

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL MODELAMIENTO, LOCALIZACIÓN  
Y ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE PUNTOS DE CALIDAD DEL AGUA EN UN  
SECTOR PILOTO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL AMB S.A. E.S.P.**

**MARÍA FERNANDA LÓPEZ HERNÁNDEZ  
LINA CAROLINA PRIETO GARCÍA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2014**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL MODELAMIENTO, LOCALIZACIÓN  
Y ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE PUNTOS DE CALIDAD DEL AGUA EN UN  
SECTOR PILOTO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL AMB S.A. E.S.P.**

**MARÍA FERNANDA LÓPEZ HERNÁNDEZ  
LINA CAROLINA PRIETO GARCÍA**

**Trabajo de grado modalidad investigación para optar el título de  
Ingeniero Civil**

**Director**

**LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2014**

## DEDICATORIA

*A DIOS por darme la sabiduría, paciencia, dedicación y compromiso para lograr esta meta.*

*A mis padres por todo el sacrificio y empeño en este largo camino.*

*A mi hermano que con su ánimo y cariño alegra mi vida.*

*A mi nonita Elvira, por todos estos años de dedicación, cariño y alegría.*

*A Juan Carlos por el amor, cariño y apoyo incondicional en cada paso que doy.*

*A la Cosa, por todo el tiempo invertido en mí, los consejos, abrazos, y regaños que siempre me hacen crecer como persona.*

*A todos los que de una u otra forma hicieron parte de mi desarrollo personal y profesional.*

*María Fernanda López H.*

## DEDICATORIA

*A mi abuela marina niño, por ser mi motor de vida, mamá y papá al mismo tiempo, por darme siempre el consejo sabio en el recorrido de este largo camino, a ella, mi mayor orgullo y ejemplo de verreaquera esfuerzo y dedicación.*

*A Sergio Andrés Suarez, mi novio, mi amigo, soporte incondicional y el amor de mi vida, por estar siempre en las buenas y en las malas brindándome su mejor sonrisa.*

*A mi hermana, amiga y fisioterapeuta Luísa Prieto, por creer siempre en mí, por su amor y apoyo infinito.*

**LINA CAROLINA PRIETO G.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Luis Fernando Castañeda, por todo el tiempo invertido, dedicación y sabiduría dada en cada etapa de este proyecto de grado.

A mis padres, hermano, abuelos, tíos y primos, porque cada uno puso su granito de arena en mi formación y crecimiento personal.

A Juan Carlos, por su amor, paciencia, apoyo, ayuda, comprensión y por ser esa persona incondicional en cada momento.

A mi compañera de proyecto, Lina, porque todo el trabajo, tiempo, dedicación y sacrificio, se ve reflejado en este logro que siempre anhelamos.

A la Cosa, por cada uno de los momentos vividos en todos años de amistad pura, sincera, y verdadera.

A mis amigos, Andrea, Diana, Adriana, Natalia, Vanesa, Cristian, David, Leonardo, Luisma, el Llanero, Lyly, y todos aquellos que hicieron de mi paso por la universidad un rato agradable.

Finalmente a la Universidad Industrial de Santander y la escuela de Ingeniería Civil, por todo el conocimiento inculcado en cada etapa de esta formación profesional.

**María Fernanda López H.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Todopoderoso, mi amigo fiel, por darme la esperanza y la fortaleza para continuar y luchar hasta el final, por mostrarme su amor incondicional y permitirme culminar otro ciclo en mi camino.

A mi Abuela, por su esfuerzo y dedicación, por su crianza y educación porque sin ella no sería nada de lo que hoy soy.

A mi novio, por ser mi pañuelo de lágrimas, sostén y mejor compañía, por brindarme en todo momento su apoyo incondicional, por ser testigo de noches interminables de estudio y trabajo, porque gracias a él conocí el verdadero significado de contar con una familia.

A mi hermana gemela, que siempre estuvo presente en alma y corazón, porque sin ella nada de esto habría sido posible, por ayudarme a leer y a investigar, por creer siempre en mí, y darme las palabras de aliento precisas en cada momento, porque en la distancia me enseñó a valorar el amor de una hermana.

A mi compañera de Proyecto, Mafe, porque gracias a ella este sueño se ve materializado, por caminar juntas en este proceso y trabajar en equipo para lograr este grandioso resultado.

A mi amigo el Llanero, porque siempre estuvo presente, por su preocupación y colaboración y las sonrisas que sacaba en mi con sus apuntes expresivos.

A mis amigas, Viviana, Isabel, lizeth, porque son las personas más incondicionales que conozco, porque han estado conmigo en todo momento, brindándome su amistad más sincera.

A la mamá y a la hermana de mi novio, porque estuvieron presente en esta etapa, por hacerme parte de su familia y brindarme su casa para trasnochar cada día en la lucha incansable de ver realizado este sueño.

A mi mamá, a mi papá y a mis otros hermanos, porque aunque no estuvieron presentes de cuerpo, sé que lo estuvieron de pensamiento, y oraban cada día por ver cumplido este objetivo.

**Lina Carolina Prieto G.**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	20
1. METODOLOGÍA .....	23
1.1. SELECCIÓN CASO DE ESTUDIO.....	23
1.2. INFORMACIÓN SUMINISTRADA .....	24
1.2.1. Puntos de Monitoreo .....	24
1.2.2. Caracterización de la Red.....	26
1.2.3. Puntos de Incumplimiento.....	26
1.2.4. Daños en la Red.....	27
1.2.5. Calidad del Agua.....	28
1.2.6. Software Epanet 2.0.....	28
1.3. DETERMINACIÓN DE TRIHALOMETANOS.....	32
2. RESULTADOS.....	34
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA RED .....	34
2.1.1. Puntos asociados a incumplimientos de calidad dentro de la red.....	36
2.1.1.1. Punto de Monitoreo “Altos de Arenales” .....	36
2.1.1.2. Punto de Monitoreo “La Muralla” .....	37
2.1.1.3. Punto de Monitoreo “TQ San Juan” .....	38
2.1.2. Puntos asociados a los tiempos de retención Hidráulica máximos en la red.....	39
2.1.2.1. Punto de Monitoreo “Zona Industrial” .....	39
2.1.2.2. Punto de Monitoreo “José A. Galán” .....	40
2.1.2.3. Punto de Monitoreo “Aldea Alta” .....	41
2.2. PUNTOS DE INCUMPLIMIENTO Y DAÑOS PRESENTES EN LA RED .....	42
2.3. FACTORES QUE ALTERAN LA CALIDAD DEL AGUA.....	43
2.3.1. Factores Físicos: .....	43
2.3.2. Factores Químicos:.....	44
2.3.3. Factores Microbiológicos:.....	44
2.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA PARA CADA PUNTO.....	44
2.5. MODELO DE LA REACCIÓN DEL CLORO RESIDUAL .....	46
2.6. DETERMINACIÓN DE TRIHALOMETANOS .....	50
3. RECOMENDACIONES PUNTOS DE MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD .....	52
4. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES .....	54

CITAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXO.....	60

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Sector Girón</i> .....	24
Figura 2. <i>Mapa de Ubicación Puntos de Monitoreo</i> .....	25
Figura 3 <i>Modelo en Epanet 2.0</i> .....	28
Figura 4. <i>Mapa de Tiempos de Retención Hidráulica</i> . .....	29
Figura 5. <i>Curva Patrón "Chimitá"</i> .....	30
Figura 6. <i>Curva Patrón "San Juan Alto"</i> .....	30
Figura 7. <i>Curva Patrón "Tanque Girón"</i> .....	30
Figura 8. <i>Metodología Empleada para el Análisis de Calidad del Agua</i> .....	33

## TABLA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Nombres de los Puntos de Monitoreo</i> .....	25
Tabla 2. <i>Parámetros de Incumplimiento – Cantidad Anual</i> .....	26
<b>Tabla 3. <i>Daños en el Municipio de Girón (2013)</i>.....</b>	<b>27</b>
Tabla 4. <i>Materiales Presentes en la Red</i> .....	34
Tabla 5. <i>Diámetros Presentes en la Red</i> .....	35
Tabla 6. <i>Elementos Presentes en la Red</i> .....	36
Tabla 7. <i>Tiempos de Retención Hidráulica Máximos Para Cada Punto de Monitoreo de la Red del Municipio de Girón</i> .....	44
Tabla 8. <i>Valores de Cloro Residual</i> .....	47
Tabla 9. <i>Cálculo de Trihalometanos</i> .....	51

## TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. <i>Distribución Porcentual de los Materiales en la Red.</i> .....	34
Gráfica 2. <i>Distribución Porcentual de los Diámetros en la Red.</i> .....	35
Gráfica 3. <i>Puntos de Incumplimiento.</i> .....	42
Gráfica 4. <i>Tiempo de Retención Hidráulica para los puntos indicados.</i> .....	45
Gráfica 5. <i>Tiempo de Retención Hidráulica Para los Punto Indicados.</i> .....	45
Gráfica 6. <i>Tiempo de Retención Hidráulica Para los Puntos Indicados.</i> .....	45
Gráfica 7. <i>Distribución de los Tiempos de Retención Hidráulica en los 15 Puntos de Monitoreo</i> .....	46
Gráfica 8. <i>Tendencia Teórica Decaimiento de Cloro</i> .....	48
Gráfica 9. <i>Tendencia Teórica Decaimiento de Cloro</i> .....	48
Gráfica 10. <i>Tendencia Teórica Decaimiento de Cloro</i> .....	48
Gráfica 11. <i>Tendencia Decaimiento de Cloro Mediante Modelación en los Puntos Indicados</i> .....	49
Gráfica 12. <i>Tendencia Decaimiento de Cloro Mediante Modelación en los Puntos Indicados</i> .....	49
Gráfica 13. <i>Tendencia Decaimiento de Cloro Mediante Modelación en los Puntos Indicados</i> .....	50

## TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. <i>Punto de Monitoreo “Altos de Arenales”</i> .....	37
Fotografía 2. <i>Referencia Punto “La Muralla”</i> .....	38
Fotografía 3. <i>Referencia Punto “TQ San Juan”</i> .....	39
Fotografía 4. <i>Referencia Punto “Zona Industrial”</i> .....	40
Fotografía 5. <i>Referencia Punto “José A. Galán”</i> .....	41
Fotografía 6. <i>Referencia Punto “Aldea Alta”</i> .....	41

## TABLA DE ANEXOS

Anexo A. Mapa de Daños Sector Girón Año 2013.....	60
Anexo B. Histograma de Frecuencia Para Todos Los Puntos .....	60
Anexo C. Sector Punto de Monitoreo “Altos de Arenales” .....	64
Anexo D. Punto de Monitoreo Altos de Arenales en Epanet.....	64
Anexo E. Registro fotográfico tapa Punto Arenales .....	65
Anexo F. Punto de muestreo “Altos de Arenales” .....	65
Anexo G. Sector Punto de Monitoreo “La Muralla” .....	66
Anexo H. Punto de Monitoreo La Muralla en Epanet.....	66
Anexo I. Distribución Punto “La Muralla”.....	67
Anexo J. Caja Punto de Muestreo “La Muralla” .....	67
Anexo K. Sector Punto de Monitoreo “TQ San Juan” .....	68
Anexo L. Punto de Monitoreo TQ San Juan en Epanet .....	68
Anexo M. Punto “TQ San Juan” Punto Modificado .....	69
Anexo N. Sector Punto de Monitoreo “Zona Industrial”.....	70
Anexo O. Punto de Monitoreo Zona Industrial en Epanet.....	70
Anexo P. Sector Punto de Monitoreo “José A. Galán” .....	71
Anexo Q. Punto de Monitoreo José A. Galán en Epanet.....	71
Anexo R. Distribución Punto “José A. Galán” .....	72
Anexo S. Caja de Inspección Punto” José A. Galán”.....	72
Anexo T. Sector Punto de Monitoreo “Aldea Alta” .....	73
Anexo U. Punto de Monitoreo Aldea Alta en Epanet .....	73
Anexo V. Tiempo de Retención Hidráulica Para Cada Nodo de la Red en un Periodo de Simulación de 24 horas. ....	74

## RESUMEN

TITULO: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL MODELAMIENTO, LOCALIZACIÓN Y ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE PUNTOS DE CALIDAD DEL AGUA EN UN SECTOR PILOTO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL amb S.A. E.S.P.<sup>1</sup>

**AUTORES:** MARÍA FERNANDA LÓPEZ HERNÁNDEZ  
LINA CAROLINA PRIETO GARCÍA<sup>2</sup>

**Palabras clave:** Puntos de monitoreo, calidad del agua, tiempo de retención hidráulica, cloro residual, trihalometanos.

Con el propósito de plantear una metodología para la correcta localización de puntos de muestreo de calidad del agua en el municipio de Girón, además de la ubicación de algunos puntos que deberían ser integrados en un futuro próximo en un sistema de tecnología por parte del amb S.A. E.S.P., se analizaron las características potables de esta, utilizando parámetros y estándares de calidad estipulados por la legislación colombiana. Para ello, se estudió el deterioro que sufre el agua mientras permanece en la red de distribución identificando los posibles riesgos en el sistema, como el crecimiento bacteriológico debido a bajas concentraciones de cloro residual, la aparición de subproductos de desinfección como los Trihalometanos, la formación de biopelículas en las paredes de las tuberías; y a su vez, la adaptación de medidas de control para mitigarlos. Mediante un modelo que fue implementado para todos los nodos de la red, se simuló el comportamiento hidráulico, la evolución de la calidad del agua ante sustancias reactivas no conservativas como el cloro (desinfectante) y la relación con los tiempos de retención hidráulica en el software Epanet 2.0.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado.

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis Fernando Castañeda Galvis.

## ABSTRACT

TITULO: PROPOSED METHODOLOGY FOR MODELING LOCATION AND PARAMETRIC ANALYSIS OF WATER QUALITY IN A PILOT AREA OF INFLUENCE AREA OF THE amb S.A. E.S.P.<sup>1</sup>

**AUTORES:** MARÍA FERNANDA LÓPEZ HERNÁNDEZ  
LINA CAROLINA PRIETO GARCÍA<sup>2</sup>

**Keywords:** Monitoring points, water quality, hydraulic retention time, residual chlorine, trihalomethanes.

In order to propose a methodology for correct location of sampling points for water quality in the town of Giron, plus the location of some points that should be integrated in near future in a system of technology by the amb S.A. E.S.P., entity in charge of providing the water service to supply the metropolitan area of Bucaramanga, the potable features were analyzed using parameters and quality standards set by Colombian legislation. In this way, the water deterioration was studied while in distribution network by identifying possible risks in the system, such as bacterial growth due to low concentrations of residual chlorine, the appearance of disinfection byproducts such as trihalomethanes, formation biofilms on the walls of the pipes as well as the adaptation of control measures to mitigate them. Using a model that was implemented for all network nodes, the hydraulic behavior and the evolution of water quality into reactive substances conservative as chlorine (bleach) were simulated and the relationship with hydraulic retention times in the software Epanet 2.0.

---

<sup>1</sup> Work Degree.

<sup>2</sup> School of Physics and Mechanical Engineering, School of Civil Engineering.<sup>0</sup> Director: Luis Fernando Castañeda Galvis.

## INTRODUCCIÓN

A través de la historia, se ha visto como a partir de las necesidades que experimenta una población se proporciona la forma de mejorar su calidad de vida. Contribuyendo a ello, el uso del agua es un tema que preocupa a muchas naciones, razón por la cual se han generado enfoques de gestión preventivos que abarcan desde los recursos hídricos hasta el consumidor.

Para el desarrollo de lo que hoy en día conocemos como sistema de acueducto, se han ido mejorando las políticas administrativas, ambientales, de seguridad y calidad para la potabilización del recurso.

En algunos casos, se evidencian falencias en estos sistemas, no dentro de la planta de tratamiento, sino dentro de la red de distribución, ya que existen factores de riesgo como los agentes infecciosos, los productos químicos, tóxicos y la contaminación radiológica, que atentan contra la calidad del agua; el cloro además de oxidar y desactivar algunos microorganismos patógenos también oxida la materia orgánica que se pueda presentar en las tuberías de suministro de agua potable, dicha materia orgánica puede tener origen en las biopelículas microbiológicas que se forman en la red de distribución. [1]

Simard et al., (2011) [2] expresa que las condiciones más críticas para la calidad del agua se encuentran generalmente en los extremos de la red de distribución, debido a sus elevados tiempos de residencia en ella, así como sus bajas concentraciones de cloro residual, pero no siempre la menor concentración se presenta en las zonas más alejadas a la planta de tratamiento, puesto que el decaimiento es proporcional al tiempo de retención del agua dentro de la red; esto significa que puede presentarse bajas concentraciones de cloro en zonas donde la

velocidad tiende a disminuir, a esto se suma la complicación en controlar la concentración del desinfectante cuando la red es abastecida por muchas fuentes [3]

Actualmente se emplea una gran variedad de desinfectantes químicos para el agua como el cloro ( $Cl_2$ ), ozono ( $O_3$ ), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ) entre otros, también existen otras técnicas de desinfección, entre las más conocidas se encuentran los métodos físicos como los rayos ultravioleta y el calor, y los radiactivos en el cual se bombardean rayos gamma al agua. [4]

El cloro ha sido el producto más usado por décadas como mecanismo de desinfección en las plantas de tratamiento de agua potable, sin embargo, por ser un gran oxidante reacciona o se combina con otras sustancias presentes en el agua o adheridas a las paredes de las tuberías formando subproductos de la cloración, como los trihalometanos (THMs) y ácidos haloacéticos (HAAs) que pueden originar enfermedades de tipo cancerígeno, mutagénicos, teratogénicos y tóxicos.

Para garantizar los índices de calidad, evaluar los peligros y caracterizar los riesgos, se han determinado medidas de control como los puntos de monitoreo, los cuales son sitios representativos donde se realiza la recolección de la muestra de agua para consumo humano en la red de distribución, definidos entre la autoridad sanitaria y los prestadores del servicio de acueducto; allí se evalúan una serie de parámetros hidráulicos (presión, tiempos de retención hidráulica), físico-químicos (cloro residual, pH, turbiedad, color, carbono orgánico total (COT)) y microbiológicos (trihalometanos (THMs)), entre otros.

La legislación vigente en Colombia en el sector de agua potable (decreto 1575/2007 [5] y resolución 2115/2007 [6]) establece que *“la porción de cloro permitida en el agua después de un periodo de contacto definido (cloro residual*

*libre) que da garantía para el consumo humano en cualquier punto de la red deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 (mg/L) y el valor máximo aceptable de trihalometanos totales THMs deberá ser de 0,2 (mg/L)”; además establece las características y frecuencias de muestreo. En la resolución 0811 de 2008 [7] se definen los lineamientos para la localización de puntos de monitoreo, asimismo el número mínimo requerido de estos de acuerdo con la población abastecida*

## **1. METODOLOGÍA**

Para la localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua en la red de distribución de agua potable del municipio de Girón, se consideraron aspectos físicos (subsistemas de la red, daños en la red de distribución, edad y material de la tubería), hidráulicos (edad del agua, demandas de agua) y de calidad de agua (variación histórica de calidad de agua, quejas de calidad de agua y daños en la red).

### **1.1. SELECCIÓN CASO DE ESTUDIO**

La red de distribución del amb S.A. E.S.P. en el área metropolitana de Bucaramanga está alimentada por los sistemas del Río Suratá (con planta de tratamiento en Bosconia), el Río Tona (con las PTAP de La Flora y Morrórico) y finalmente el Río Frío (con la planta de Floridablanca). [8] El sector específico objeto de estudio es la red del municipio de Girón, como se ilustra en la Figura 1.

Se eligió este sector por ser el más alejado dentro del sistema de abastecimiento del área de influencia del amb S.A. E.S.P. tomando como referencia las plantas de tratamiento, las cuales se ubican: 1 al norte, 2 al nor-oriente de la ciudad y la planta de Floridablanca al sur-oriente del área metropolitana de Bucaramanga, además por presentar el mayor número de incumplimientos en las mediciones de calidad del sistema

La toma de agua cruda del río Tona se canaliza primero hacia la planta de tratamiento La Flora y luego es distribuida hacia los tanques de almacenamiento Puerta del Sol y La Iglesia, de igual forma la planta de tratamiento de Floridablanca capta el agua del río Frío, éstas son procesadas y posteriormente distribuidas a los tanques de almacenamiento que abastecen al municipio de Girón, como lo son: Tanque San Juan Girón y Tanque Girón Mayor.

El Tanque San Juan Girón tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 8870 m<sup>3</sup> y el Tanque Girón Mayor 1770 m<sup>3</sup>. [9]

Es importante destacar que el municipio cuenta con una extensión total de 475.14 Km<sup>2</sup> y tiene una población aproximada de 102.000 habitantes. La red de distribución sirve al 95% de la población, lo que significa unas 96900 personas. [10]



Figura 1. Sector Girón.

Fuente: Google Earth (2014)

## 1.2. INFORMACIÓN SUMINISTRADA

**1.2.1. Puntos de Monitoreo** En Girón se encuentran ubicados un total de 15 puntos de monitoreo, los cuales están publicados en la Tabla 1 y referenciados en la Figura 2.

Tabla 1. Nombres de los Puntos de Monitoreo

Puntos de Monitoreo
Altos de Arenales
El Llanito
El Paraíso, Corviandi
La Muralla
Poblado
San Antonio
Santa Cruz
TQ San Juan
Zona Industrial
TQ Girón Mayor
Villas Don Juan
El Tejar
José A. Galán
Aldea Alta

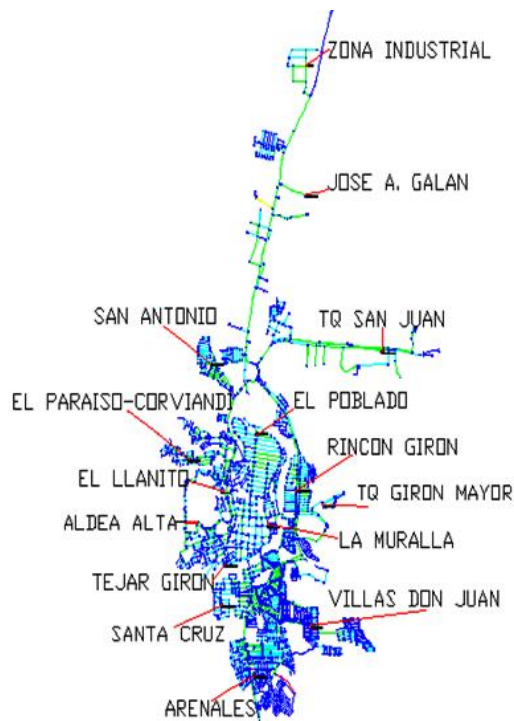


Figura 2. Mapa de Ubicación Puntos de Monitoreo

**1.2.2. Caracterización de la Red.** En la base de datos del acueducto, se encuentra un plano hidráulico, en el que se muestra el catastro de la red del municipio. Con esta información se realiza una caracterización de la misma, con el objeto de conocer que puntos de monitoreo tienen cerca accesorios, válvulas, colas, entre otros aspectos y detectar los que presentan mayores dispositivos hidráulicos.

Con el fin de complementar la caracterización hecha, se realizan inspecciones de campo en cada uno de los puntos de monitoreo, los cuales fueron ubicados y analizados según las condiciones actuales. (Ver Anexos)

**1.2.3. Puntos de Incumplimiento.** El amb S.A. E.S.P. realiza el análisis de la calidad del agua tomada en cada uno de los puntos de monitoreo, y extrae un dato global de los incumplimientos generados para cada uno de ellos durante el año. (Ver Tabla 2)

**Tabla 2. Parámetros de Incumplimiento – Cantidad Anual**

<b>Id Punto Monitoreo</b>	<b>Parámetro incumplimiento</b>	<b># Incump/punto</b>
Altos Arenales	(T,C,pH,Mesof)	45
El Llanito	(T,C,Mesof)	6
Paraíso,Corviandi	(T,C,Mesof)	7
La Muralla	(T,C,mesof)	15
Poblado	(T,C,mesof)	9
San Antonio	(T,C,Mesof)	10
Santa Cruz	(T,C,Mesof)	7
TQ San Juan	(T,C,pH,Cl2,Mesof)	28
Zona Industrial	(T,C)	4
TQ Girón Mayor	(Mesof)	1
Villas Don Juan	(Mesof)	1
El Tejar	(Mesof)	2
José A Galán	(T,C)	2
Aldea Alta	(Mesof)	2

**1.2.4. Daños en la Red.** Empleando el Software ArcMap 10.1 se obtiene la Tabla 3 con la información manejada por el amb S.A. E.S.P. referente a los puntos donde se presentaron daños en el año 2013 (Ver Anexo A), con el fin de realizar un bosquejo de la ubicación de estos, y poder compararlos con la Tabla 2 de incumplimientos con el objeto de hallar una relación entre ellos.

**Tabla 3. Daños en el Municipio de Girón (2013)**

<b>Nombre del Barrio</b>	<b>Cantidad de Daños</b>
Aldea Baja	2
Altos de Arenales	2
Altos de la Campiña	1
Altos del Llanito	2
Angulito	1
Asodmevipo	2
Bado Hondo	2
Bellavista	7
Brisas del Río	1
Casa Linda	1
Centro	9
Corviandi 1	1
Corviandi 3	1
El Carrizal	1
El Gallineral	1
El Palenque	3
El Poblado	7
El Tejar	1
Eloy Valenzuela	1
Giraluz	2
Industrial Chimitá	3
Industrial de Girón	1
Jardín de Arenales	7
La Aldea	1
La Campiña	6
La Esmeralda	4
La Hacienda	1
La Isla	1
Meseta 2	2
Meseta 3	1
Portal Campestre	3
Rincón de Girón	17
Río de Oro	5
Río de Oro I	3
Río Prado	3
Santa Cruz	1
SENA	1
Vereda Carrizal	1
Vereda Laguneta	2
Villa Campestre	2
Villa de los Caballeros	3
Villa Linda	1
Villas de Don Juan	1
Villas de San Juan	1
Zona Escarpa	3
Zona Industrial Chimitá	12

**1.2.5. Calidad del Agua.** Con el propósito de hacer un análisis de los incumplimientos de calidad obtenidos en el año anterior (2013), se cuenta con la información de todos los muestreos realizados por el laboratorio del acueducto metropolitano referentes al cloro residual – DPD Colorimetría. (Ver Anexo B)

**1.2.6. Software Epanet 2.0.** Para obtener una representación óptima, que sea confiable y se asemeje a la realidad, el amb S.A. E.S.P. suministra un modelo en el software Epanet 2.0 el cual cuenta con la ubicación de los puntos de monitoreo, las conexiones, tuberías, los cuales son abastecidos por los tanques (simulados como embalses) y que se encuentran en el municipio. (Figura 3).

Este modelamiento permite conocer el tiempo que tarda el agua en circular por las tuberías y en llegar a cada uno de los puntos de consumo, con el fin de monitorearlos y conocer la cantidad de cloro residual que conserva el agua después de su recorrido por la red de distribución hasta los usuarios finales.



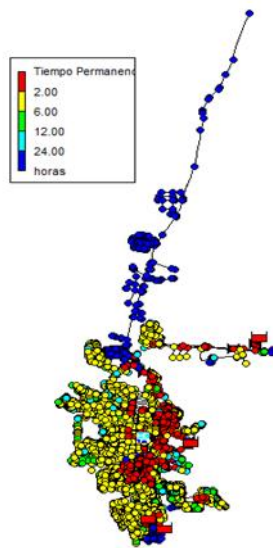
**Figura 3 Modelo en Epanet 2.0**

**Fuente:** amb S.A. E.S.P.,Modificado (2014)

**1.2.6.1. Modelo Hidráulico.** La realización de este modelo consiste básicamente en determinar los tiempos de retención hidráulica que presenta la red del municipio de Girón.

Inicialmente, se introdujeron unos datos de calidad en cada uno de los tanques del sistema; la información del cloro que se incorpora a las plantas fue suministrada.

Dichos tiempos de retención hidráulica hacen referencia al volumen de agua que debe desplazarse desde la entrada de la red de distribución a cada uno de los puntos lejanos de esta, lo que quiere decir, que dicho volumen de agua debe recorrer cierta distancia y gastar un determinado tiempo a medida que transcurre el día (Ver Figura 4).



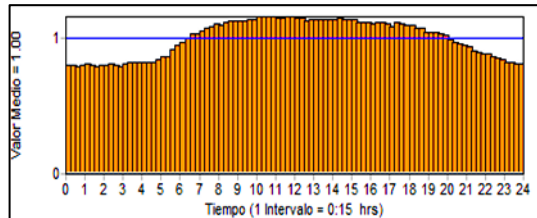
**Figura 4. Mapa de Tiempos de Retención Hidráulica.**

**Fuente:** amb S.A. E.S.P. Modificado (2014)

Se determinó el tiempo de retención hidráulica en los 15 puntos de monitoreo de la red para cada hora del día. Posteriormente se estimó el mayor de estos en cada punto y se tomó dicho valor como el representativo. Es importante resaltar que el tiempo de residencia del agua en la red de distribución aumenta a medida que

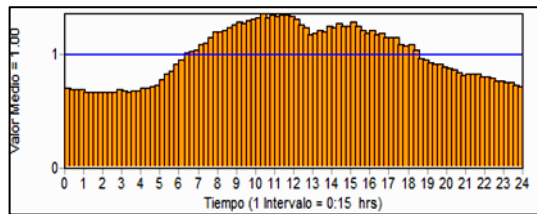
transcurre el día, ya que un volumen de agua que no ha sido demandado puede durar más tiempo en el sistema. El tiempo de retención hidráulica en horas para cada nodo de la red se muestra en la sección de resultados.

Por otro lado, para la obtención de los tiempos de retención hidráulica se deben tener en cuenta las curvas patrones incorporadas en el modelo de Epanet 2.0. (Ver Figuras 5, 6 y 7)



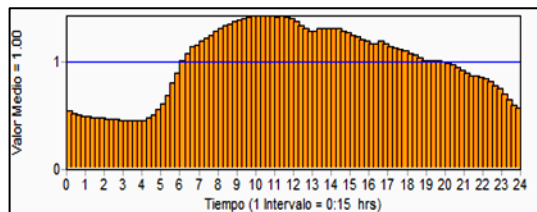
**Figura 5. Curva Patrón "Chimitá"**

Fuente: Propia (2014)



**Figura 6. Curva Patrón "San Juan Alto"**

Fuente: Propia (2014)



**Figura 7. Curva Patrón "Tanque Girón"**

Fuente: Propia (2014)

### 1.2.6.2. Modelo de Calidad

La concentración inicial de cloro en la red de Girón se estimó a partir del valor inyectado en las plantas de tratamiento La Flora, Bosconia y Floridablanca, las cuales, a través de los tanques de almacenamiento distribuyen el agua hasta la red de Girón, que según información suministrada por el amb S.A. E.S.P. para el año 2013, la dosis promedio de cloro aplicada para la planta Bosconia fue de 2.27 mg/L y para la Planta La Flora de 1,51 mg/L, concentración que depende a factores asociados como la turbiedad, olor, color entre otros.[11]

La finalidad de estos datos es obtener el cloro residual, el cual es la sustancia no conservativa más referenciada en los modelos de calidad, aceptándose que la reacción de decaimiento del cloro es de primer orden:

$$(Cl_2) = (Cl_2)_0 e^{-kt} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$(Cl_2)_0$  : Concentración inicial de cloro.

$k$  : Coeficiente de decaimiento.

$t$  : Tiempo de residencia en la red.

Actualmente se considera que el coeficiente de decaimiento  $k$  es una función de la composición química y bacteriológica del agua  $k_{agua}$  y de las interacciones del cloro con las paredes de las tuberías,  $k_{red}$

$$k = k_{agua} + k_{red} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Tansley et al., (1993) [12] consideran que la constante de decaimiento de la red es una función exponencial del diámetro de la tubería:

$$k_{red} = ae^{b*D} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dependiendo de los valores de a y b del tipo de agua, de la temperatura y el pH, los valores medios estimados por regresión lineal son:

$$k_{red} = 0.120e^{-0.0031D} \quad (\text{Ecuación 4})$$

### 1.3. DETERMINACIÓN DE TRIHALOMETANOS

Para determinar la cantidad de trihalometanos, subproductos de la desinfección, se tomaron los 15 puntos de monitoreo de la red de Girón, y se empleó el método señalado por Chang et al., 1996 [13] el cual señala que “la formación de Trihalometanos es función de la dosis de cloro (D), el tiempo de contacto (t) y la concentración de carbono orgánico total (TOC)”. La Ecuación que resume el método se presenta a continuación:

$$TTHM \left( \frac{\mu g}{L} \right) = 12.7 * TOC^{0.291} * t^{0.271} * D^{-0.072}$$

**(Ecuación 5)**

En la Figura 8 se resume la metodología planteada, la cual inicia con el suministro y recolección de información y culmina en la aplicación del modelo en busca de puntos vulnerables.

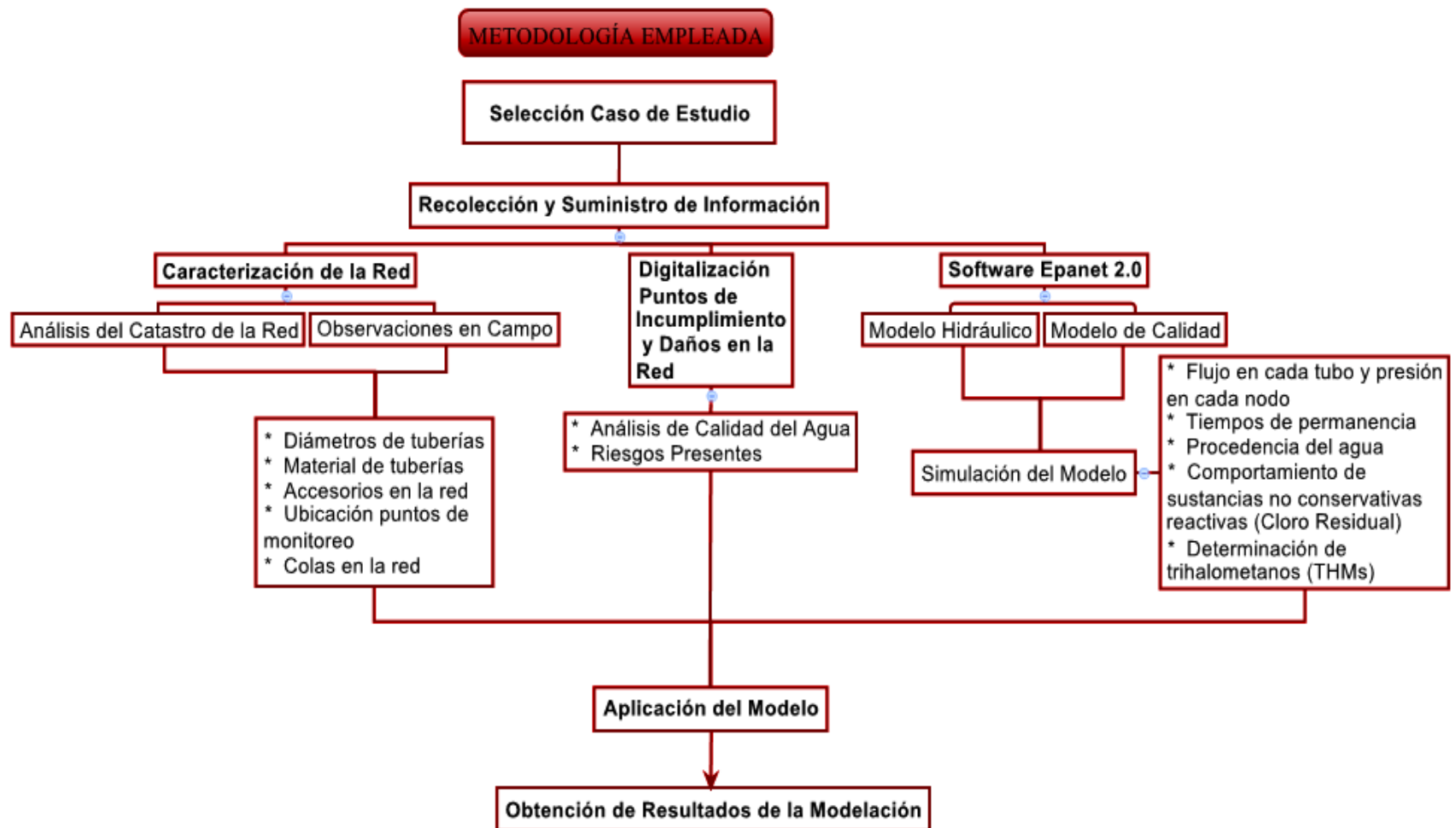


Figura 8. Metodología Empleada para el Análisis de Calidad del Agua

Fuente: Propia (2014)

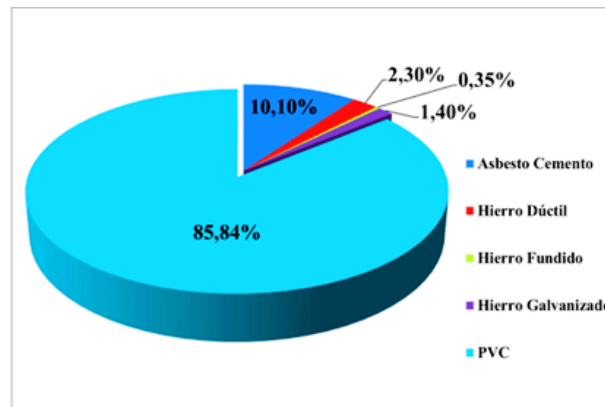
## 2. RESULTADOS

### 2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA RED

Tomando como base para nuestra caracterización el plano hidráulico de conducción del municipio de Girón, y sabiendo que es indispensable conocer los elementos que constituyen la red, se destaca la tubería de PVC, obteniendo un 85.84% de este material en la red. Los demás porcentajes se muestran en la Tabla 4 y se aprecia una distribución porcentual de los mismos en la Gráfica 1.

**Tabla 4. Materiales Presentes en la Red.**

Materiales	Rugosidad	Cantidad	Porcentaje [%]
Asbesto Cemento	0,03	627	10,10%
Hierro Dúctil	0,25	143	2,30%
Hierro Fundido	0,26	22	0,35%
Hierro Galvanizado	0,15	87	1,40%
PVC	0,0015	5328	85,84%
<b>Total</b>		6207	100,00%



**Gráfica 1. Distribución Porcentual de los Materiales en la Red.**

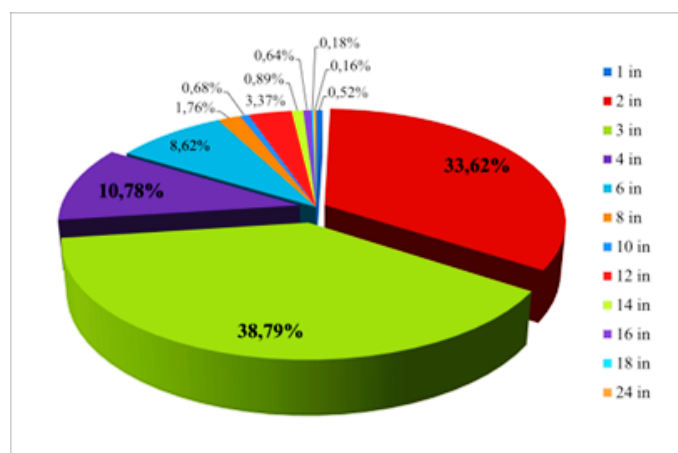
Fuente: Propia (2014)

Además de la caracterización por materiales, las redes de distribución de agua potable se pueden describir también por el tamaño del diámetro del que están compuestas.

En el caso del sector de estudio, el sistema de distribución cuenta con 12 diámetros diferentes para sus tuberías, dentro de los que se destacan 3”, 2” y 4” con unos porcentajes de 38.79, 33.62 y 10.78% respectivamente sobre el total de la red . Todos los diámetros se observan en la Tabla 5 y la distribución porcentual de los mismos en la Gráfica 2.

**Tabla 5. Diámetros Presentes en la Red.**

Diámetro [in]	Cantidad	Porcentaje [%]
1 in	32	0,52%
2 in	2087	33,62%
3 in	2408	38,79%
4 in	669	10,78%
6 in	535	8,62%
8 in	109	1,76%
10 in	42	0,68%
12 in	209	3,37%
14 in	55	0,89%
16 in	40	0,64%
18 in	11	0,18%
24 in	10	0,16%
<b>Total</b>	6207	100,00%



**Gráfica 2. Distribución Porcentual de los Diámetros en la Red.**

Fuente: Propia (2014)

Además de las tuberías, la red de distribución cuenta con una serie de elementos los cuales facilitan los empalmes entre los tipos de tuberías, permitiendo cambios de dirección, ramificaciones y mediciones.

En la Tabla 6 se muestran los elementos hidráulicos diferentes a tuberías existentes en el municipio de Girón.

**Tabla 6. Elementos Presentes en la Red.**

<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
Válvulas	1552
Válvulas Cerradas	6
Tanques	2
Medidores	18
Macromedidores	19
Accesorios	5460

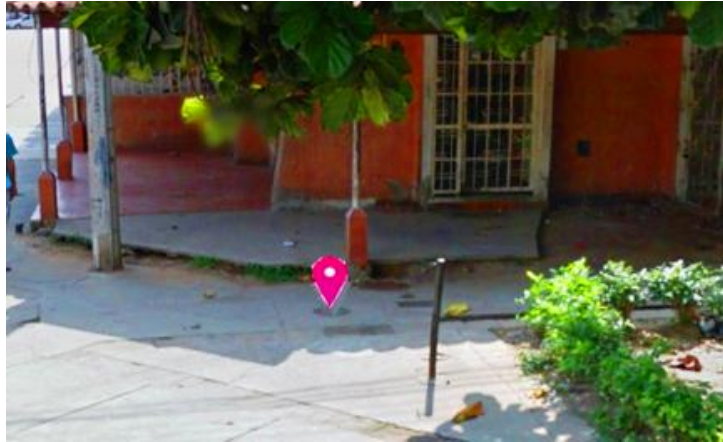
La inspección de campo realizada muestra de forma general que los puntos de monitoreo se encuentran muy cerca de accesorios; para nuestro caso de estudio se escogieron 6 puntos de monitoreo críticos, 3 asociados al número de incumplimientos de calidad en la red y 3 puntos asociados a los tiempos de retención hidráulica máximos.

### **2.1.1. Puntos asociados a incumplimientos de calidad dentro de la red**

#### **2.1.1.1. Punto de Monitoreo “Altos de Arenales”**

El punto de arenales se ubica sobre el andén en una esquina. Según el catastro de la red, se ve que existe un barrio entero compuesto por 18 manzanas posterior al sitio de monitoreo (Ver Anexo C). Esto genera una recirculación del líquido en el lugar, lo cual hace que pierda propiedades de calidad debido a su estancamiento.

La ubicación del punto de monitoreo se muestra en la fotografía 1 y en el modelo de Epanet en el Anexo D



**Fotografía 1. Punto de Monitoreo “Altos de Arenales”**

**Fuente:** Google Maps Modificada (2014)

En la inspección del punto (Ver Anexo E), se observa que hay 2 válvulas cercanas, además el punto de control está en la mitad de ellas. Dentro de la caja de inspección donde se ubica la toma de agua, la tierra estaba saturada de agua (Ver Anexo F), las vías adyacentes estaban inundadas, lo cual indica una fuga de agua desde el suelo hacia la superficie.

#### **2.1.1.2. Punto de Monitoreo “La Muralla”**

El punto de La Muralla se encuentra ubicado frente a un conjunto residencial el cual lleva su mismo nombre (Ver fotografía 2 y Anexo G). En el catastro de la red y en el modelo hidráulico se puede observar que la única entrada de agua potable al conjunto es por el punto de monitoreo, lo cual genera recirculación en el mismo sitio sin opción de distribuirse a otros lugares. Esto significa que si no hay demanda de agua en el conjunto, esta queda estancada por lo que va perdiendo las propiedades aptas para el consumo. (Ver Anexo H)



**Fotografía 2. Referencia Punto “La Muralla”**

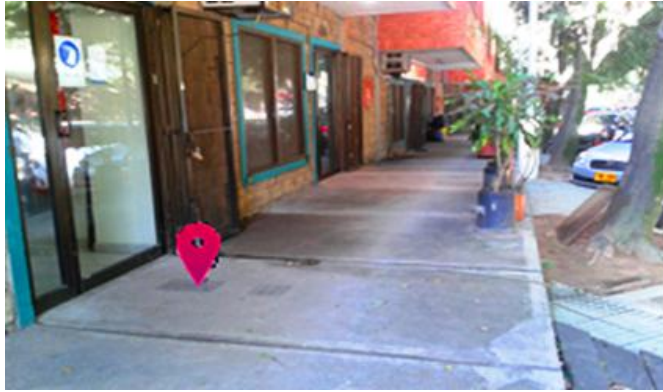
**Fuente:** Propia (2014)

Analizando el modelo hidráulico y contrastando con la inspección de campo, se aprecia que cerca al punto se ubicó un hidrante y una válvula (Ver Anexo I), los cuales no tienen mantenimiento constante, además se encuentran varios pozos de inspección de alcantarillado.

Al interior de la caja se observa presencia de lodo, lo que implica filtraciones hacia la superficie desde el suelo. (Ver Anexo J)

### **2.1.1.3. Punto de Monitoreo “TQ San Juan”**

El punto TQ San Juan se encuentra en las inmediaciones del Centro de Ferias, CENFER. (Ver fotografía 3 y Anexo K). En el catastro y el modelo de la red se puede apreciar que es el punto más cercano al tanque que abastece en su gran mayoría a Girón. (Ver Anexo L)



**Fotografía 3. Referencia Punto “TQ San Juan”**

**Fuente:** Propia (2014)

La información más importante de este sitio nace en decir que fue movido; la ubicación del punto fue cambiada sin un patrón específico. (Ver Anexo M)

La caracterización realizada indica que el lugar de muestreo presenta una pequeña red en el sector industrial. Por este motivo, el agua que llega no fluye por las tuberías, por el contrario se acentúa en el sistema sin poder fluir.

Actualmente el agua que llega a esta zona tiene que hacer un recorrido muy largo, más del pensado por ubicarse tan cerca. El mapa de la red indica que debe ir desde el tanque hasta el intercambiador El Palenque y posteriormente devolverse en dirección a Bucaramanga. Esto ya que la red proveniente del barrio Porvenir está cerrada.

### **2.1.2. Puntos asociados a los tiempos de retención Hidráulica máximos en la red**

#### **2.1.2.1. Punto de Monitoreo “Zona Industrial”**

El punto de la Zona Industrial se ubica en un andén que se encuentra en la vía al parque industrial. (Ver Fotografía 4 y Anexo N).



**Fotografía 4. Referencia Punto “Zona Industrial”**

**Fuente:** amb S.A. E.S.P. (2006)

La caracterización de este punto, consta de una tubería principal, la cual tiene su inicio en el intercambiador El Palenque y culmina en una empresa llamada Forjas de Colombia, cerca del norte de la ciudad de Bucaramanga. Allí termina la red de distribución por lo cual se convierte en uno de los extremos del sistema y presenta los tiempos máximos de retención.

De la tubería principal sale una ramificación que se convierte en un sistema de recirculación en la zona industrial, ya que presenta una sola entrada de agua. El punto de muestreo se encuentra en un extremo de ese circuito cerrado de tubería. Debido a esto presenta un nivel de estancamiento elevado. (Ver Anexo O)

#### **2.1.2.2. Punto de Monitoreo “José A. Galán”**

Se encuentra ubicado en el sector de la cárcel de mujeres sobre el andén que comunica la zona industrial de Girón con Bucaramanga. (Ver fotografía 5 y Anexo P)



**Fotografía 5. Referencia Punto “José A. Galán”**

**Fuente:** Propia (2014)

Este punto se encuentra sobre otra ramificación de la tubería principal que comunica la zona industrial con la red. Es importante destacar que es la única tubería que abastece el sector. (Ver Anexo Q)

La red en este punto presenta 2 colas, 2 válvulas y 1 hidrante. (Ver Anexo R). La tierra de la caja de toma de muestra está sobresaturada de agua. (Ver Anexo S)

### **2.1.2.3. Punto de Monitoreo “Aldea Alta”**

Este puesto de calidad es ubicado en un sector que actualmente se encuentra en construcción. (Ver fotografía 6). Se encuentra en la parte alta del municipio de Girón. (Ver Anexo T)



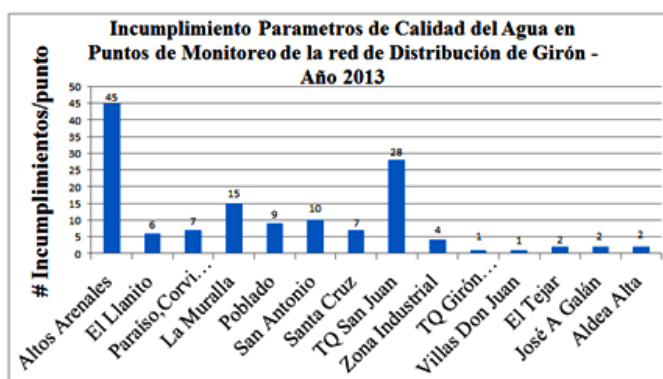
**Fotografía 6. Referencia Punto “Aldea Alta”**

Fuente: Propia (2014)

Es un sector que actualmente se encuentra en expansión y en las redes se aprecian varias colas debido a ramificaciones que no han sido empleadas y una línea de conducción principal (Ver Anexo U). Cerca de dicho punto se encuentran válvulas, medidores de viviendas y pozos de inspección de redes de alcantarillado de la localidad.

## 2.2. PUNTOS DE INCUMPLIMIENTO Y DAÑOS PRESENTES EN LA RED

La Tabla 2 suministrada por el amb S.A. E.S.P. se sintetiza en la Gráfica 3.



Gráfica 3. Puntos de Incumplimiento.

Fuente: amb S.A E.S.P. (2014)

A su vez, con la información de los daños, se obtuvo un mapa de colores en donde se especifica la cantidad de daños en cada barrio del municipio (Ver Anexo A)

Realizando una comparación entre la Gráfica 3 de incumplimiento y el mapa de daños para el municipio de Girón en los 3 puntos de monitoreo a analizar, se tiene:

### ♣ La Muralla:

Presenta un valor de incumplimiento anual de 15 mediciones a lo largo del año. Al ubicar este punto en el mapa de colores, no se indican daños en las

coordenadas señaladas. Esta estación de muestreo está incumpliendo en cuanto a calidad en turbiedad, color y mesófilos.

◆ **Altos de Arenales:**

El valor de incumplimiento es el más alto de todos los puntos de monitoreo, 45 mediciones. Comparado con el mapa de daños se ve que está en el rango de 7 a 9 en el barrio. Se puede decir que los daños presentes en la red pueden afectar de forma sustancial la calidad del agua. Los parámetros de incumplimiento en cuanto a calidad son turbiedad, color, pH y mesófilos.

◆ **TQ San Juan:**

Tiene un valor de incumplimiento de 28 mediciones. Mirando el mapa de colores, se muestra que la zona industrial cercana al punto tiene 2 puntos de daños. Los incumplimientos se presentan en cuanto a turbiedad, color, cloro residual, pH y mesófilos.

Esto comprueba que los daños presentes en la red de distribución alteran los niveles de calidad del agua que llegan a los consumidores.

## **2.3. FACTORES QUE ALTERAN LA CALIDAD DEL AGUA**

Existen muchas razones por las cuales el agua potable pierde su calidad dentro de la red de distribución, generalmente tienen gran influencia la presencia de factores que alteran esto.

### **2.3.1. Factores Físicos:**

La turbidez, el color, el olor, la temperatura, acumulación de sedimentos y entrada de contaminantes. Estos factores pueden presentarse por fugas en la red, formación de biopelícula, edad de la tubería, tiempos de retención hidráulica superiores a 24 horas.

### 2.3.2. Factores Químicos:

Diversos problemas asociados a las redes de distribución de agua potable se producen por reacciones químicas como lo son: la decadencia del cloro, formación de subproductos de desinfección, y aumento de pH, los cuales deterioran la calidad del agua.

### 2.3.3. Factores Microbiológicos:

Desarrollo de bacterias, virus y protozoos, pueden causar enfermedades con altos niveles de enfermedad.

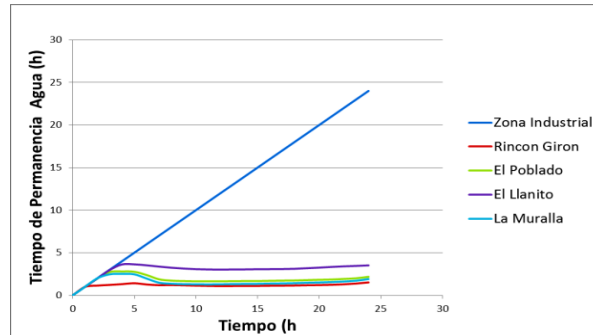
## 2.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA PARA CADA PUNTO.

Con el procedimiento explicado en la metodología se presenta la Tabla 7, en la cual se muestran los resultados obtenidos al hallar la duración del agua en la red y el modelo hidráulico obtenido mediante el software Epanet 2.0 (Ver Anexo V)

**Tabla 7. Tiempos de Retención Hidráulica Máximos Para Cada Punto de Monitoreo de la Red del Municipio de Girón**

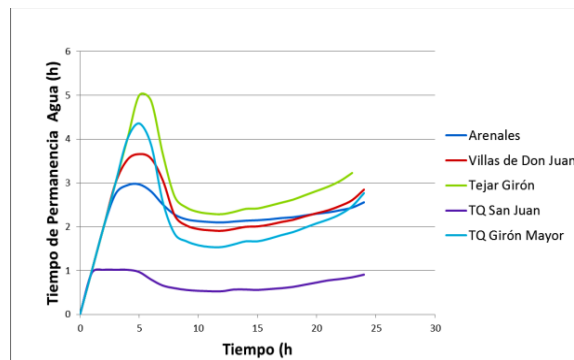
<b>Punto de Calidad</b>	<b>TRH</b>
Zona Industrial	24
Rincon de Girón	1,52
Poblado	2,81
El Llanito	3,64
La muralla	2,53
Arenales	2,97
Villas Don Juan	3,66
Tejar Girón	5
TQ San Juan	1,02
TQ Girón Mayor	4,36
Santa Cruz	3,35
El Paraiso-Corviandi 3	4,36
Aldea Alta	6,46
Jose A. Galan	24
San Antonio	3,12

Con la información de la tabla anterior se realizan 3 gráficas (Ver Gráficas 4,5 y 6) en las cuales se ilustra el tiempo de permanencia en la red a lo largo del día.



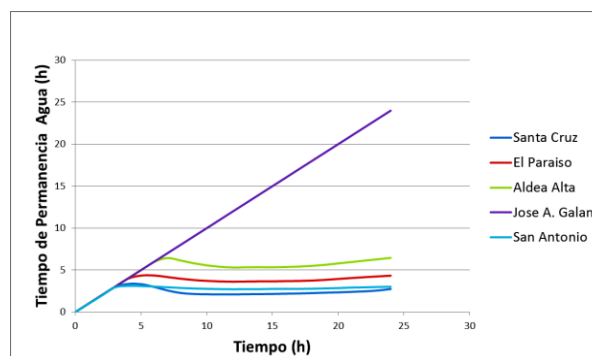
**Gráfica 4. Tiempo de Retención Hidráulica para los puntos indicados.**

Fuente: Propia (2014)



**Gráfica 5. Tiempo de Retención Hidráulica Para los Punto Indicados.**

Fuente: Propia (2014)

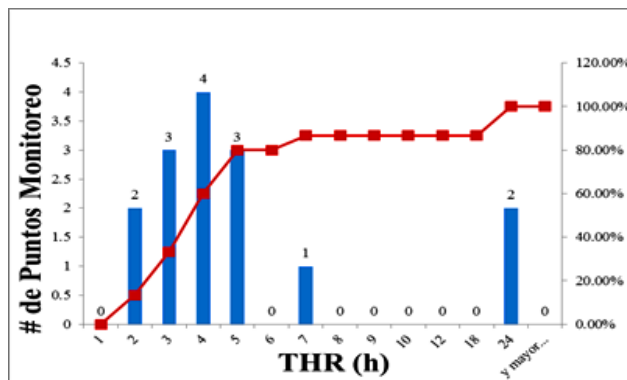


**Gráfica 6. Tiempo de Retención Hidráulica Para los Puntos Indicados.**

Fuente: Propia (2014)

Al analizar las gráficas obtenidas por medio del Software Epanet 2.0 para estimar los tiempos de retención hidráulica, se observa que la curva presenta, en algunos casos, uno pico de aumento y otro de descenso, esto se debe principalmente a las horas máximas de demanda de agua que se presentan durante las 24 horas de simulación del modelo, en donde a mayor consumo de agua, está permanece menos tiempo dentro de la red, por lo tanto a menor demanda de agua potable mayor tiempo de permanencia.

A continuación se muestra una distribución general de los tiempos de retención, y la frecuencia de los mismos para los 15 puntos de muestreo en el periodo de tiempo simulado. (Ver Gráfica 7)



**Gráfica 7. Distribución de los Tiempos de Retención Hidráulica en los 15 Puntos de Monitoreo**

Fuente: Propia (2014)

Haciendo una relación entre los tiempos de retención hidráulica y los daños presentes en la red, se puede decir que estos ocasionan desvíos y recorridos mayores del agua a cada uno de los consumidores debido a taponamientos en el sistema.

## 2.5. MODELO DE LA REACCIÓN DEL CLORO RESIDUAL

Es importante mencionar que para este estudio no se modeló toda la red de distribución del área influencia del acueducto, lo que significa que el agua

proveniente de las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento que distribuyen agua en la red de Girón necesita recorrer una cierta distancia y gastar un determinado tiempo para que el volumen de agua se desplace a través de la tubería, por lo tanto, la calidad inicial del agua se ve afectada desde el inicio gracias a este factor, y por ende para la obtención de los resultados de cloro residual dentro de la red de estudio, se estimó una concentración de  $CL_2$  inicial de aproximadamente 1.2 mg/L.

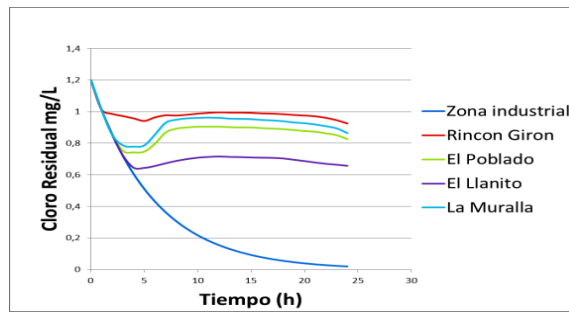
Empleando las ecuaciones planteadas, se obtiene la Tabla 8 en donde se muestran los valores de cloro residual para cada punto de monitoreo.

**Tabla 8. Valores de Cloro Residual**

Punto de Calidad	Concentración Inicial $CL_2$ [mg/L]	Constante de Decaimiento Cinética (h-1)	Tiempo de Residencia (h)	Cloro Residual mg/L	Cloro Residual Epanet mg/L	% Error
Zona Industrial	1,2	0,171000	24	0,01981	0,09000	7,02%
Rincon de Girón	1,2	0,171000	1,52	0,92534	0,87000	5,53%
Poblado	1,2	0,171000	2,81	0,74216	0,72000	2,22%
El Llanito	1,2	0,171000	3,64	0,64396	0,78000	13,60%
La muralla	1,2	0,171000	2,53	0,77856	0,70000	7,86%
Arenales	1,2	0,171000	2,97	0,72213	0,73000	0,79%
Villas Don Juan	1,2	0,171000	3,66	0,64176	0,69000	4,82%
Tejar Girón	1,2	0,171000	5	0,51034	0,49000	2,03%
TQ San Juan	1,2	0,171000	1,02	1,00793	1,24000	23,21%
TQ Girón Mayor	1,2	0,171000	4,36	0,56936	0,66000	9,06%
Santa Cruz	1,2	0,171000	3,35	0,67670	0,76000	8,33%
El Paraiso-Corviandi 3	1,2	0,171000	4,36	0,56936	0,73000	16,06%
Aldea Alta	1,2	0,171000	6,46	0,39759	0,49000	9,24%
Jose A. Galan	1,2	0,171000	24	0,01981	0,09000	7,02%
San Antonio	1,2	0,171000	3,12	0,70384	1,14000	43,62%

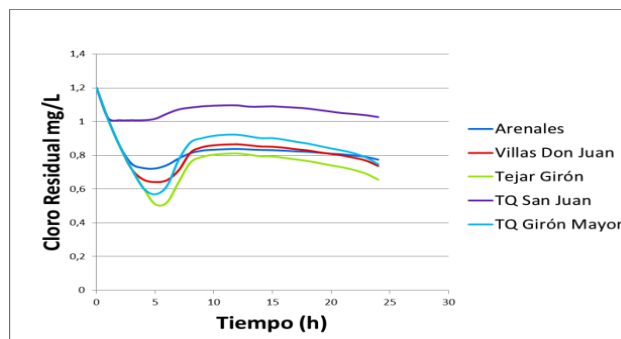
A mayor valor de la constante de decaimiento, aumenta la velocidad de consumo de desinfectante.

Por último se muestra en las Gráficas 8,9 y 10 la tendencia teórica que debe tener el decaimiento del cloro en 24 horas dentro de la red.



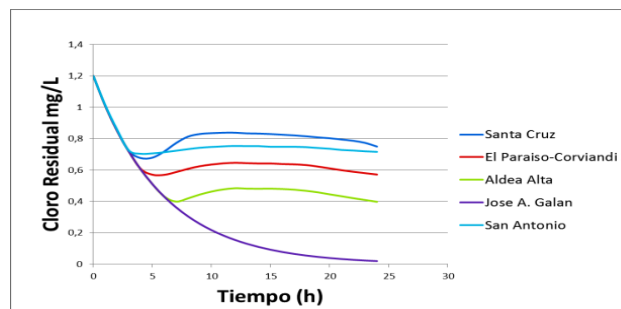
**Gráfica 8. Tendencia Teórica Decaimiento de Cloro**

Fuente: Propia (2014)



**Gráfica 9. Tendencia Teórica Decaimiento de Cloro**

Fuente: Propia (2014)

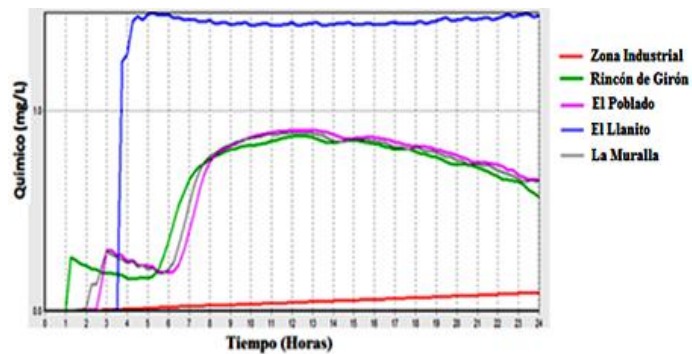


**Gráfica 10. Tendencia Teórica Decaimiento de Cloro**

Fuente: Propia (2014)

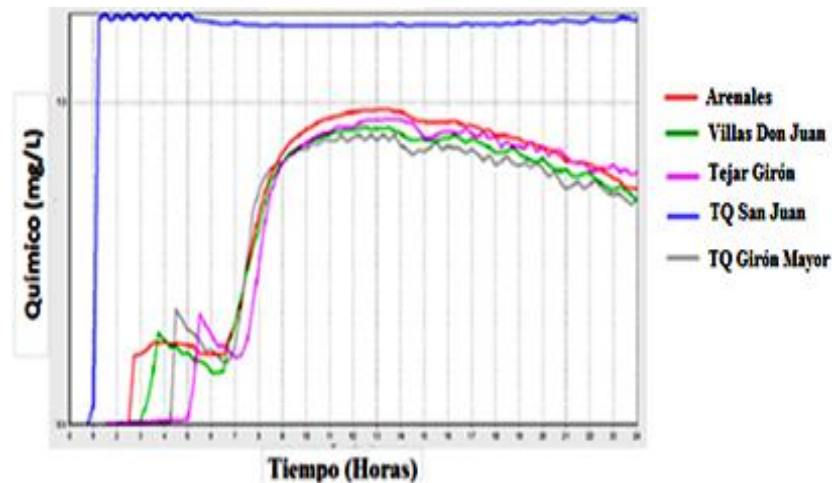
Los resultados obtenidos de la modelación mediante el Software Epanet permiten observar que a medida que avanza el agua dentro del sistema, el cloro decae debido al contacto con sustancias presentes dentro de este. Ya que la ecuación de

decaimiento del cloro residual está en función del tiempo de residencia del agua dentro de la red, se observa un tramo en el que el cloro incrementa su residual por los picos de demanda de agua potable durante el día, pero luego retoma su comportamiento de decadencia a través del tiempo. (Ver Gráficas 11, 12 y 13)



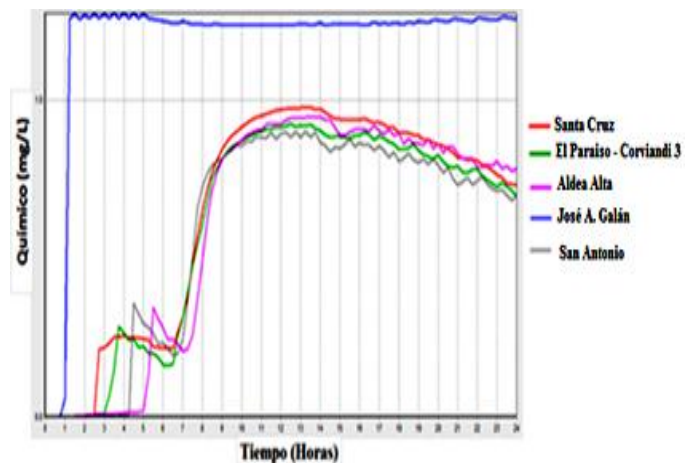
**Gráfica 11. Tendencia Decaimiento de Cloro Mediante Modelación en los Puntos Indicados**

Fuente: Propia (2014)



**Gráfica 12. Tendencia Decaimiento de Cloro Mediante Modelación en los Puntos Indicados**

Fuente: Propia (2014)



Gráfica 13. Tendencia Decaimiento de Cloro Mediante Modelación en los Puntos Indicados

Fuente: Propia (2014)

## 2.6. DETERMINACIÓN DE TRIHALOMETANOS

Utilizando la ecuación 5 para el cálculo de THMs en esta red, se tiene los siguientes datos:

- El TOC para nuestra red de estudio, se obtuvo a partir de los datos medios de calidad registrados para el 2013, con un valor de 1.0 mg/L.
- Una cantidad de cloro inicial (D) de 2.27 mg/L.
- El tiempo de retención hidráulica (TRH), se obtuvo en el programa Epanet 2.0.

Reemplazando en dicha ecuación se obtuvo los resultados de la Tabla 9.

Tabla 9. *Cálculo de Trihalometanos*

Punto de Calidad	TRH	Cloro mg/L	THMs µg/L	THMs mg/L
Zona Industrial	24	2,27	28,32742548	0,028327425
Rincón de Girón	1,52	2,27	13,41063899	0,013410639
Poblado	2,81	2,27	15,84051408	0,015840514
El Llanito	3,64	2,27	16,99136754	0,016991368
La Muralla	2,53	2,27	15,39627007	0,01539627
Arenales	2,97	2,27	16,08003009	0,01608003
Villas Don Juan	3,66	2,27	17,01661736	0,017016617
Tejar Girón	5	2,27	18,51785719	0,018517857
TQ San Juan	1,02	2,27	12,03650792	0,012036508
TQ Girón Mayor	4,36	2,27	17,84311596	0,017843116
Santa Cruz	3,35	2,27	16,61334186	0,016613342
El Paraiso-Corviandi 3	4,36	2,27	17,84311596	0,017843116
Aldea Alta	6,46	2,27	19,84919378	0,019849194
José A. Galán	24	2,27	28,32742548	0,028327425
San Antonio	3,12	2,27	16,29617779	0,016296178

### **3. RECOMENDACIONES PUNTOS DE MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD**

Con el fin de encontrar zonas prioritarias para el monitoreo de la calidad del agua potable en la red de distribución del municipio de Girón, se debe tener en cuenta datos de la variación histórica del agua, zonas muertas y extremos de red, además es necesario considerar los siguientes criterios como base:

1. Incumplimientos de calidad anual de agua por punto de monitoreo en la red de distribución
2. Daños anuales en el sistema.

Con la metodología desarrollada en este estudio y de acuerdo a los lineamientos estipulados en la resolución 0811 de 2008, se recomienda:

1. La ubicación de 2 puntos de monitoreo, uno a la salida del tanque de almacenamiento San Juan y el otro a la salida del Tanque Girón Mayor, además de un punto extra en el sistema de bombeo Arenales.
2. La localización de un punto de muestreo al inicio de la zona industrial, ya que puede existir el riesgo de posible contaminación de agua para consumo humano debido a la actividad productiva del sector.
3. Es necesario un punto de muestreo después de la mezcla del agua proveniente de diferentes fuentes de tratamiento, es decir a la salida del Tanque San Juan y Tanque Girón Mayor. Esto reafirma la necesidad de la ubicación de dichos puntos.

Para la ubicación de los nuevos puntos se debe tener en cuenta detalles constructivos tales como la localización en un sitio de fácil acceso y con drenaje apropiado para evitar formación de lodos en la caja de inspección, además la

estructura externa deberá garantizar la seguridad necesaria para el personal que recolecta la muestra.

Para contribuir con la mejora de la calidad del agua no sólo en el municipio de Girón, sino en toda el área metropolitana de Bucaramanga se recomienda que a futuro se inviertan los recursos económicos disponibles en sistemas de tecnología e infraestructura inteligente como el uso de redes inalámbricas autosuficientes, que permitan monitorear de manera eficaz y efectiva los parámetros relacionados con la calidad del agua respecto al cloro residual en primera instancia.

Se sugiere realizar las mediciones de cloro residual por medio de protocolos de comunicación basados en la telefonía móvil como lo es el sistema global de Telecomunicaciones (GSM), el servicio de mensajes cortos (SMS) o el servicio de paquete de radio general (GPRS), que tienen el potencial de desalojar los sedimentos que se forman en la tubería que reducen la calidad del agua y dañan la red si no se detectan. [14]

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

Después de la caracterización y las observaciones realizadas en nuestra investigación para cada punto de muestreo en la red de distribución de Girón, se pudo determinar los puntos donde se encuentran las concentraciones de cloro residual libre por debajo de lo establecido en la resolución 2115/2007.

La integración de información de diferente índole en la red de distribución permitió establecer la ubicación de algunos puntos de muestreo necesarios para monitorear la calidad del agua en el área de estudio de acuerdo con la normatividad nacional vigente.

Mediante la aplicación teórica del modelo de calidad para la determinación del cloro residual disponible en la red para los puntos de muestreo denominados “Zona Industrial” y “José A. Galán” (Tabla 8) se observa que los valores no cumplen con el rango estipulado, el cual se considera entre 0.3 y 2.0 mg/L.

La diferencia de resultados en los cálculos para cloro residual (Tabla 6) se puede asociar a los tiempos de residencia del agua, ya que el modelo no fue simulado para todo el sistema del área de influencia del a.m.b.

La desinfección química del agua potable mediante el uso del cloro no refleja la existencia de efectos adversos de los subproductos de la desinfección (trihalometanos), ya que cumple con los valores aceptables estipulados en la resolución 2115 de 2007 aptos para la salud de los usuarios.

Para la localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua en la red de distribución del municipio de Girón, se deben considerar aspectos físicos (subsistemas de la red, daños en la red de distribución, edad y material de la

tubería), hidráulicos (edad del agua, demandas de agua) y de calidad de agua (variación histórica de calidad de agua y quejas de calidad de agua).

Para evaluar la calidad del agua abastecida a través de la red, se debe garantizar de manera permanente y sistemática la calidad sanitaria al consumidor final, a través de puntos de muestreo, caracterización y actualizaciones periódicas en el catastro de la red que permitan identificar zonas muertas o colas en la red, y subsanar de esta forma los posibles problemas.

#### CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Castañeda Galvis L. F, G. A. (2006). *Subproductos de la Desinfección*. Universidad de los Andes, Cundinamarca, Bogotá D.C.
- [2] Simard Andréanne, P. G. (2011). Water residence time in a distribution system and its impact on disinfectant residuals and trihalomethanes.
- [3] Uriel Salomón Barragan Cardozo. (2010). Modelo experimental para evaluar cloro residual en el agua de las redes de distribución del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. Santander, Colombia.
- [4] Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. (s.f.). Consultado el 27 de Agosto de 2014, de <http://filtrosyequipos.com/GUEST/sanitaria/desinfeccion5.pdf>
- [5] Ministerio de la Protección social. (9 de Mayo de 2007). Decreto 1575 de 2007. Colombia.
- [6] Ministerio de la Protección Social, M. d. (22 de Junio de 2007). Resolución 2115 de 2007. Colombia.
- [7] Ministerio de la Protección Social, M. d. (5 de Marzo de 2008). Resolución 0811 de 2008. Colombia.
- [8] amb S.A. E.S.P. (2013). Software SAMPLER Laboratorio Calidad de Aguas. Bucaramanga.
- [9] amb S.A. E.S.P. (2013). Abastecimientos. Bucaramanga.
- [10] Alcaldía de Girón. (s.f.). Santander, Nuestro Municipio, Información General,. Consultado el 1 de Octubre de 2014, de [http://www.gironsantander.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.gironsantander.gov.co/informacion_general.shtml)[Consulta

- [11]** amb S.A E.S.P. (2013). Dosis Inicial Cloro Plantas de Tratamiento Laboratorio de Calidad de Aguas. Bucaramanga.
- [12]** Tansley, N., & Brammer, L. (1993). Chlorine Residual Modelling in Distribution-The Improvement Disinfection. Conference to Integrated Computer Applications in Water Supply. Univ.Mofort, UK.
- [13]** Chang EE, C. S. (1996). Effects of chlorination on THM formation in raw water. Bromine incorporation factors for trihalomethane formation for the Mississippi, Ohio and Missouri rivers.
- [14]** Neil Hault, P. J. (Agosto de 2009). Wireless sensor networks: creating 'smart infrastructure'.

## BIBLIOGRAFÍA

A National Drinking Water Clearinghouse Fact Sheet. (Junio de 1996). Tech Brief Disinfection.

A. J. Whittle, M. A. (2013). Sensor Networks for Monitoring and Control of wWater Distribution Systems. The 6th International Conference On Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure. Hong Kong.

Carolina Montoya, D. L. (2009 de Mayo de 2009). Propuesta metodológica para localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua en redes de distribución utilizando sistemas de información geográfica. Antioquia, Medellin, Colombia.

Chlorine Chemistry Council, Canadian Chlorine Coordinating Committee. (February de 2003). Drinking Water Chlorination.

Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (Norma RAS 2000)

Control de Calidad del Agua amb. (s.f.). Consultado el 30 de Septiembre de 2014, de <http://www.amb.com.co/frmlInformacion.aspx?inf=35>

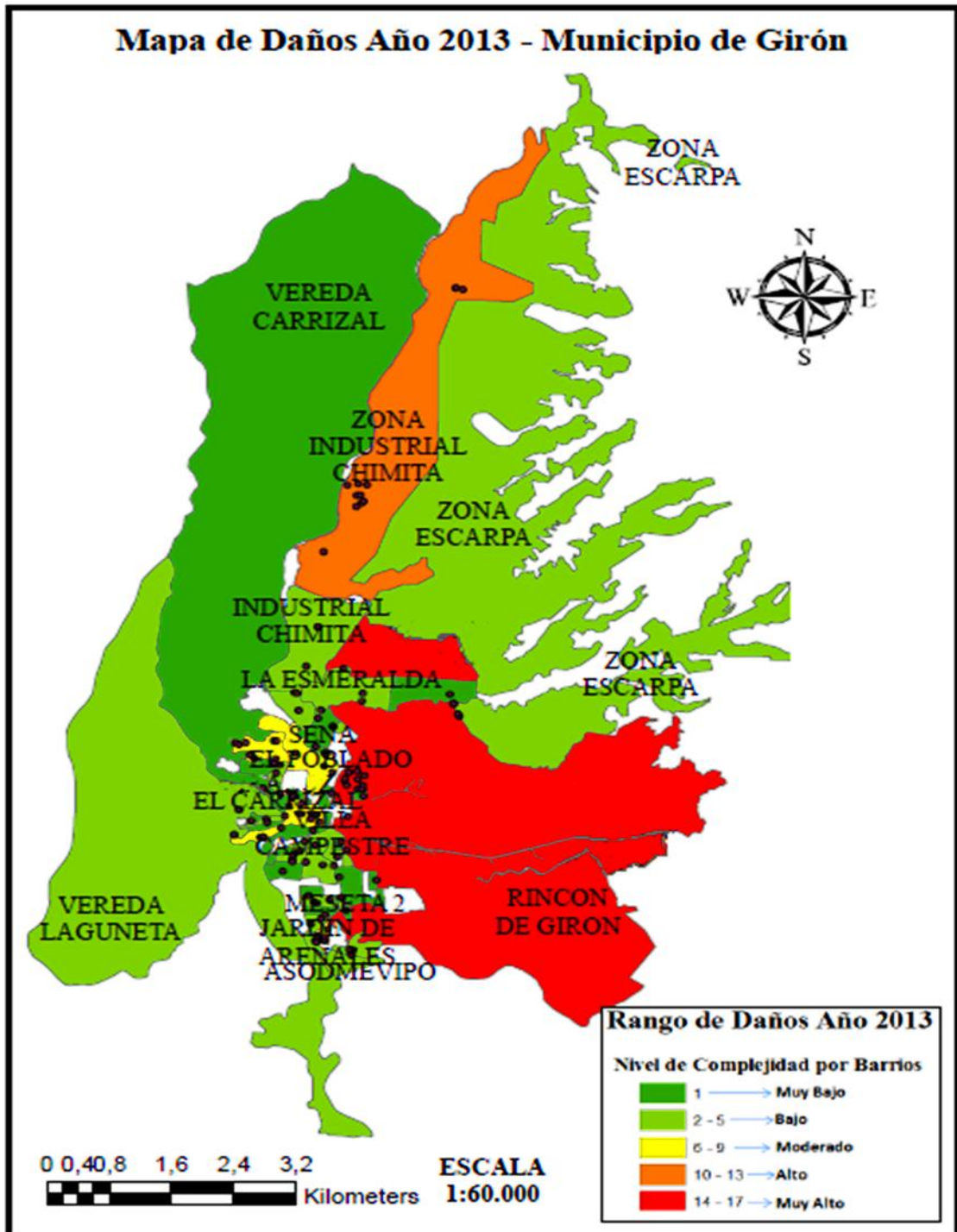
Marshall, D. D. (2010). Monitoring water distribution systems: understanding and managing sensor networks. Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster, LA1 4YQ, UK.

R. Boe-Hansen\*, A.C. Martiny\*,\*\*, E. Arvin\* and H.-J. Albrechtsen\*. (2003). Monitoring biofilm formation and activity in drinking water distribution networks under oligotrophic conditions. Technical University of Denmark.

Romero, D. K. (2010). Implementación de un modelo experimental para determinar la concentración de trihalometanos en las redes de distribución del acueducto metropolitano de Bucaramanga.

Rosario Vidal, F. M. (1994). Aplicaciones de los modelos de calidad en la simulación de las redes de distribución de agua potable.

ANEXO

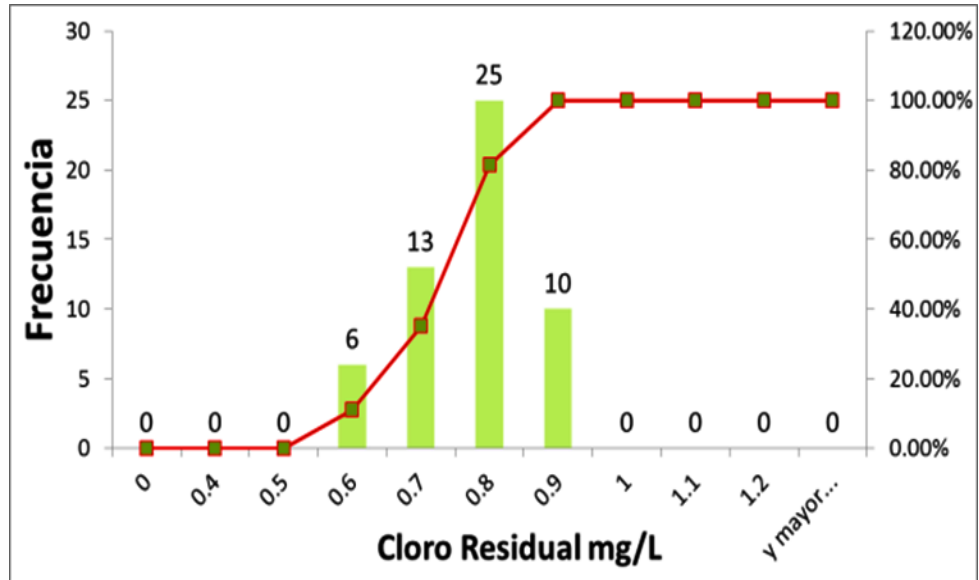


Anexo A. Mapa de Daños Sector Girón Año 2013

Fuente: Propia (2014)

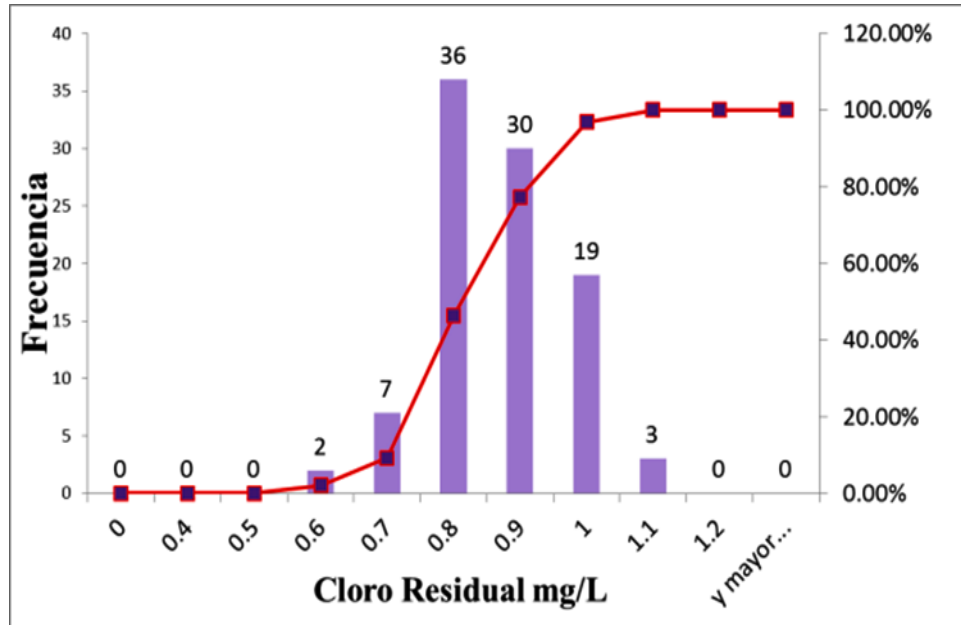
Anexo B. Histograma de Frecuencia Para Todos Los Puntos

Fuente: Propia (2014)



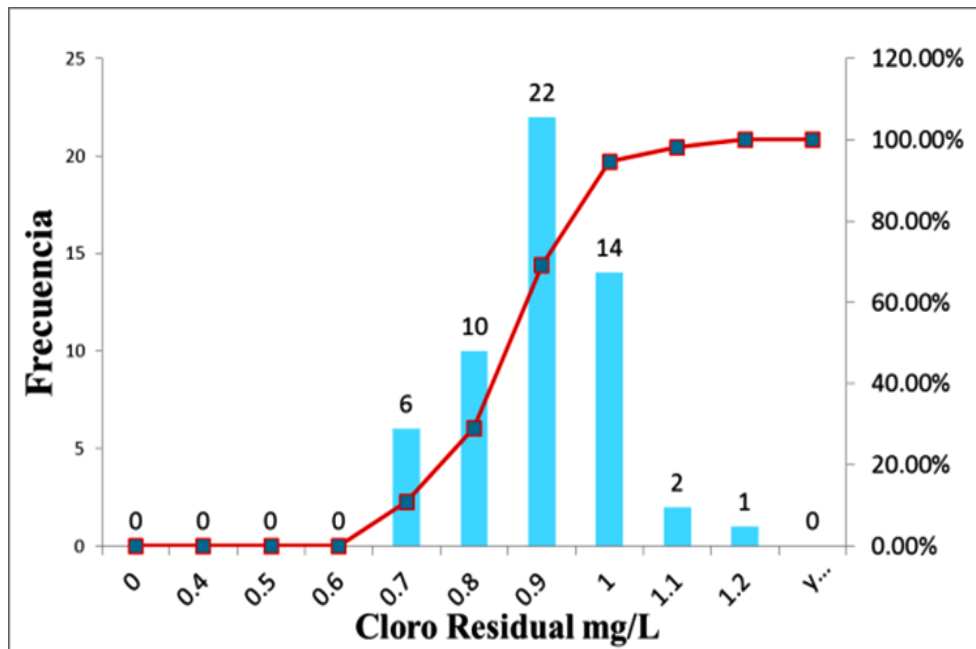
Anexo B – 1. Histograma de Frecuencia Punto “Zona Industrial”

Fuente: Propia (2014)



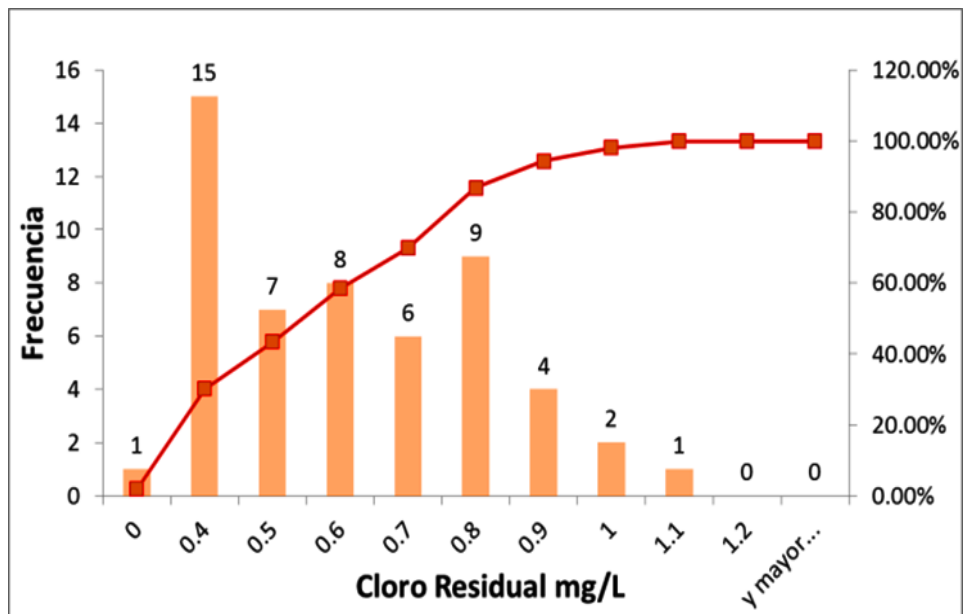
Anexo B – 2. Histograma de Frecuencia Punto “La Muralla”

Fuente: Propia (2014)



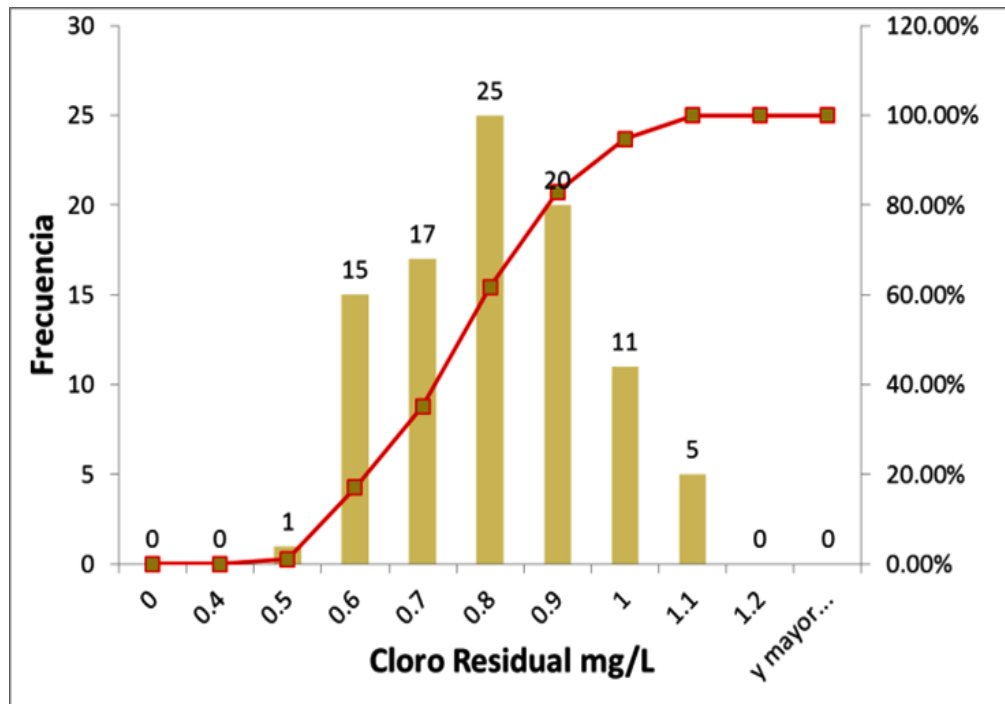
Anexo B - 3. Histograma de Frecuencia Punto "Altos de Arenales"

Fuente: Propia (2014)



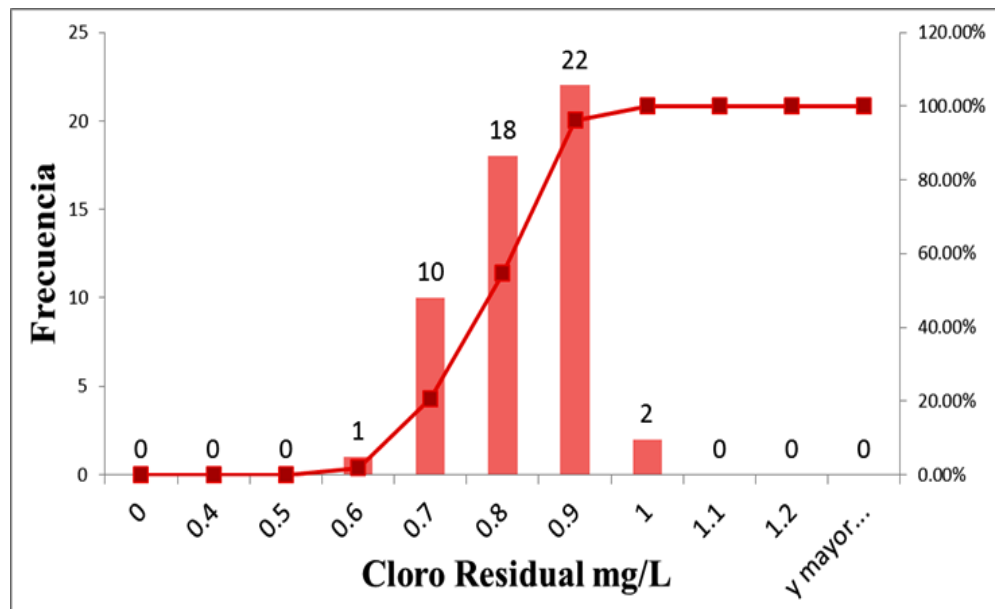
Anexo B - 4. Histograma de Frecuencia Punto "TQ San Juan"

Fuente: Propia (2014)



Anexo B - 5. Histograma de Frecuencia Punto "Aldea Alta"

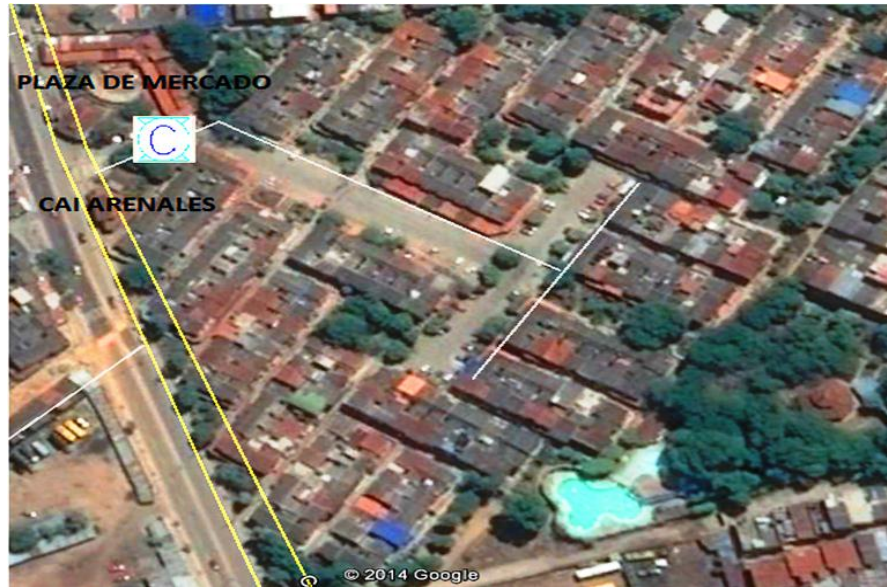
Fuente: Propia (2014)



Anexo B - 6. Histograma de Frecuencia Punto "José A. Galán"

Fuente: Propia (2014)

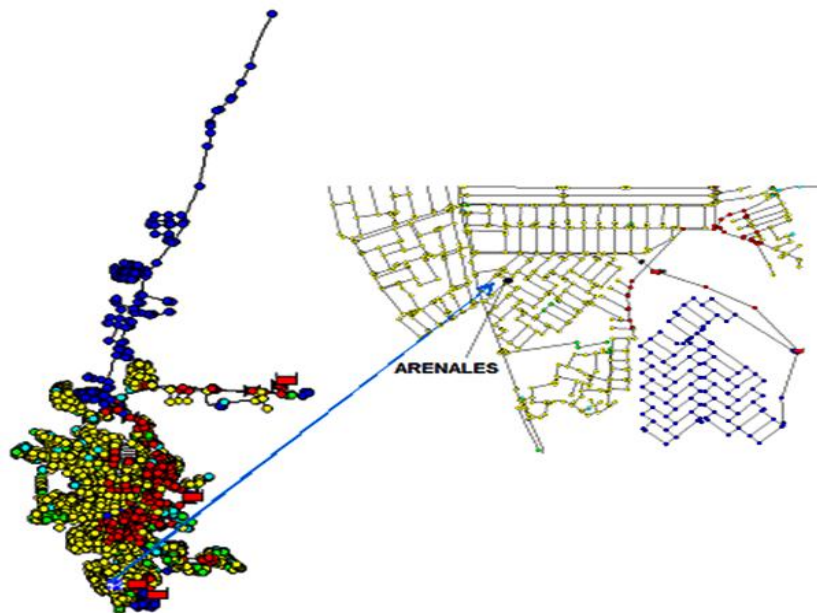
## Anexo C



**Anexo C. Sector Punto de Monitoreo “Altos de Arenales”**

Fuente: Google Earth Modificado (2014)

## Anexo D



**Anexo D. Punto de Monitoreo Altos de Arenales en Epanet**

Fuente: Modelo Epanet Modificado (2014)

## Anexo E



**Anexo E. Registro fotográfico tapa Punto Arenales**

Fuente: Propia (2014)

## Anexo F



**Anexo F. Punto de muestreo "Altos de Arenales"**

Fuente: Propia (2014)

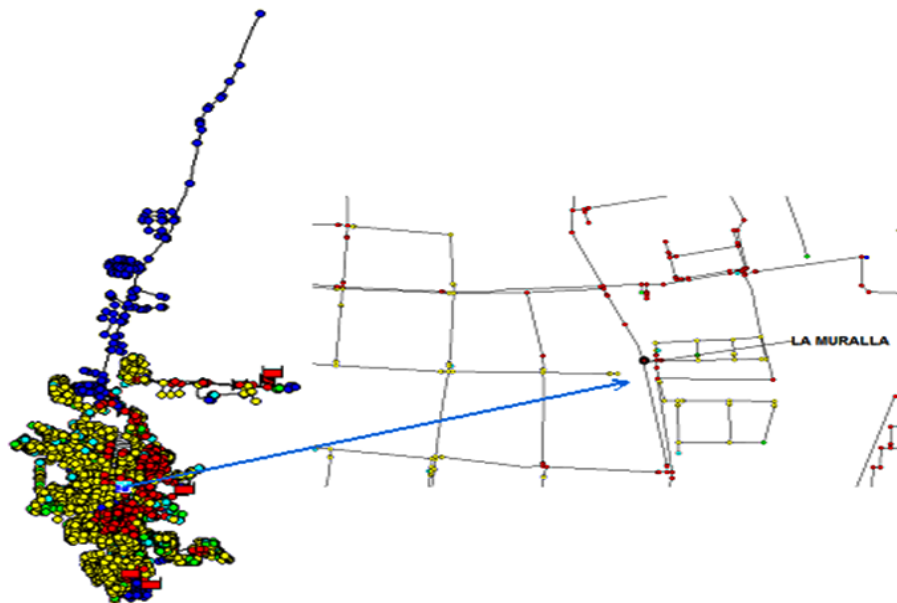
## Anexo G



**Anexo G. Sector Punto de Monitoreo "La Muralla"**

Fuente: Google Earth Modificado (2014)

## Anexo H



**Anexo H. Punto de Monitoreo La Muralla en Epanet**

Fuente: Modelo Epanet Modificado (2014)

## Anexo I



**Anexo I. Distribución Punto “La Muralla”**

Fuente: Propia (2014)

## Anexo J



**Anexo J. Caja Punto de Muestreo “La Muralla”**

Fuente: Propia (2014)

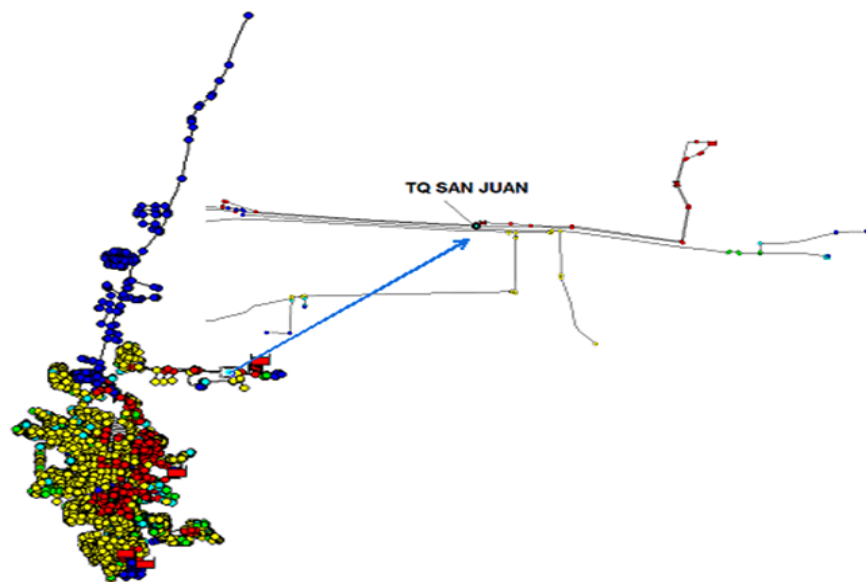
## Anexo K



**Anexo K. Sector Punto de Monitoreo "TQ San Juan"**

Fuente: Portal IGAC – Catastro Santander Modificado (2014)

## Anexo L



**Anexo L. Punto de Monitoreo TQ San Juan en Epanet**

Fuente: Modelo Epanet Modificado (2014)

## Anexo M



**Anexo M. Punto "TQ San Juan" Punto Modificado**

**Fuente:** Propia (2014)

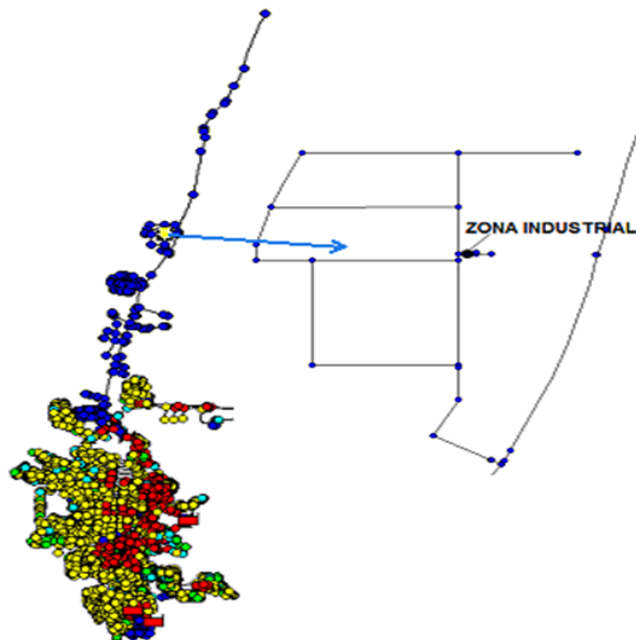
## Anexo N



**Anexo N. Sector Punto de Monitoreo "Zona Industrial"**

Fuente: Portal IGAC – Catastro Santander Modificado (2014)

## Anexo O



**Anexo O. Punto de Monitoreo Zona Industrial en Epanet**

Fuente: Modelo Epanet Modificado (2014)

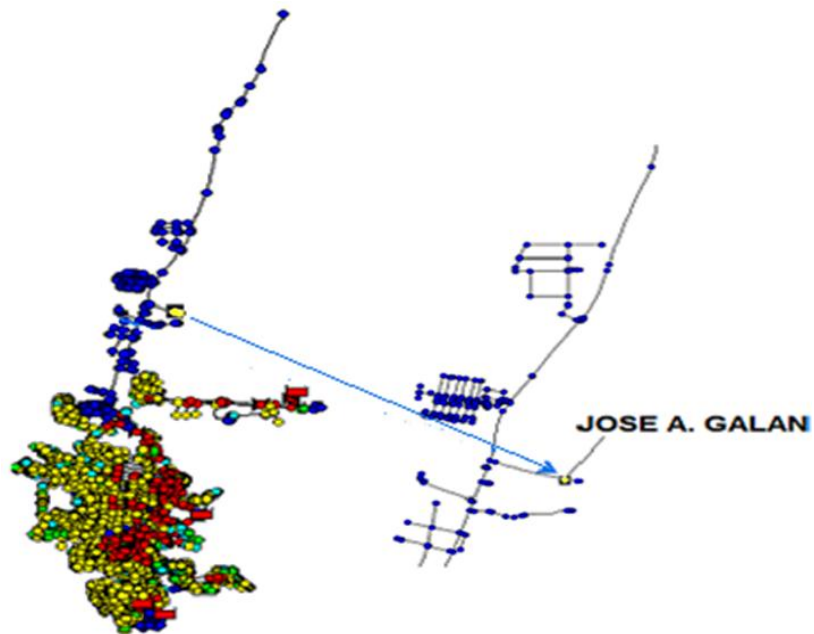
## Anexo P



**Anexo P. Sector Punto de Monitoreo “José A. Galán”**

Fuente: Google Earth Modificado (2014)

## Anexo Q



**Anexo Q. Punto de Monitoreo José A. Galán en Epanet**

Fuente: Modelo Epanet Modificado (2014)

## Anexo R



**Anexo R. Distribución Punto "José A. Galán"**

Fuente: Propia (2014)

## Anexo S



**Anexo S. Caja de Inspección Punto "José A. Galán"**

Fuente: Propia (2014)

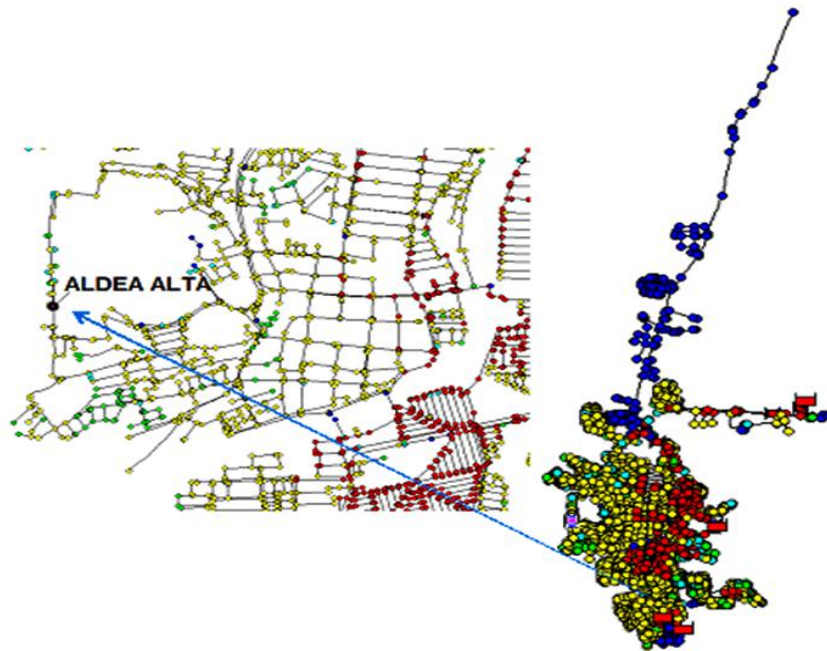
## Anexo T



Anexo T. Sector *Punto de Monitoreo "Aldea Alta"*

Fuente: Google Earth Modificado (2014)

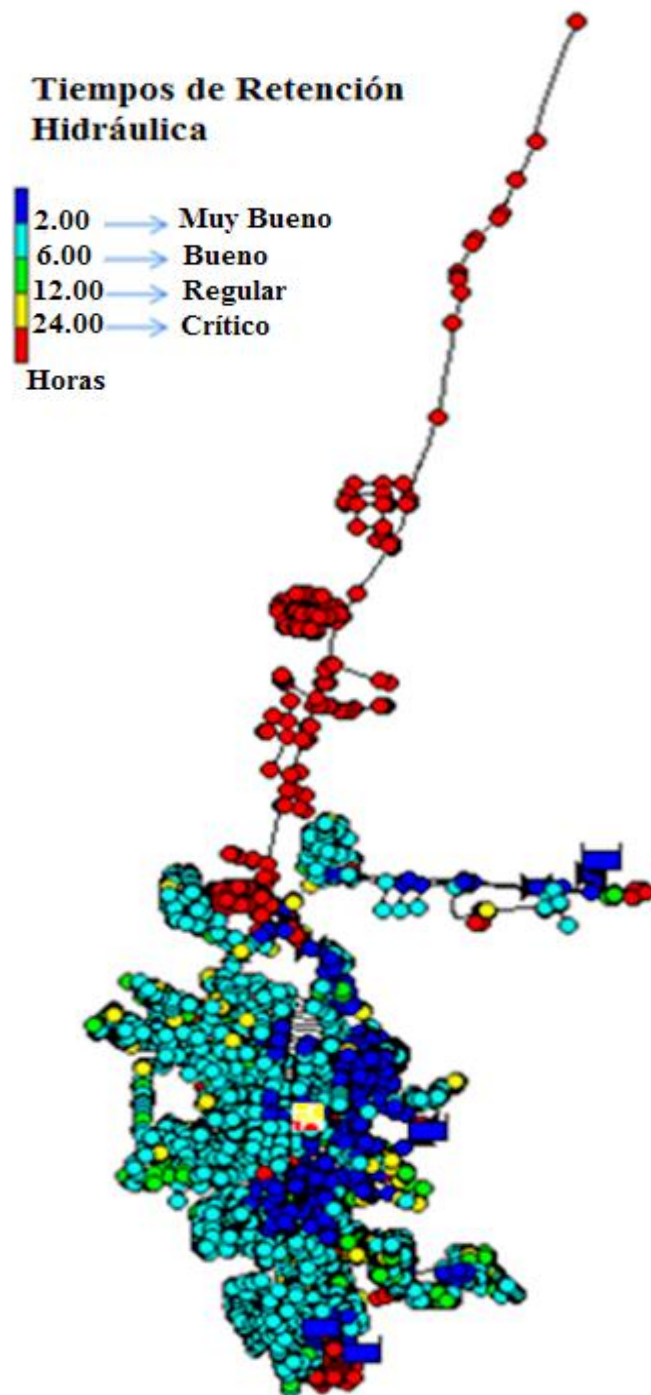
## Anexo U



Anexo U. *Punto de Monitoreo Aldea Alta en Epanet*

Fuente: Modelo Epanet Modificado (2014)

## ANEXO V



*Anexo V. Tiempo de Retención Hidráulica Para Cada Nodo de la Red en un Periodo de Simulación de 24 horas.*

Fuente: Modelo Epanet Modificado (2014)