuarios (pensemos por ejemplo en la imposibilidad de suministrar un consumo normal a un edificio de viviendas que careciese de grupo hidropresor en el caso en que la presión calculada no superase un cierto valor). Un nudo que simplemente representa la confluencia de dos o más líneas, pero por el que no entra ni sale caudal a la red, puede ser considerado como un nudo de caudal, siendo el valor de éste nulo. Por tanto, éstos no son sino un subconjunto de los anteriores. El otro tipo de nudos corresponde generalmente a depósitos o puntos de entrada a la red con altura piezométrica conocida. A estos nudos se les denomina nudos de altura piezométrica conocida o nudos de presión. En estos, la incógnita es por regla general el caudal que aportan al sistema, si bien puede darse el caso de que reciban caudal (caso de un depósito que se está llenando). En función de las características de los mismos, estos nudos se pueden subdividir a su vez en embalses o depósitos de nivel constante y tanques o depósitos de nivel variable. Las líneas se caracterizan por mantener a lo largo de toda su longitud un caudal constante y unas características uniformes (sección y material). Como resultado del proceso de esqueletización previo a la obtención del modelo matemático puede suceder que una tubería tenga consumos intermedios o distribuidos a lo largo de la misma. No existen sin embargo muchos modelos hidráulicos de análisis que consideren este tipo de elementos. La forma en que están asociadas (topología del sistema) da lugar a clasificar las redes como ramificadas o malladas. Generalmente las redes de distribución son de tipo mixto ya que presentan mallas y ramificaciones. Una malla es un circuito cerrado formado por varias líneas (tiene su origen y final en el mismo nudo) y puede o no contener otros circuitos cerrados en su interior. Se definen las mallas elementales como aquellas que no contienen ninguna otra en su interior.

Esta división que se ha hecho de los elementos de una red de distribución es meramente hidráulica, ya que la representación típica de bombas y válvulas en un SIG es la de un punto. Se trata pues de elementos que hidráulicamente han de ser tratados como líneas pero cuya representación gráfica o topológica es habitualmente la de un nudo. Esto supone un problema para realizar la conexión entre el SIG y los modelos hidráulicos de simulación.

5.1 TIPO DE TRABAJO

El trabajo a desarrollar apunta al desarrollo de una investigación Aplicada debido a los objetivos y metodologías planteadas. Teniendo en cuenta lo anterior es importante resaltar que dicha investigación busca realizar un diagnóstico de la red de acueducto para el municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, a fin de apoyar a la toma de decisiones para obtener un mejor desempeño del sistema en estudio.

5.2 PROCEDIMIENTO

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

- **Solicitud de información requerida.**

Obtención de Información acerca de los estudios, proyectos, planos referente a la red de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, a fin de evaluar el estado, alcance y vigencia de la información. Esta etapa se refiere a la obtención de información temática de los estudios realizados de zonas donde se presenta la infraestructura de las estaciones de bombeo, así como también sobre los sectores que presentan inconvenientes para recibir el servicio de agua potable, y la obtención de la cartografía requerida para realizar los análisis planteados en los objetivos.

Se debe realizar la solicitud de dicha información con entidades municipales, como Alcaldía y la Oficina Municipal, Atención de Desastres, empresa de servicios públicos ya que son los principales centros de información para el desarrollo de nuestro proyecto. Esta etapa se considera muy importante ya que define las herramientas necesarias para obtener un diagnóstico acertado, además de realizar la integración de la información a fin de poder ejecutar un análisis temático que ayuden a la toma de decisiones.

Por medio de las visitas realizadas a la alcaldía municipal de San Juan Nepomuceno Bolívar, se entablaron conversaciones con el personal encargado de la administración del sistema de redes de acueducto de éste municipio, donde se sustentó el análisis que se quería realizar al sistema de acueducto. No obstante se fijaron fechas para realizar recorrido de la red y conocer las estaciones de bombeo y planta de tratamiento, donde se tomaron puntos GPS de la planta de tratamiento e imágenes que se presentan en el presente documento y de igual forma fueron asignados los archivos requeridos para el desarrollo del análisis planteado, como lo fueron Levantamiento topográfico de la cabecera municipal, Plano de redes de acueductos y cartografía predial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

- **Verificación de la información**

Evaluación Cartográfica, considerándose como el punto de inicio para el desarrollo de nuestro proyecto, ya que a partir de esta información, se plasmaran los principales interrogantes a la cual debemos darle respuesta de manera concreta y precisa. Es necesario decir que se requiere la cartografía predial del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, así como también es importante contar con los planos de las redes de acueducto, teniendo en cuenta el recorrido de la tubería desde las estaciones de bombeo hasta la cabecera municipal con el fin de iniciar el proceso integración de esta información para diseñar de manera concisa los mapas temáticos. Es muy importante tener en cuenta que se debe contar con todos los planos georreferenciados conforme a la cartografía IGAC, ya que se quiere realizar la publicación de MAPAS ONLINE en los servidores WEB debidamente Georreferenciados.

- **Análisis de requerimiento**

Bajo un análisis de los datos necesarios para que el sistema de información responda a las necesidades, se identificará aquella información no útil al sistema como también la faltante y que deberá ser adquirida bien sea a través de recolección primaria o por fuentes secundarias.

Por otra parte se realizaran pruebas a los equipos actuales (servidores) para evaluar como estos responden a los procesos que se llevan a cabo, con el fin de determinar la necesidad de robustecer o modificar la componente física de los equipos para una correcta operatividad del sistema. También se revisarán los programas de cómputo existentes en términos de licenciamiento y capacidad de respuesta para el procesamiento de la información

5.2.1.1. Diagnóstico Del Sistema Existente

- **Infraestructura existente en el Sistema de acueducto de san juan Nepomuceno bolívar.**

En la actualidad (2015), se está ejecutando las obras de optimización del sistema de acueducto regional de San Juan Nepomuceno y San Jacinto las cuales se iniciaron con la construcción de la conducción en 18" y 16"(HD), el cambio de los equipos de bombeo con motores accionados a GAS en las dos estaciones existentes y la PTAP localizada en Perico, a 2.13 Km del casco urbano de san juan Nepomuceno, para ampliar la capacidad del sistema de 70 l/s, y disponer de un caudal tratado 120 l/s, con los cuales se espera atender la demanda futura (2035) de san juan, con una población de 32504 Habitantes y un caudal máximo diario de 83.4 l/s, más un caudal disponible de 36.6 l/s para san Jacinto.

Este caudal disponible para el municipio de san Jacinto, es un valor asumido de acuerdo con información secundaria recopilada por el operador de acueducto "Aguas de la Costa" y corresponde al abastecimiento para dicha población.

El acueducto regional abastece a los municipios de San Juan Nepomuceno y San Jacinto. El suministro actual de agua (2015) es racionado, ya que se tienen inconvenientes por la no terminación del proceso de optimización entre la captación y la PTAP; en tales circunstancias, el acueducto produce un caudal de 30 l/s, insuficiente para atender la demanda actual de 65 l/s, requerida para atender una población 25190 hab. Por lo cual, solo se suministra agua durante un día a la semana a cada uno de los seis (6) sectores que conforman la red de distribución. Un segundo problema que afecta directamente el suministro actual a la PTAP, se origina en las conexiones fraudulentas de muchas fincas y terrenos por donde se encuentra instalada la tubería de conducción, generando grandes pérdidas que según lo registrado por el operador del acueducto del municipio, se alcanzan valores de hasta 35 % del caudal captado y bombeado.



Imagen 3. *Conexión Fraudulenta dentro del sistema de Red de Acueducto*

Con base en la información recopilada por el consultor y disponible en la empresa AGUAS DE LA COSTA S.A. E.S.P, operador del Acueducto de San Juan Nepomuceno, las redes de distribución presentan incrustaciones, muchos tramos tienen varios años de instalación, se originan fugas frecuentemente y además, se tienen varios tramos de tubería de material "Asbesto Cemento", en un porcentaje cercano al 30% y en diámetros que van desde 2" hasta 8".

La empresa AGUAS DE LA COSTA S.A. E.S.P., ha podido establecer que en los sectores de distribución actual (servicio racionado) N° 2 y 4 (zona norte del municipio) no se presentan fugas frecuentemente, debido a que la tubería instalada en esos sectores es de PVC 3" y tiene menos de diez años de instalada. Por otra parte se pudo establecer que no existe micromedición efectiva en el Municipio y los cobros a los usuarios, se hacen sobre facturación promedio.

- **Tanques de Almacenamiento**

El sistema de acueducto dispone de un tanque de almacenamiento de 500 m³ en la PTAP de Perico, a una cota de 222 msnm; la red urbana dispone de un tanque enterrado de 300 m³ en el barrio Veinte de Marzo y dos tanques superficiales de 250 m³ c/u, ubicados uno en los Barrios Buenos Aires y el otro en el barrio La Paz.



Imagen 4. *Planta de Tratamiento PERICO*



Imagen 5. *Tratamiento de Agua Cruda.*

Los dos últimos tanques fueron construidos a mediados del año 2007, con el propósito de servir de compensación a la red, los tanques de la red de San Juan totalizan un volumen de 800 m³.

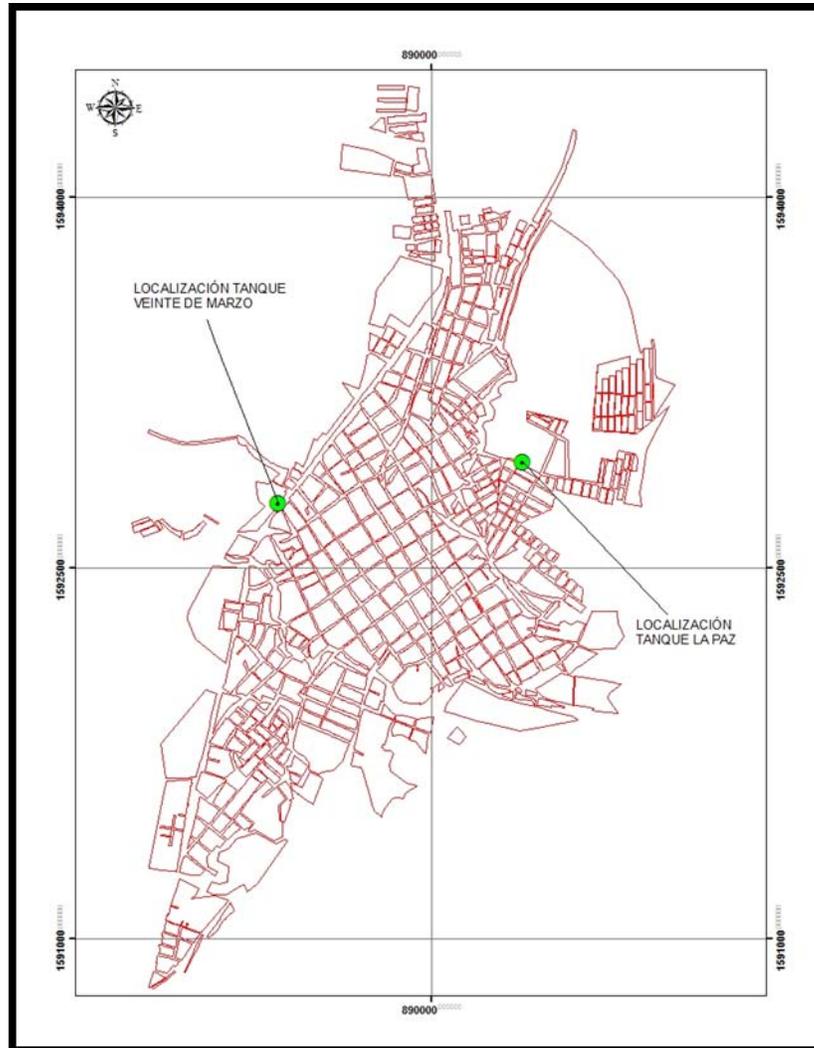


Imagen 6. Localización de Tanques zona Urbana.

La línea de conducción entre la PTAP del Perico y la conexión a la red de distribución, funciona por gravedad y está conformada por una tubería de acero al carbono con un diámetro de 12" y una longitud 2137 m.

En la abscisa K1+440 de esta conducción de agua limpia, se transporta el agua para los dos municipios que alimenta (San Juan Nepomuceno y San Jacinto), desde esta derivación y hasta el punto de alimentación de la red principal en la carrera 14 con calle 1, se transporta el caudal para el área urbana de San Juan.



Imagen 7. *Baipás línea de acueducto*



Imagen 7. *Baipás línea de acueducto*

5.2.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO

5.2.2.1 Caudales y Niveles

Los caudales máximo y mínimo del río Magdalena, fuente de abastecimiento del acueducto agua, se evaluarán para un sitio de captación con base en la información del IDEAM de la estación Hidrométrica ubicada en el Sector de Calamar, según mediciones a la altura de Calamar, ubicada a 110 km de su desembocadura en el océano Atlántico, el caudal medio del río Magdalena se ha estimado en 7100 m³/s. pudiendo bajar a mínimos anuales de 1520 m³/s y máximos de 18359 m³/s1.

La curva de duración de niveles es muy útil para determinar las condiciones de operación de la captación. A continuación se presenta la curva de duración del río Magdalena2.

5.2.2.2 Calidad del Agua

Tabla 3. Análisis de agua cruda Rio Magdalena

PARAMETROS	PROMEDIO
Turbiedad	125 U
Color	65 U
PH	7.31
Alcalinidad total	53 mg/L
Temperatura	28 grados
Hierro	4.62 mg/L
Dureza total	65 mg/L
Calcio	20.5 mg/L
Magnesio	3.2 mg/L
Sulfatos	47 mg/L
Cloruros	9.37 mg/L
Solidos totales	850 mg/L
Solidos disueltos	15.8 mg/L
Turbiedad	152

5.2.2.3 Captación

La captación de agua se realiza desde una barcaza flotante sobre el río Magdalena, donde están instaladas dos bombas centrifugas de flujo axial, eje horizontal y succión negativa de capacidad 100 l/s y potencia del motor de 30 HP, con HDT de 27 metros cada una; las motobombas están montados sobre una barcaza metálica localizada al margen izquierdo del río Magdalena en el

corregimiento de San Agustín, al sur oriente del municipio de San Juan de Nepomuceno.

La tubería de succión tiene un diámetro de 200 mm, y cuenta con los accesorios requeridos como son: Válvula de Pie con Coladera de 200mm, Reducción Excéntrica de 8" x 6" B X B, Brida de 6" x 16", Válvula de Compuerta BxB, Válvula de Retención Horizontal, Niples de Descargue, etc. La impulsión o descarga se hace a través de una tubería de 150 mm. Los equipos motor-bomba funcionan bien y trabajan alternados; mientras uno trabaja el otro está en reserva. El fluido es impulsado desde la barcaza hasta la estación de rebombeo N° 1, ubicada en el corregimiento de San Agustín.

A inicios del año 2008 se comenzó la instalación de redes de gas natural desde el Municipio de San Juan Nepomuceno hasta los Corregimientos de San José del Peñón (Estación de Rebombeo N°2) y San Agustín, con el propósito de utilizar motores a gas Natural que permitan garantizar un Bombeo estable y continuo. Actualmente el bombeo se presta en forma normal permitiendo además una gran economía en la producción del agua.

Con base en el caudal mínimo del río Magdalena 1520 m³/s en comparación con la demanda a la zona que abastece el acueducto de 120 l/s una vez sea optimizado dicho sistema, se puede concluir que la fuente tiene suficiente capacidad para abastecer el caudal de consumo de la población de San Juan Nepomuceno y de San Jacinto.

5.2.2.4 Sistema de conducción - bombeos y PTAP en proceso de optimización

✓ Aducción

Se tienen aproximadamente 30 m de aducción en CCP de 6", redes que se cambiaron en el 2006, actualmente se encuentran en perfecto estado.

✓ Desarenador

Se cuenta con un desarenador en concreto reforzado con sistema de dos (2) compartimientos, ubicado en el corregimiento de San Agustín junto a la estación de bombeo N° 1, sus medidas son de 12.0 x 5.0 m y el componente no presenta problemas estructurales.

✓ Conducción

El municipio a partir del año 2006, adelanta la optimización y rehabilitación de la red de conducción, teniendo hasta la fecha un total de 22 Km aprox. renovados en su mayoría en HD de 12", 16" y 18", por lo cual actualmente quedarían solo 5 Km de redes por rehabilitar.

Dentro de los trabajos de optimización y rehabilitación de la red de conducción, se tiene incluido el mantenimiento de las dos (2) estaciones de bombeo con que cuenta el componente, las cuales se ubican en los corregimientos de San Agustín y San José del Peñón, adicionalmente a lo largo del trayecto se verificó el estado de válvulas de quiebre, purgas y ventosas.

✓ **PTAP**

El municipio cuenta con una planta de tratamiento de tipo convencional y de accionamiento hidráulico, esta se encuentra localizada en el Alto de Perico a 2.2 Km al oriente de la Cabecera Municipal. Fue construida en 1990 con una capacidad nominal de tratamiento de 60 l/s y en la actualidad, la planta se encuentra tratando 40 l/s. Actualmente se construye la segunda etapa de la PTAP, de similares características que la primera, con la finalidad de ampliar la capacidad actual que es de 60 l/s hasta 120 l/s.

✓ **Micromedición**

✓

Solo existen 402 micromedidores de diferentes marcas e instalados en distintos barrios; en mayo la empresa Aguas de La Costa compró 400 elementos de micromedición, información detallada en el diagnóstico realizado por dicha empresa y facilitada a esta consultoría.

5.2.2.5 Almacenamiento existente

Entre los componentes de la planta de tratamiento de Perico se encuentra un tanque semienterrado de 500 m³ de capacidad, construido hace 50 años para almacenamiento de las aguas clarificadas y desinfectadas, a partir del cual se distribuye por gravedad a los municipios de San Juan Nepomuceno y de San Jacinto, mediante una tubería de Acero al Carbón de 12" de diámetro.

El municipio de San Juan Nepomuceno cuenta en su cabecera, con tres tanques de almacenamiento; dos (2) tanques semienterrados de 250 m³ de capacidad c/uno, ubicados en el Barrio Buenos Aires (cota 180msnm) y en el barrio La Paz (cota 190msnm), estos dos tanques fueron construidos en el año 2007. También se tiene un tanque enterrado, ubicado frente a la Troncal de Occidente, en el Barrio Veinte de Marzo cuya capacidad de almacenamiento es de 300 m³ (cota 206 msnm). Dichos tanques realizan la función de tanques compensatorios, se encuentran localizados dentro de la red y son alimentados por la misma red de distribución.

En total, el municipio de San Juan cuenta con un volumen de compensación de 800 m³, puesto que el Tanque existente en la PTAP Perico, es un Tanque de almacenamiento de agua filtrada y opera como tanque de carga de la Planta de tratamiento, por lo que no puede considerarse como parte del volumen de compensación para atender las variaciones horarias de la demanda de la red de San Juan.

Es de aclarar que todos los tanques cuentan con los dispositivos y accesorios indispensables para su correcto funcionamiento y mantenimiento, tal y como se observa en las siguientes imágenes:



Imagen 8. *Conexión planta de tratamiento y tanque*

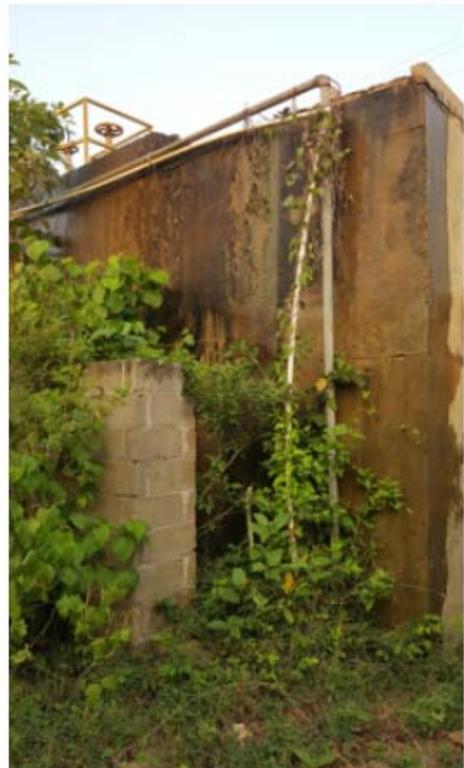


Imagen 9. *Tanque de almacenamiento Perico*



Imagen 10. *Tanque de rebombeo 20 de Marzo*

5.2.3 Redes de distribución y conexiones domiciliarias de San Juan Nepomuceno.

5.2.3.1 Redes de distribución

La red tiene una longitud de 66.595 metros en tuberías de AC, PVC y PEAD con diámetros que varían entre 2" y 8" (ver Tabla 5-3), las cuales se abastecen por gravedad desde el Tanque el Perico ubicado en la PTAP, estas redes alcanzan el 80% de cobertura sobre el municipio de San Juan. Las tuberías en AC tienen una longitud aprox. de 19.944 m, que representan el 29.95% del total de las redes de distribución construidas; además estas rede de Asbesto Cemento originan los mayores índices de roturas y por consiguiente deben ser reemplazadas, según información del operador "AGUAS DE LA COSTA S.A E.S.P."

Las redes en PVC en 3" a 8", con longitud de 37208 m (55.87%), igualmente presentan daños continuos y fugas, aunque en menor proporción que las de AC. De acuerdo con lo anterior, se concluye que se requiere la reposición y mejoramiento de accesorios de la red, para garantizar un adecuado manejo y operación de la misma, y una reducción en los volúmenes de pérdidas del sistema de acueducto.

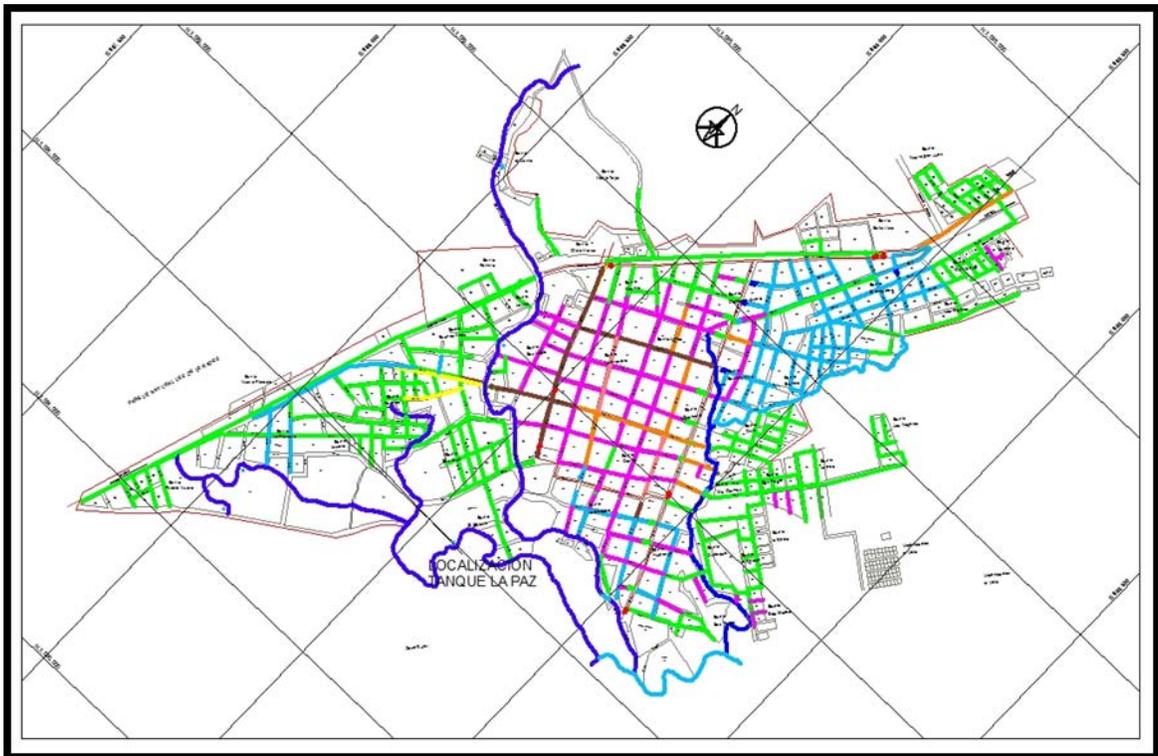


Imagen 11. Representación de la Red de distribución de acueducto del Municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar

5.2.3.2 Acometidas domiciliarias

Actualmente el municipio de San Juan Nepomuceno cuenta con 2868 usuarios, identificados y censados, y que están conectados a la red en forma legal. De esta cantidad solamente 400 cuentan con un sistema de medidor con su respectiva cajilla, es decir tan solo el 13.95% del total de usuarios del sistema de acueducto, siendo un porcentaje muy bajo. Los materiales de las acometidas varían desde el PVC, el Polietileno e incluso hay en Acero Galvanizado. El 95% de las acometidas que existen son de Vi".

Tabla 4. *Tuberías Matrices y secundarias del Sistema de Acueducto Municipio de San Juan Nepomuceno*

Material	Diámetro (")	Long. (m)
PVC	3	32110
PVC	4	2570
PVC	6	1921
PVC	8	607
AC	2	8289
AC	3	8246
AC	6	1774
AC	8	1635
Polietileno	4	3949
Polietileno	6	1970
Polietileno	8	3376
Acero al Carbón	4	53
Acero al Carbón	6	95
Subtotal (m)		66595

5.2.3.3 Macromedición

No existe un sistema de Macromedición convencional en el Acueducto del Municipio.

5.2.3.4 Conducción

La Conducción por gravedad de la PTAP a la red del municipio, se encuentra conformada por una tubería de 2134 m en material de Acero al Carbón de 12" de diámetro, la cual atraviesa los predios de Fincas aledañas al Municipio y por las cuales la Alcaldía ha pagado una servidumbre. Antes de llegar a la Cabecera municipal (abscisa K1+440) se deriva una conducción en tubería de HD 12" K7 PAMCOL, instalada en el año 2007, la cual conduce el caudal de abastecimiento de San Jacinto a una Estación de Bombeo ubicada sobre la margen de la Carretera Troncal de Occidente en predios de la Finca el Rancho, desde aquí es bombeada a los tanques de almacenamiento ubicados en la cabecera municipal de San Jacinto, cuya demanda de consumo actual es del orden de los 42 l/s.

5.2.4 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

5.2.4.1 Tanque PTAP Perico

Está ubicado junto a la PTAP, al suroriente de la cabecera Municipal, en la cota 225 msnm, y tiene un volumen de almacenamiento es de 500 m³, es un tanque en concreto semienterrado. (Ver anexos).

5.2.4.2 Tanque Buenos Aires

Este tanque de concreto semienterrado, funciona en buen estado en un lote adquirido para tal fin por la alcaldía municipal del Municipio de San Juan; se encuentra ubicado en la margen oriental de la Carretera Troncal de Occidente, en la cota 180 msnm, en la parte más alta del Barrio Buenos Aires. Localizado entre las coordenadas 1592172N 889193E, 1592180N 889201E, 1592177N 889209E y 1592165N 889202E. Tiene una capacidad de almacenamiento de 250 m³, su construcción se desarrolló en el año 2007, la geometría de su base es cuadrada, las dimensiones internas son lado 10 m y una altura de 2,5 m y sus dimensiones externas son de 10,5 m x 10,5 m x 3,7 m y con altura libre de 0.5 m. El tanque fue construido en concreto de 3500 PSI impermeabilizado, reforzado en acero de f y = 60000 PSI. La tapa posee cuatro (4) sistemas independientes de ventilación para el agua almacenada.

Este tanque funciona como Tanque de compensación de la red y alimenta a los Barrios Buenos Aires, La Isla, Barrio San José, Barrio Armero, Barrio La Floresta, Barrio Nueva Floresta, pueblo Nuevo y alrededores, con un área abastecida de 49.6 ha.

Operación y Mantenimiento del Tanque

La tubería de abastecimiento del Tanque es de PEAD 6", pero al llegar al Tanque se amplía su entrada a 8" con accesorios de PEAD y Acero al Carbón SCH 40. Por otra parte la salida del Tanque se realiza mediante una tubería de Acero al Carbón SCH 40 de 8" de diámetro y distribuye en tubería de PEAD de 6" de diámetro.

El sistema cuenta con válvulas de control a la entrada y salida, a las cuales se les realiza mantenimiento periódico por lo que se encuentran en perfecto estado, estas válvulas están alojadas dentro de Cajas de concreto reforzado y con tapa de Alfajor.

Actualmente para poder llenar completamente el Tanque Buenos Aires, deben coordinarse dos (2) actividades:

1. inicialmente debe haber suficiente agua tratada en la PTAP PERICO para enviar al Municipio.
2. posteriormente, se deben realizar operativos de cierre de válvulas durante el día y/o tarde que evite la circulación de agua a cualquier Barrio colgado de la tubería

de abastecimiento PEAD 6" del Tanque. Lo descrito anteriormente obedece en gran parte a que el Tanque Buenos Aires funciona como tanque compensatorio, donde la red de abastecimiento del mismo, esta empalmada en varios puntos con las redes existentes de PVC ó AC durante su recorrido.

5.2.4.3 Tanque La Paz

El tanque es superficial en concreto, funciona en un lote adquirido para tal fin por la alcaldía municipal de San Juan, se encuentra ubicado en la parte alta del Barrio La Paz, en la cota del terreno 190 msnm. Esta localizado al norte de la calle 9A entre las coordenadas 1591730N 890411E, 1591172N 890421E, 1591770N 890419E y 1591720N 890408E.

Tiene una capacidad de almacenamiento de 250 m³, construido en el año 2007, de forma cuadrada, las dimensiones internas son lado de 10 m y una altura de 2,5 m y sus dimensiones externas son de 10,5 m x 10,5 m x 3,7 m con una altura libre de 0.5 m. El tanque fue construido en concreto de 3500 PSI impermeabilizado, reforzado en acero de f y= 60000 PSI.

La tapa posee cuatro (4) sistemas independientes de ventilación para el agua almacenada. Este tanque funciona como Tanque de compensación de la red y alimenta a los Barrios La Paz, Las Delicias, Los Nogales, Villa Carmen, Barrio El Recreo, porquerita y ciudadela San Pedro y alrededores, con una área abastecida de 32.8 ha.

Operación y Mantenimiento del Tanque

La tubería de abastecimiento del Tanque es de PEAD con un diámetro de 6", pero al llegar al Tanque se amplía su diámetro de entrada a 8", con accesorios de PEAD y Acero al Carbón SCH 40. Por otra parte la salida del Tanque se realiza mediante tubería de Acero al Carbón SCH 40 de 8" y distribuye en tubería de material PEAD de 6" de diámetro.

El sistema cuenta con válvulas de control a la entrada y salida, a las cuales se les realiza mantenimiento periódico y que se encuentran en perfecto estado, estas válvulas están alojadas dentro de Cajas de concreto reforzado, con tapa de Alfajor.

Actualmente para poder llenar completamente el Tanque La Paz, deben coordinarse dos (2) actividades:

1. Inicialmente que haya suficiente agua tratada en la PTAP PERICO para enviar al Municipio y
2. Posteriormente, se deben realizar operativos de cierre de válvulas durante el día y/o tarde que evite la circulación de agua a cualquier Barrio colgado de la tubería de abastecimiento PEAD 6" del Tanque. Lo descrito anteriormente obedece en gran parte a que el Tanque La Paz al igual que el de Buenos Aires funciona como tanque compensatorio, donde la red de abastecimiento del mismo este empalmada en varios puntos con las redes existentes de PVC ó AC durante su recorrido.

5.2.4.4 Tanque Veinte De Marzo

Este tanque es enterrado en concreto, funciona en un lote adquirido para tal fin por la alcaldía municipal de San Juan, se encuentra ubicado en el Barrio 20 de Marzo en la cota 206 msnm en la parte más alta del mencionado sector, al occidente de la carretera troncal de occidente (vía Cartagena - San Jacinto). Localizado entre las coordenadas 1592817N 889374E, 1592825N 889370E, 1592830N 889385E y 1592835N 889380E.

Tiene una capacidad de almacenamiento de 300 m³, de sección rectangular, con dimensiones externas son de 8 m x 14 m x 2,7 m. El tanque fue construido en concreto reforzado, hace cerca de 50 años (según informaciones entregadas por Aguas de la Costa S.AE.S.P).

La tapa posee un sistema independiente de ventilación para el agua almacenada. Este tanque funciona como Tanque de compensación de la red y alimenta a los Barrios Palmira, Veinte de Marzo, Media Tapa, Cerrito, Bellavista, Nuevo San Juan, y aledaños con una área abastecida de 20.5 ha.

Operación y Mantenimiento del Tanque

La entrada de agua al Tanque se realiza por intermedio de una Tubería expresa de PVC 8" de longitud de 550 m y la salida por intermedio de una conducción de AC 8" de longitud de 200 m; ambas conducciones se encuentran en regular estado operativo.

Actualmente el tanque solo cuenta con una (1) Válvula de compuerta de 8" (descarga del tanque y dispone de Tapón para el lavado).

El tanque se llena dos veces por semana, para suministrar por bombeo a los sectores aledaños y que se encuentran en cotas más elevadas; funciona como tanque compensatorio. Su mantenimiento consiste en el lavado y desinfección con una frecuencia mensual.

5.3 Fase 2 Depuración y alistamiento de la información requerida para la simulación de la red de acueducto del Municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar.

Para realizar el enlace de la información es necesario contar con la base de datos ya estructurada con los objetos que la conforman debidamente georreferenciados y depurados. El desarrollo de esta fase, conlleva al ajuste de la información adquirida por parte de las entidades competentes, como lo es la alcaldía del municipio de San Juan Nepomuceno.

Uno de los primero proceso realizado en el desarrollo de ésta fase fue la homogenización de la información de las curvas de nivel del municipio, ya que estas se encontraban divididas (sectorizadas) en el plano Topografía. Dwg, y para realizar el proceso de simulación, se requería que ésta información fuese homogénea y que dentro de la información de los atributos de ésta capa (Topografía) se determinara la altura de cada línea. Como segunda medida se realizó el proceso de re digitalización de los planos de redes de acuerdo por lo que la simulación requiere determinar el sentido que lleva la tubería a analizar, de igual forma se requería tener en los atributos del layers tuberías el dato del materia, diámetro, los cuales fueron tomados de las convenciones de los planos aportados por las entidades competentes. Para realizar el proceso de análisis con respecto a otros estudios y análisis de riesgos, está la posibilidad de realizar procesos de conversión y digitalización de archivos tanto dwg⁷ como alfanuméricos. Una vez la información esté debidamente organizada en bases de datos o en elementos que permita aplicar WaterGEMS V8I for ArcMap, se implementara dicha herramienta con el fin de aportar a la toma de decisiones en cuanto a la gestión técnica de la red de acueducto.

Bentley WaterGEMS es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riego) con una completa integración a entornos GIS, propiedad de la Empresa de Software Bentley Systems, Incorporated que produce soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos. WaterGEMS al igual que WaterCAD (producto de la misma casa de Software) permiten la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.). No obstante, WaterGEMS agrega a las capacidades de análisis hidráulico incluidas en WaterCAD, el soporte a entornos GIS y la inclusión de diferentes módulos de análisis avanzado.⁸

⁷ DWG es un formato de archivo informático de dibujo computarizado, utilizado principalmente por el programa AutoCAD, producto de la compañía AutoDesk.

⁸ Bentley Systems, Incorporated 2016. Recuperado de www.bentley.com

- **Descripción**

El software cuyo algoritmo de cálculo se basa en el método del Gradiente Hidráulico, permite el análisis hidráulico de redes de agua (aunque puede usarse para cualquier fluido newtoniano) determinando las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica; así como otros muchos parámetros operativos derivados de los elementos presentes en el sistema como: Bombas, Válvulas de Control, Tanques, etc. a partir de las características físicas del sistema y unas condiciones de demanda previamente establecidas. WaterGEMS además permite extender sus capacidades a temas de gestión a largo plazo de sistemas de abastecimiento incluyendo: análisis de vulnerabilidad, análisis de protección contra incendio, estimación de costos energéticos, calibración hidráulica, optimización, etc.

Este programa adicional a las herramientas convencionales para el análisis y modelación de redes a presión, cuenta con herramientas de productividad en los procesos de gestión de datos, construcción de modelos a partir de archivos externos, extracción de elevaciones, asignación de demandas a partir de técnicas de análisis espacial, preparación y gestión de escenarios, cálculos hidráulicos complementarios, gestión operativa y preparación de reportes y planos. Así mismo el software ofrece diversas opciones para visualización de resultados como reportes tabulares, perfiles, gráficos de variación temporal, anotaciones y codificación por color, etc. El software además de contar con una interfaz gráfica autónoma (Windows Stand Alone), puede trabajarse de manera integrada entornos CAD como los son AutoCAD y Bentley MicroStation, y con entornos GIS como lo es ArcGIS. En consecuencia, es un software que brinda la flexibilidad de poderlo trabajar en cuatro diferentes plataformas.

5.4 Fase 3 Simulación de la Red de acueducto del Municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar.

Para lograr modelar y poder identificar datos con una herramienta SIG como lo es ArcGIS90 y todos sus componentes, se debe tener en cuenta que este tipo de herramientas trabajan con base de datos espaciales, por lo tanto en primera instancia se creará una base de datos para un Sistema de Información Geográfica que ayude a realizar la integración de los datos que se desean analizar a través de la herramienta SIG, realizando la respectiva conversión de la información de formato DWG a MDB de cada uno de los planos aportados para realizar el análisis respectivo. Es importante tener en cuenta que los datos que van a conformar la base de datos, se deben encontrar debidamente georreferenciados, ya que al momento de realizar cualquier tipo de análisis espacial se debe precisar de forma puntual y concisa las zonas que se encuentran afectadas por no contar con el servicio de acueducto idóneo, así como también se identificarán puntos críticos sobre los cuales se aplicaran medidas de control según la necesidad o el requerimiento.

Por otra parte es importante decir que la base de datos debe tener una consistencia lógica en sus datos, lo que garantizaría resultados concretos. No obstante se debe tener en cuenta las asociaciones que realizan las bases de datos espaciales como lo son los tipos de representación de la información, junto con la descripción espacial de los objetos geográficos y las relaciones entre los mismos.

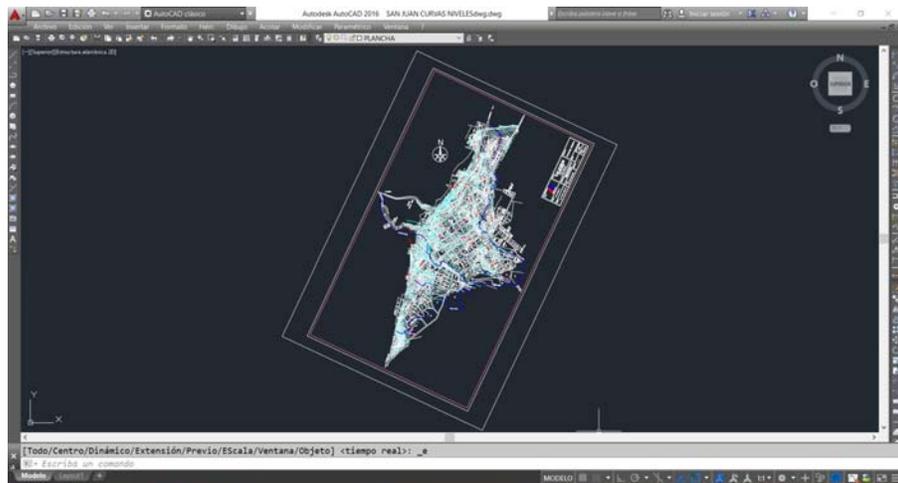


Imagen 12. Plano topografía Urbana San Juan Nepomuceno (Bol.) Formato DWG.

⁹ ArcGIS es una completa plataforma de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de todos los usuarios según las necesidades de la organización.

Esri España <<http://www.esri.es/es/productos/arcgis/>>

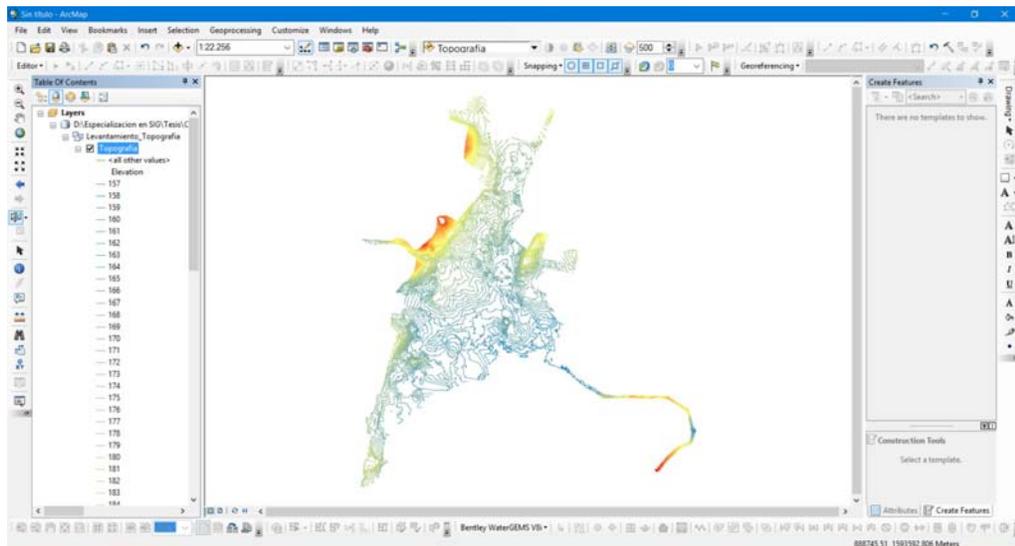


Imagen 13. Plano topografía Urbana San Juan Nepomuceno (Bol.) Formato MDB.

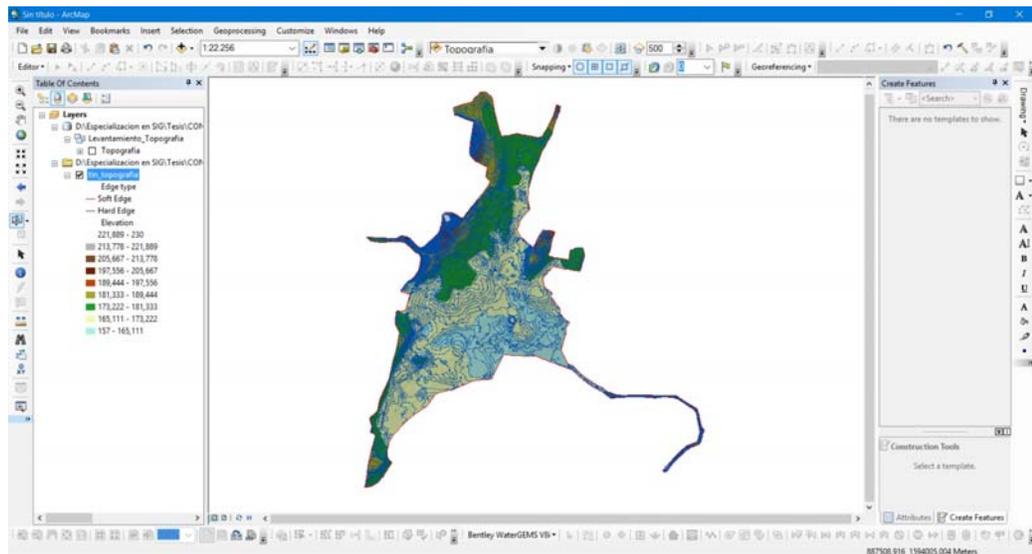


Imagen 14. Generación de TIN a partir de Curvas de Nivel para la inclusión de alturas Piezométricas

5.4.1 Calculo de análisis de dotación de agua potable por usuarios en uniones (junction)

5.4.1.1 Uso Residencial

Teniendo en cuenta la GUIA RAS -001¹⁰ el Municipio de San Juan Nepomuceno cuya población es de 33.623¹¹ habitantes se ubicaría el nivel de complejidad del sistema de Acueducto en MEDIO ALTO.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2,500	Baja
Medio	2,501 a 12,500	Baja
Medio alto	12,501 a 60,000	Media
Alto	> 60,000	Alta

(1) Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.
 (2) Incluye la capacidad económica de la población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado.

Tabla 5 Nivel de Complejidad de un Sistema de Acueducto según Población Urbana (habitantes). RAS (2003)

Debido a que en el municipio no se cuenta con datos históricos sobre consumos de agua potable por los suscriptores, se debe utilizar la dotación por suscriptor establecida en la siguiente tabla¹²:

Nivel de complejidad del sistema	Dotación por suscriptor (m ³ /sus•mes) climas templado y frío	Dotación por suscriptor (m ³ /sus•mes) clima cálido
Bajo	10.8	12.0
Medio	13.8	15.0
Medio alto	15.0	16.2
Alto	16.8	18.0

Tabla 6. Dotación por suscripción según nivel de complejidad del sistema. RAS (2010)

¹⁰ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2003). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Guía RAS -001. Bogotá Colombia

¹¹ DANE (2005). Proyección Municipios 2005-2020

¹² Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2003). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sistemas de Acueducto TÍTULO B. Página. 21 Bogotá Colombia

Al municipio le correspondería por su nivel de complejidad una dotación de 16.2 m³/suscriptor por mes, con lo cual se calcula la dotación de agua en cada una de las Uniones (Juction) de la red del Sistema de Acueducto:

- Conversión de m³ a litros (16,2 m³ /0,001 m³ =16.200 litros)

De lo anterior se deduce que la dotación en litros por suscriptor al mes son 16.200, por lo cual se procede a calcular los litros por segundos por usuario:

- Día (16.200 litros/sus *mes / 30 días= 540 litros/sus * día)
- Hora (540 litros/sus*día/24 horas=22,5 litros/sus*hora)
- Minuto (22,5/sus*hora /60 minutos =0,375 litros/sus*minuto)
- Segundo (0,375 litros/sus*minuto/60 segundos= 0,00625 litros/sus* segundo)

Con lo cual ya tenemos los litros por segundo por suscriptor en uso residencial 0,00625 para las Uniones de la red del Sistema de Acueducto.

5.4.1.2 Uso Comercial

Según la GUIA RAS-001 para aquellas zonas del municipio en donde se tenga un uso comercial de agua, se deben tener en cuenta las dotaciones mostradas en la siguiente tabla:

Tipo de instalación	Consumo de agua
Oficinas (cualquier tipo)	20 L/m2/día
Locales comerciales	6 L/m2/día
Mercados	100 L/local/día
Lavanderías de autoservicio	40 L/kilo de ropa seca
Clubes deportivos y servicios privados	150 L/asistente/día
Cines y teatros	6 L/asistente/día

Tabla 7. Consumo Mínimo en Comercio. RAS (2010)

Tiendo en cuenta que el Uso Comercial en el municipio lo comprenden locales comerciales en su mayoría de casos, en los predios en cuales se tiene este uso se utilizó la formular recomendada por la Guía Técnica RAS de 6L/m2 /día, por lo cual se multiplicó el factor de 6 litros/m2 por el área de las construcciones registradas en la cartografía predial IGAC de los predios con uso de suelo comercial, no sin antes llevar este valor de litros/m2/día a litros/m2/segundo.

Cabe señalar que los predios con locales comerciales tienen este en la fachada de las construcciones y que en la parte posterior de las misma presentan uso residencial por lo cual se trataría como un uso mixto, en el cual la demanda total sería la sumatoria de la demanda del uso comercial y la demanda del uso residencial.

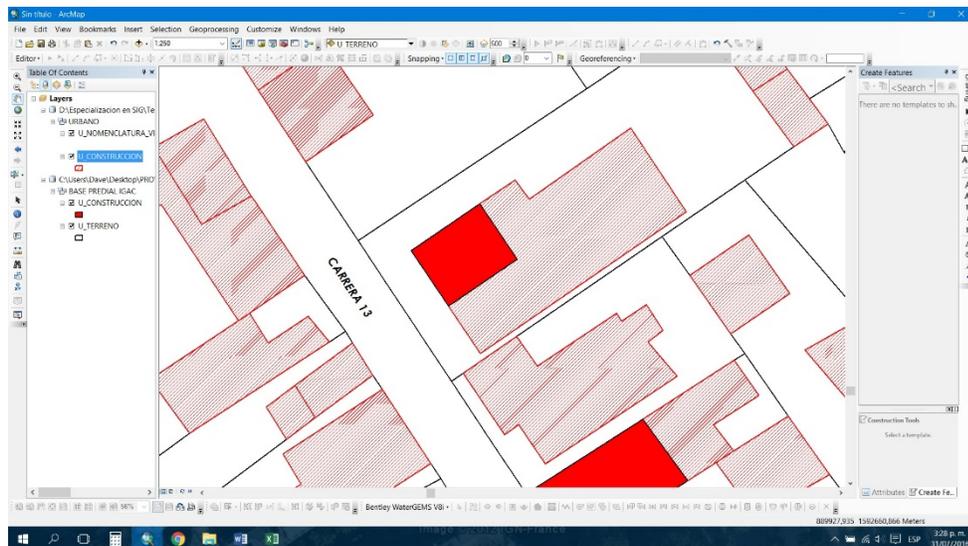


Imagen 15. Detalle predios con Uso Comercial Mixto. Cartografía IGAC (2016)

5.4.1.3 Uso Institucional

Las dotaciones máximas para el uso institucional del agua potable, que deben tenerse en cuenta se establecen en la siguiente tabla:

Tipo de instalación		Consumo de agua
Salud	Hospitales, clínicas y centros de salud	800 L/cama/día
	Orfanatos y asilos	300 L/huésped/día
Seguridad	Cuarteles	150 L/persona/día
	Cárceles	150 L/interno/día

Tabla 8. Consumo Mínimo en Institucional. RAS (2010)

El municipio de San Juan Nepomuceno cuenta con el hospital ESE HOSPITAL LOCAL SAN JUAN NEPOMUCENO el cual cuenta con 19 camas¹³, según esto se calcula la demanda del hospital según 800 L/cama/día multiplicado por 19 camas, la demanda es entonces 15.200 litros/día o 0,176 litros/segundo.

5.4.1.4 Uso Escolar

Para Uso Escolar la GUIA TECNICA RAS Título B Sistemas de Acueducto estipula que en aquellos casos en que la zona del municipio objeto del diseño incluya la localización de edificaciones destinadas al uso de actividades docentes y académicas, se deben tener en cuenta las dotaciones establecidas en la siguiente tabla:

¹³ Diseño del Observatorio de Cultura Política, Paz, Convivencia y Desarrollo de los Montes de María con base a resultados de la encuesta del Sisben 2010.

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno/jornada
Educación media y superior	25 L/alumno/jornada

Tabla 9. Consumo Mínimo en Uso Escolar. RAS (2010)

El municipio cuenta con 17 colegios y una población estudiantil de 7704¹⁴, los cuales mediante la fórmula de la GUIA TECNICA RAS se determinó las demandas de agua por número de alumnos/jornada.

5.4.1.5 Uso Para Fines Públicos

Con el fin de incluir el consumo de agua potable para fines públicos, se debe tener en cuenta lo establecido en el literal B.2.3.3, en el cual se establece que, en el caso de uso de agua potable para zonas públicas en los servicios de aseo, riego de jardines y parques públicos, fuentes públicas y demás, el consultor debe incluir una demanda de agua adicional estimada entre el 0 y el 3% de consumo medio diario doméstico, siempre y cuando no existan datos disponibles.

Teniendo en cuenta que ya se calculó la demanda del uso residencial el cual es de 0,00625 litros/sus*segundo, para fines públicos se establece según la GUIA TECNICA RAS del 3% del consumo medio diario doméstico, este es de 0,0001875 litros/sus*segundo.

¹⁴ Sistema de Matrícula Estudiantil de Educación Básica y Media. SIMAT. (2016)

5.4.2 Ingreso de datos para modelación de análisis red de acueducto

5.4.2.1 Unión (Junction)

Una vez calculado los valores de dotación de agua potable en las Uniones (Junction) según Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y plano de usos del Suelo del PBOT¹⁵, se ingresaron las demandas de agua potable en cada Unión dependiendo del número de predios en los cuales surte de agua cada Unión, así por ejemplo la suma de las demandas de los usuarios a los cuales la unión suministra el agua potable será la demanda de esa Unión.

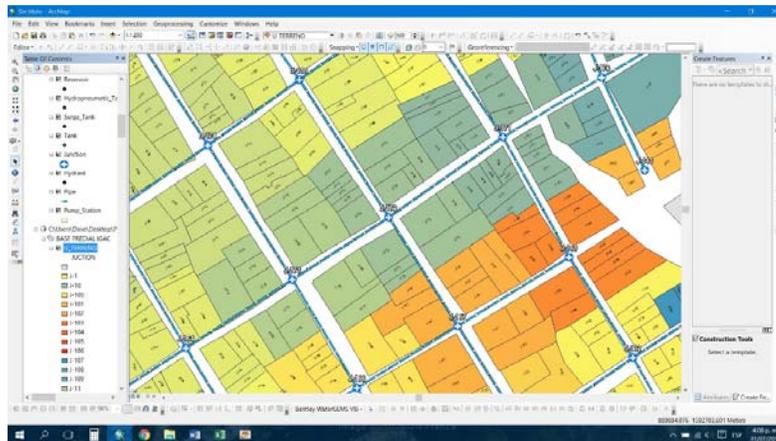


Imagen 16. División predial según suministro de Agua Potable por Unión.

Se procedió a ingresar en el aplicativo WaterGEMS V8i for ArcMap las demandas antes mencionadas en el atributo Demand Collection.

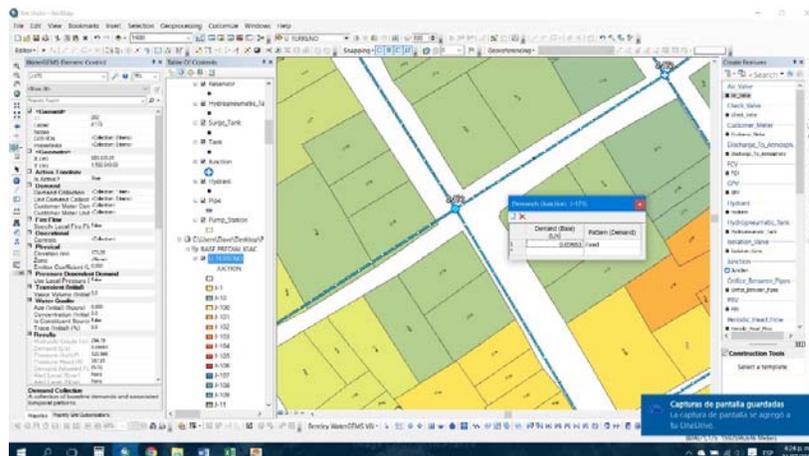


Imagen 17. Carga de información en el atributo Demand Collection de la capa Unión.

¹⁵ Concejo Municipal de San Juan Nepomuceno. PBOT Acuerdo 007 de 2009

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN

Una vez obtenidos los resultados, se continúa con el análisis de la información para identificar cambios con respecto a otros estudios realizados, así como también la verificación en cuanto al funcionamiento de la red de acueducto. Es importante aclarar que la evaluación y comparación se basa en aplicaciones de herramientas de análisis de datos, con el fin de tener una mayor precisión al momento de realizar un análisis de la información.

Una vez cargada la información necesaria en las Uniones (demanda y elevación), tuberías (diámetro y material), el aplicativo WaterGEMS arrojó el siguiente resultado:

Calculation Summary (Scenario - 1)						
Time (hours)	Balanced	Trials	Relative Flow Change	Flow Supplied (L/s)	Flow Demanded (L/s)	Flow Stored (L/s)
All Time Steps (24)	False	175	0,0008387	17,11361	29,75842	-12,64481

Tabla 10. Resultados

Como se puede apreciar en los resultados la demanda de litros por segundo en el Municipio de San Juan es de 29,75842, mientras que la demanda que supe la red de sistema de acueducto existente tiene un promedio de 17,11361 litros por Segundo, dejando inconclusa una demanda de 12,64481 litros por Segundo, por lo cual la red de Acueducto del municipio seria obsoleta.

6.1.1 Tuberías (Pipe)

Las tuberías que conforman el sistema de Acueducto del municipio presentaron los siguientes resultados:

- **Velocidad flujo de agua en tuberías (pipe)**

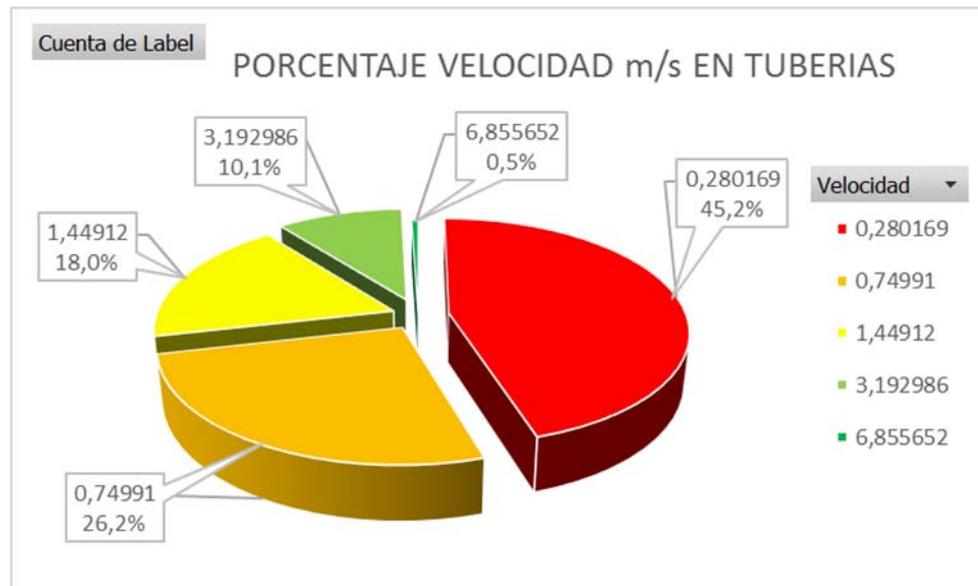


Imagen 20. Porcentaje de velocidad de agua (m/s) en Tuberías

Los resultados arrojados por el aplicativo WaterGEMS fueron que el sistema de red de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno posee en total 577 tuberías (pipe), las cuales presentan un velocidad mínima de 0,000086 m/s y una máxima de 6,855652 m/s, con una media de 0,571156 m/s, el 45% de las tuberías presentan una velocidad de agua de 0,280169 m/s, un 26,2 % presentan un flujo de velocidad de agua de 0,74991, un 18% presentan una velocidad de 1,44912 m/s, un 10,1 % presenta una velocidad de flujo de 3,192986 m/s y un 0,5 % presentan una velocidad de 6,855662 m/s.

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se debe indicar las zonas que presentan mayor inconveniente para recibir un servicio adecuado con respecto a la red de acueducto, partiendo de la velocidad que se aplica en la red del sistema de acueducto. De la misma forma se presentan los resultados en porcentaje de los predios según la velocidad con que se suministra el servicio, indicando de alguna u otra forma la afectación de los predios con respecto al servicio prestado.

6.2 Localización de velocidad agua en tuberías

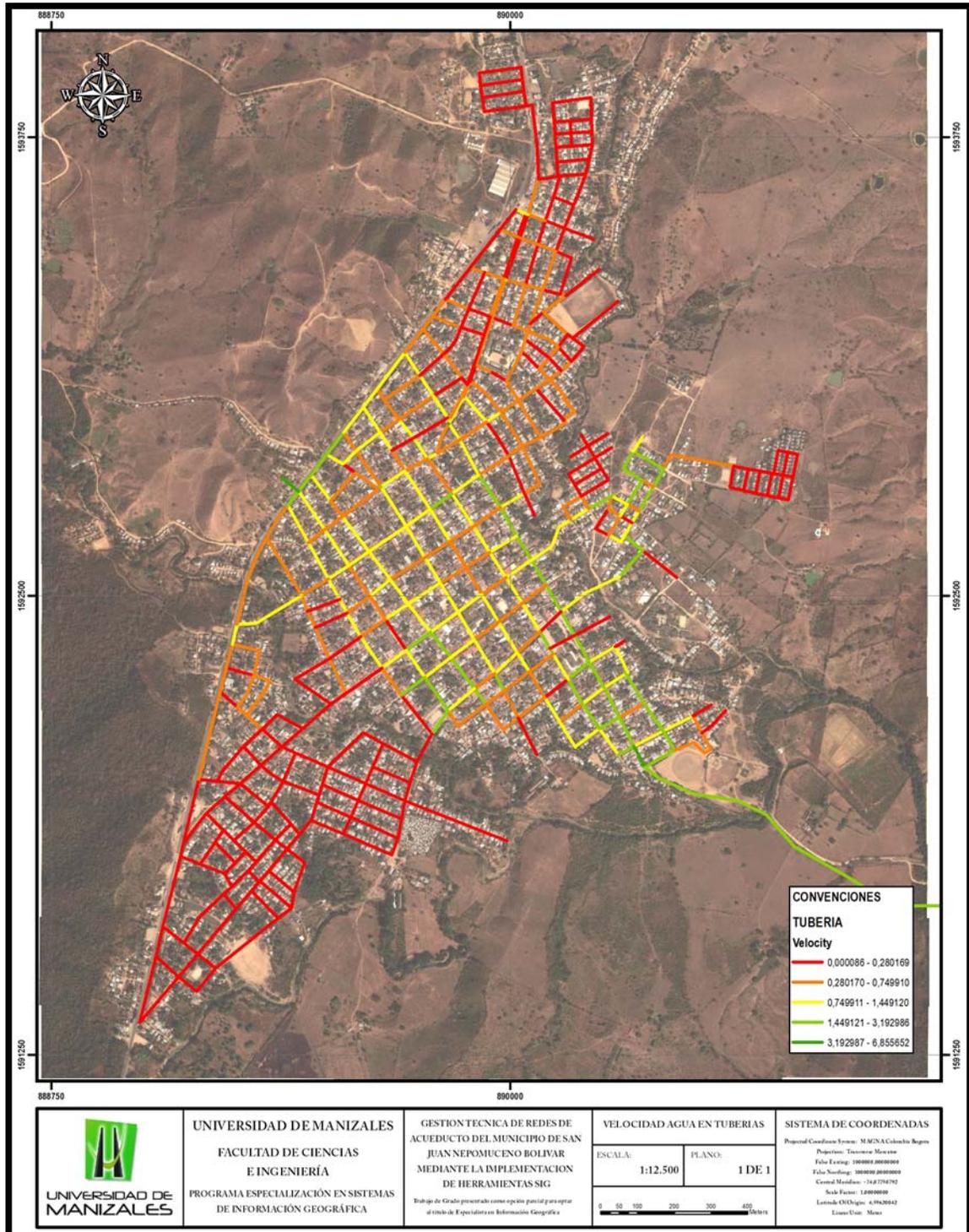


Imagen 21. Localización de velocidades (m/s) de agua en Tuberías

6.2.1 Porcentaje de predios según velocidad del agua (m/s)

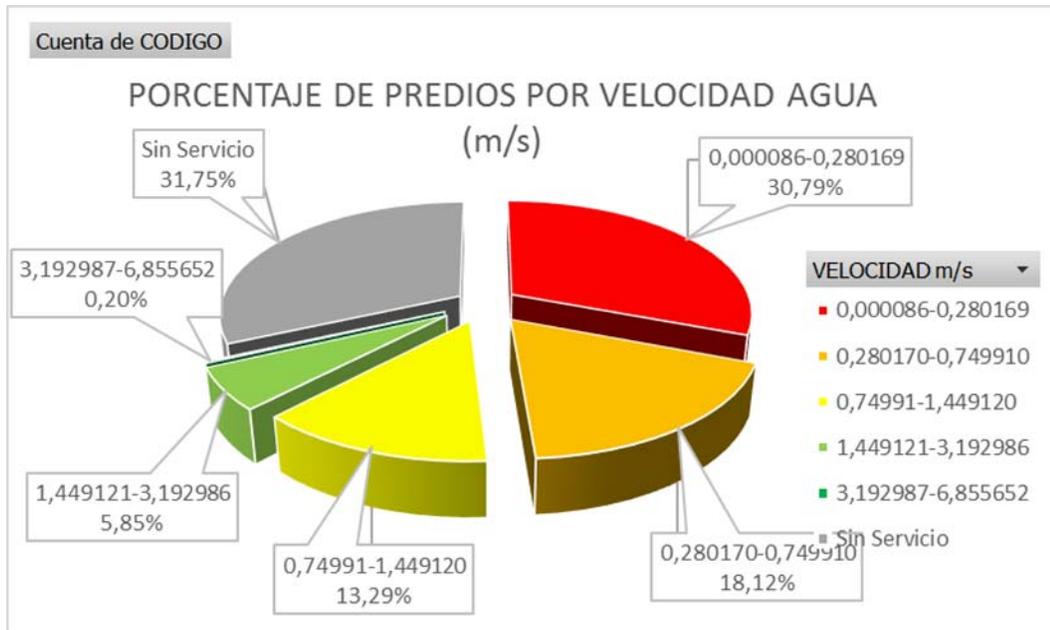


Imagen 22. Porcentaje de predios por velocidad de agua (m/s) en Tuberías

Teniendo en cuenta que cada tubería abastece un número determinado de predios, los datos anteriores fueron asignados a los predios, con lo cual se establece un porcentaje de predios por velocidad de agua en cada tramo de tubería, resultando 1709 predios sin servicio de agua potable lo que equivale al 31,75 %, presentan velocidades entre 0,000086 m/s y 0,280169 m/s el 30,79% lo que equivale al 30,79 %, presentan velocidades entre 0,280170 m/s y 0,749910 m/s 975 predios que equivalen 18,12%, presentan velocidades entre 0,74991 m/s y 1,449120 m/s 715 predios que equivale el 13,29% del total de los predios, presentan velocidades entre 1,449121 m/s y 3,192986 m/s 315 predios que equivalen al 5,85 % y se encuentran entre las velocidades de 3,192987 m/s y 6,855662 m/s 11 predios que equivalen al 0,20 % del total de los predios (5382 predios urbanos¹⁶).

¹⁶ Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016). Personal Geodatabase Catastral San Juan Nepomuceno (Bolívar) 2016. Cartagena (Bolívar)

6.3 Porcentaje de predios según velocidad del agua (m/s)

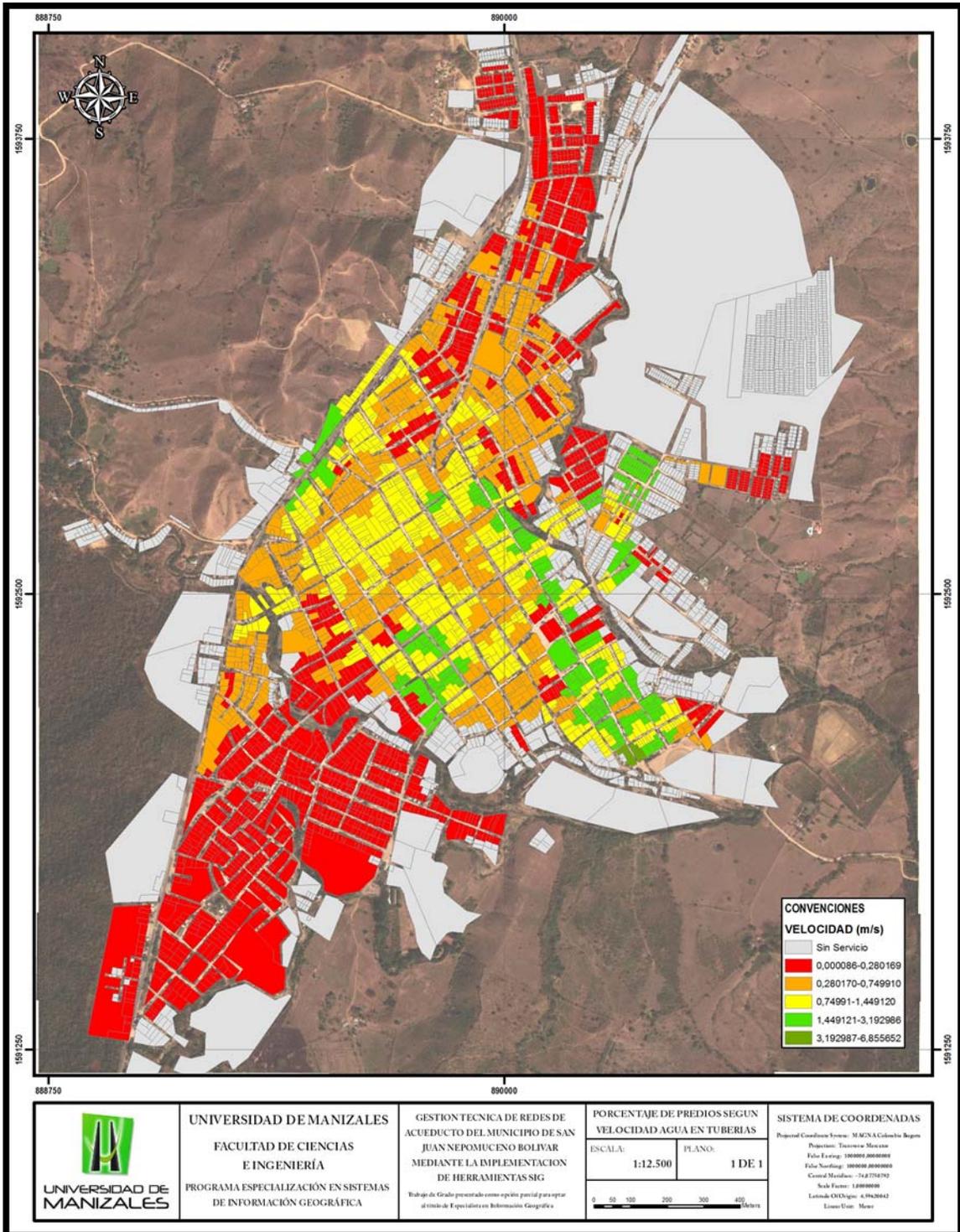


Imagen 23. Localización de velocidad de agua (m/s) en predios Urbanos

6.4 Unión (Junction)

Las Uniones que conforman el sistema de Acueducto del municipio presentaron los siguientes resultados:

6.4.1 Presión de agua en uniones (Junction)

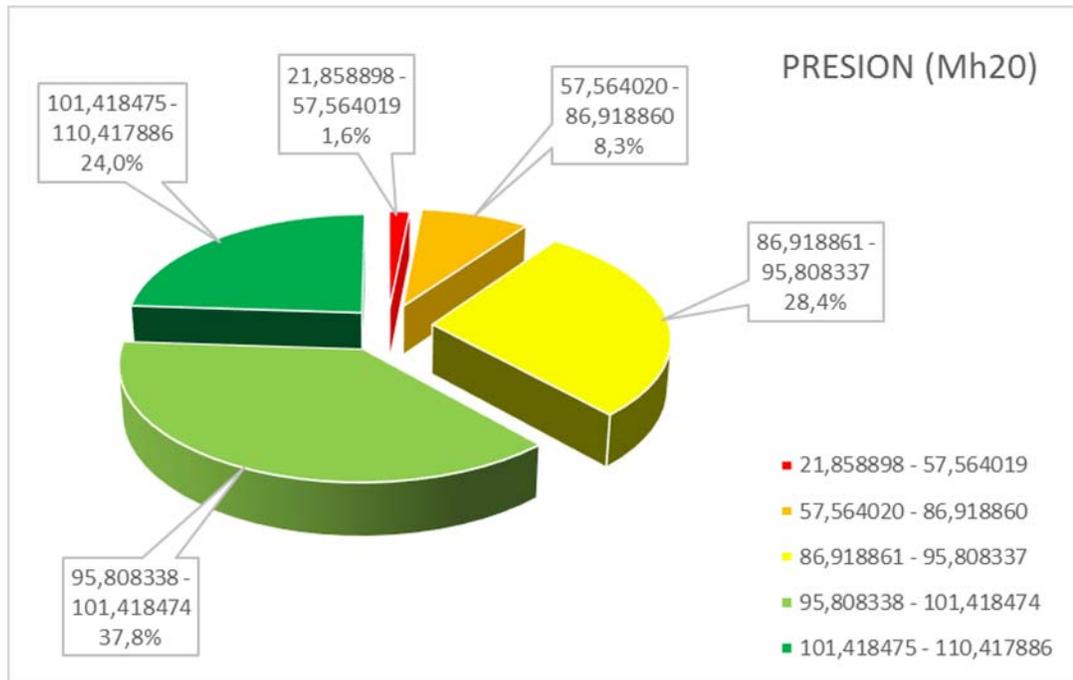


Imagen 24. Porcentaje de presión de agua (mH2O) en Tuberías

El análisis de las presiones en las Uniones (junction) refleja que existen 384 uniones existentes en la red de acueducto del Municipio, las cuales presentan una presión mínima de 21,858898 mH2O y una máxima de 110,417886 mH2O, con una media de 96,155502 mH2O, de las cuales presentan presiones entre 21,858898 mH2O y 57,564019 mH2O 6 uniones lo que equivale el 1,6 %, presentan presiones entre 57,564020 mH2O y 86,918860 mH2O 32 uniones que equivale 8,3%, presentan presiones entre 86,918861 mH2O y 95,808337 mH2O 109 uniones que equivalen al 28,4%, presentan presiones de entre 95,808338 mH2O y 101,418474 mH2O 145 uniones que equivale al 37,8 % y presentan presiones de entre 101,418475 mH2O y 110,417886 mH2O 92 uniones que equivalen 24,00 % del total de las Uniones.

6.5 Localización de presión del agua en uniones

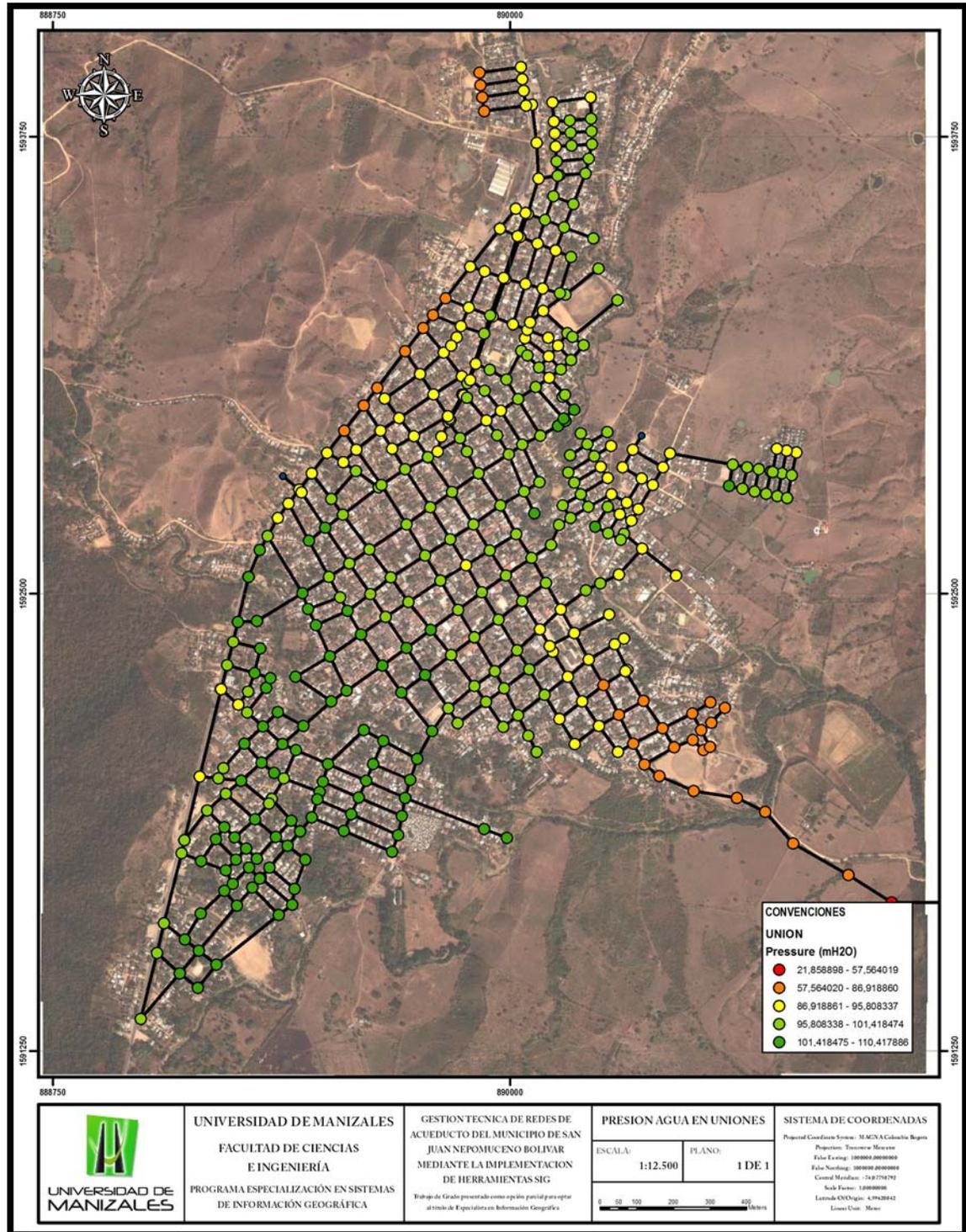


Imagen 25. Localización de presiones de agua (mH2O) en Uniones

6.5.1 Porcentaje de predios según presión agua en uniones (mh20)

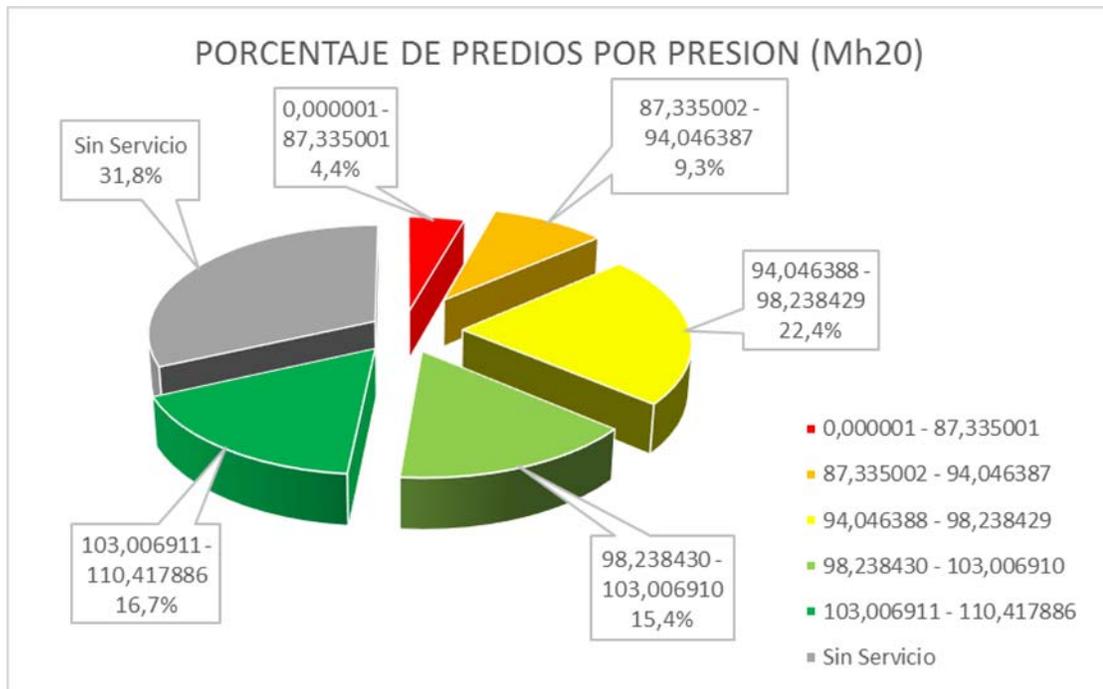


Imagen 26. Porcentaje de predios por presión de agua (mh20) en Tuberías

Según el número de predios abastecidos por cada unión, les fueron asignado los valores de presión de cada una de ellas, con lo cual se establece un porcentaje de predios por presión de agua en cada unión, de los cuales 1709 predios no cuentan con el servicio de agua potable, lo que equivale al 31,8 % del total, presentan presiones entre 0,00001 mh20 y 87,335001 mh20 239 predios lo que equivale al 4,4 % del total, presentan presiones entre 87,335002 mh20 y 94,046387 mh20 498 predios que equivalen al 9,3 %, presentan presiones entre 94,046388 mh20 y 98,238429 mh20 1207 predios que equivalen al 22,4 %, presentan presiones entre 98,238430 mh20 y 103,006910 mh20 828 predios que equivalen al 15,4% y tiene presiones entre 103,006911 mh20 y 110,417886 mh20 901 predios que equivalen al 16,7% del total de los predios (5382 predios urbanos¹⁷)

¹⁷ Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016). Personal Geodatabase Catastral San Juan Nepomuceno (Bolívar) 2016. Cartagena (Bolívar)

6.6 Porcentaje de predios según presión del agua (mh20)

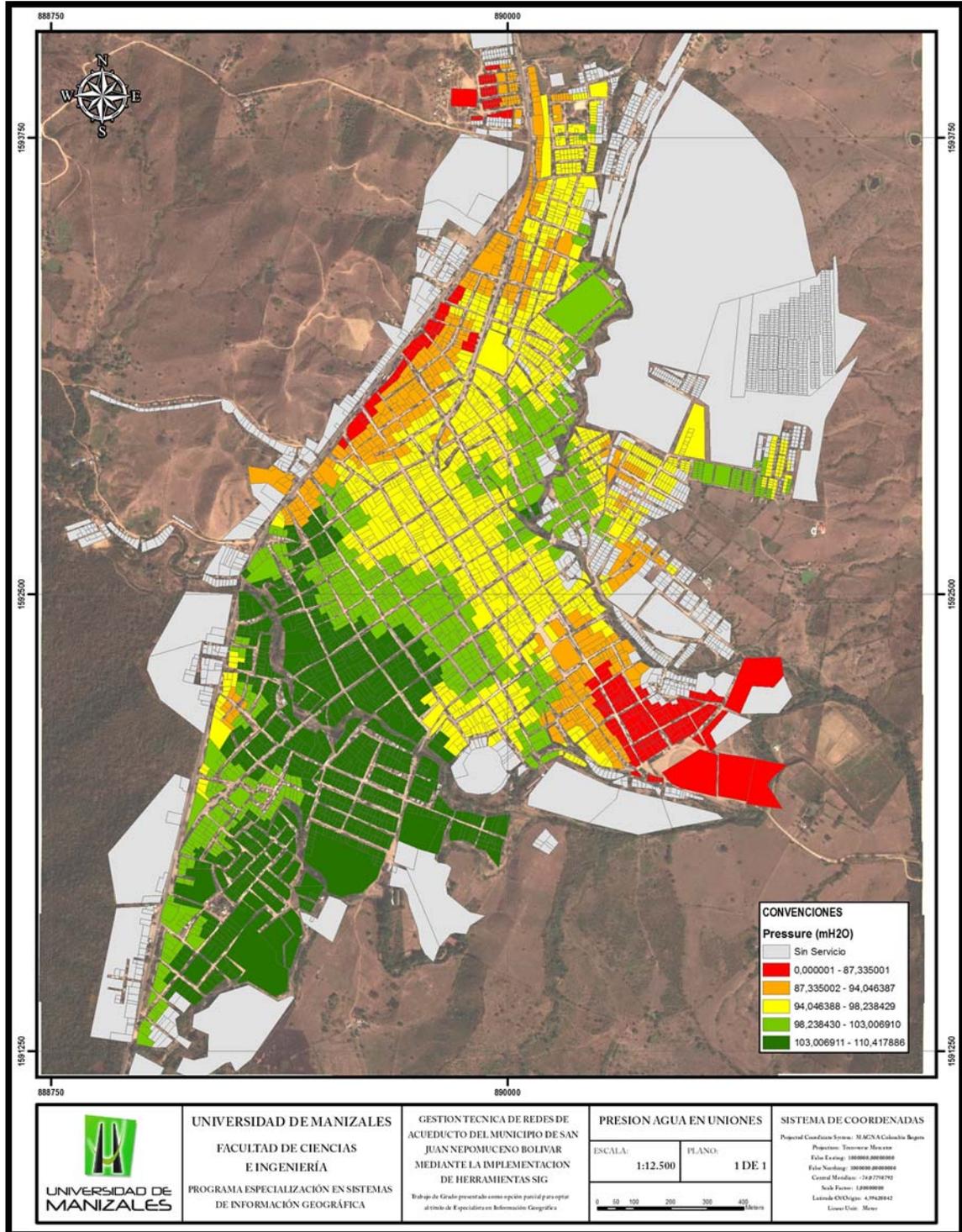


Imagen 27. Localización de presiones de agua (mH2O) en predios Urbanos

7. CONCLUSIONES

Al observar y analizar los resultados presentados mediante de la simulación de la red de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar, se pueden identificar varios aspectos muy importantes los cuales se deben tener en cuenta para soportar y/o apoyar la toma de decisiones sobre dicho sistema. En primera instancia al analizar los resultados obtenidos de con respecto a las Localización de velocidad de agua en las tubería del sistema, se pudo evidenciar que aquellas que se encuentran sur del municipio, presentan un bajo nivel del flujo de agua, lo cual podría decirse que es un evento inversamente proporcional a la localización de los tanques de abastecimiento de agua potable. No obstante es importante mencionar que las tuberías que se encuentran al norte del municipio presentan una situación similar a aquellas que se encuentran al sur, pero la diferencia radica en que las tuberías del Norte se encuentran sobre las pendientes más altas del municipio, las cuales comprenden una altura de 175 metros sobre el nivel del mar.

Por otra parte es importante mencionar que las tuberías que se encuentran ubicadas en el centro del municipio poseen una mayor velocidad de flujo de agua, lo que hace que llame la atención y se evalúe el tema. Se identificó que las éstas tuberías poseen una cercanía a la Red Centran de abastecimiento y que éstas son de material (PVC), lo que conlleva a tener una mayor consistencia y fluidez del sistema. Teniendo en cuenta lo anterior se realiza el análisis de consumo con respecto a las UNIONES (Juction), las cuales indican que el mayor consumo sobre el municipio se realiza en la zona centro de éste, debido a que la mayoría de los predios que se identificaron en ésta área, tiene según el Plan de Ordenamiento Territorial USO MIXTO (residencial y comercial).Partiendo de todo el análisis expuesto, es importante resaltar el aporte tecnológico que representa la aplicación de un sistema de información geográfico, dado a que conlleva a la organización y actualización de la información pertinente para así de esta manera poder administrar de manera adecuada todos los recursos del sistema. Los Sistemas de Información Geográfica de la mano de las aplicaciones para el análisis de redes de acueducto (WaterGEMS, Epanet, SWMM 5.0, etc.) son una gran apoyo en la gestión técnica de redes de acueducto, generando modelos de redes ágil y preciso para la toma de decisiones con conlleven a una óptima prestación de servicio de agua potable. Se requiere aprovechar más las herramientas de análisis de redes de acueducto en los SIG para facilitar la toma de decisiones en la gestión técnica de los sistemas de abastecimiento y saneamiento, lo que posibilitará un mejor aprovechamiento del recurso agua y del servicio a la población. Una vez implementado el SIG en la empresa se debe trabajar en la concientización de todos los directivos y personal de la empresa de la importancia que tiene para el mantenimiento del SIG actualizado, el papel protagónico de todos los que de una forma u otra realicen alguna modificación de la red y sus elementos y contribuyendo a gestión de vistas, elaboración de planos temáticos, procesamiento digital de imágenes, inventario, mantenimiento y gestión de redes de agua potable, entre otros.

8. RECOMENDACIONES

- Se hace necesario tener una base predial catastral junto con R1 y R2 del IGAC actualizada, que sea correspondiente con el número de usuarios que soporta la red de acueducto Municipal y así tener una modelación de usuario real, con el fin de obtener resultados más precisos respecto al funcionamiento del sistema acueducto. Teniendo en cuenta lo anterior es importante destacar que la implementación de un sistema de información que ayude a la administración y gestión de los componentes de la red de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno, centraliza toda la información relacionada al sistema de acueducto ayudando a la organización y control y monitorización de los procesos que se emplean en éste.
- Se deben realizar un plan para el diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfico para gestión técnica de la red de acueducto del municipio, además de la preparación a todas las dependencias de la empresa potenciando de esta manera su utilización, para la detección de temprana de eventos que afecten a la población sanjuanera.
- La evaluación y monitorización continua del sistema ayuda a una buena gestión y administración de los recursos del sistema de red de acueducto, por lo que se hace necesario la implementación de sistemas tecnológicos que aporten al control de éste.
- Conforme a los análisis realizados en el sistema de red de acueducto se recomienda ajustar las redes en cuanto a las tuberías de acuerdo a flujo y velocidades que se presentaron, ya que se evidenció que los lados Sur y Norte del municipio, se encuentran un nivel más bajo en cuanto a éste. Cabe resaltar que las tuberías que se encuentran en las zonas antes mencionadas obedecen a un material diferente al que las que se encuentran en el centro del municipio zona que presenta mayor flujo y velocidad de agua.
- Se tienen dos tanques de abastecimientos los cuales se utilizan de manera adecuada en el proceso de bombeo de agua potable en las zonas Centro del municipio, pero es importante mencionar que se cuenta con un tercer tanque el cual no se encuentra en funcionamiento el cual serviría de apoyo para subsanar las bajas de flujo de las zonas Norte y Sur del municipio.

BIBLIOGRAFÍA

Bosque, J. (2000). "Sistemas de Información Geográfica", Ediciones Rialp, S.A, Madrid.

McGHEE, Terence J. Abastecimiento de agua y alcantarillado. 6ed. Bogotá: Mc Graw Hill, 2001.

Empresa de Acueducto Y Alcantarillado del Atlántico, Normas para el diseño y construcción de redes locales y domiciliarias de acueducto y alcantarillado. Colombia, 1993.

Cabrera, E. y García Serra, J. (1997): "Problemática de los abastecimientos urbanos. Necesidad de su modernización", Edición Unidad Docente Mecánica de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Elaboración y entrega de estudios y diseños para la optimización del sistema de acueducto municipio de San Juan Nepomuceno-Departamento de Bolívar Bogotá D.C Mayo de 2011

Colectivo de Autores (2005): "Manual de Caracterización de un GIS con aplicación en el registro de establecimientos industriales, suelos industriales y artesanía", Edición Fundación Instituto Tecnológico de Canarias, España.

Cabrera Marceŧ, E. y García-Serra García, J. (1997). Problemática de los abastecimientos urbanos. Necesidad de su modernización. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. Valencia, 1997.

Fernández, Mario (1999). GIS para la Gestión de Pérdidas y Diagnŧsis de la Red de Distribución de Agua. Conferencia impartida en el II Máster en Gestión y Uso Eficiente del Agua. Valencia, 1999.

CORCHO ROMERO, Freddy Hernan. Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín, 1993.

J. PUEBLA, M. Gold. SIG: Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Síntesis, 1994.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, Procedimiento de diseño de tanques de compensación. Colombia.