



Universidad  
Tecnológica de Bolívar  
CARTAGENA DE INDIAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

---

METODOLOGÍA PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE ACUEDUCTO CON BAJAS  
POBLACIONES. CASO DE ESTUDIO CORREGIMIENTO LAS PALMAS

Proyecto de investigación para optar al grado de ingeniera civil

MARÍA CAROLINA SOTO DEL RÍO

Profesor Guía: Ing. Oscar Coronado Hernández

Cartagena, Colombia 2012

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL



METODOLOGÍA PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE ACUEDUCTO CON BAJAS  
POBLACIONES. CASO DE ESTUDIO CORREGIMIENTO LAS PALMAS

Proyecto de investigación para optar al grado de ingeniera civil

María Carolina Soto Del Río

Profesor Guía: Ing. Oscar Coronado Hernández

Cartagena, Colombia 2012

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado es dedicado a todos los habitantes del corregimiento de Las Palmas, los cuales fueron mi inspiración para el desarrollo de esta investigación y de la temática contenida en este proyecto; esperando que este documento sea de gran ayuda tanto para ellos como para todas aquellas poblaciones que viven en condiciones similares, proponiendo de esta manera un mejoramiento en sus condiciones de vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente al padre Dios todopoderoso por permitirme alcanzar mis sueños y por estar conmigo en todo momento iluminándome, aun en las etapas más difíciles que transcurrieron durante la elaboración de este proyecto, a mi padre que desde el cielo se siente orgulloso de mí, agradezco enormemente a mi madre Amira Del Río por sus constantes oraciones, por ser la inspiradora de mis grandes metas y por creer en mi capacidad siempre; por último al Suboficial Jefe de la Armada Nacional Juan Jiménez, el cual puso todo su empeño y colaboración en ayudarme a sacar este proyecto adelante.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
OBJETIVOS.....	6
<b>CAPITULO I</b>	
MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. Población de diseño.....	7
1.1.1 Estimación de la población.....	8
1.1.2 Métodos de cálculo.....	8
1.1.3 Método de áreas y densidades.....	11
1.1.4 Periodo de diseño.....	11
1.2.Caudal de diseño.....	12
1.2.1. Caudal medio diario.....	12
1.2.2. Caudal máximo diario.....	13
1.2.3. Caudal máximo horario.....	13
1.3. Hidráulica de tuberías.....	13
1.3.1. Ecuación de Darcy – Weisbach.....	14
1.3.2. Ecuación de Colebrook – White.....	14
1.3.3. Método del Gradiente.....	15
1.4.Epanet.....	15
1.5.Últimas tecnologías.....	17
1.5.1. Abastecimiento de agua potable en zonas rurales.....	17

1.5.2. Pequeños Sistemas de Abastecimiento de Agua para Múltiples Localidades - Un Nuevo Reto.....	24
---	----

## **CAPÍTULO II**

CASO DE ESTUDIO.....	31
2.1. Geografía de la zona.....	31
2.2. Economía.....	32
2.3. Saneamiento y agua potable.....	32

## **CAPÍTULO III**

METODOLOGÍA.....	34
3.1. Recopilación de información.....	34
3.1.1. Situación actual.....	34
3.1.2. Antecedentes históricos.....	35
3.1.3. Problemática.....	36
3.2. Análisis de la información.....	37
3.3. Aplicación metódica del cálculo del caudal de diseño para la modelación de la red del corregimiento.....	38
3.3.1. Nivel de complejidad del proyecto.....	38
3.3.2. Dotación neta.....	39
3.3.3. Dotación bruta.....	40
3.3.4. Caudal de diseño.....	41

## **CAPÍTULO IV**

METODOLOGÍA PROPUESTA.....	43
4.1. Limitaciones de las metodologías tradicionales de diseño.....	43
4.2. Estimación de la población de diseño.....	44
4.3. Diagrama de flujo del método propuesto.....	49

## **CAPÍTULO V**

MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA PEQUEÑAS POBLACIONES.....	51
5.1.1ra. Modelación.....	52
5.2. 2da. Modelación.....	54
5.3.3ra. Modelación.....	56
5.4. 4ta. Modelación.....	58
5.5. 5ta. Modelación.....	60
5.6. 6ta. Modelación.....	62
5.7. 7ma. Modelación.....	64
5.8. Análisis de resultados.....	66
5.8.1. Diseño de la red de distribución.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS.....	74
ANEXOS.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES

### Índice de tablas

Tabla 1. Métodos de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad.....	9
Tabla 2. Ecuaciones de cálculo para la proyección de la población.....	9
Tabla 3. Ecuaciones para cálculo de caudales de diseño.....	12
Tabla 4. Datos comparativos a nivel nacional e internacional.....	22
Tabla 5. Unidades de descarga.....	30
Tabla 6. Gastos probables en litros/segundo en función del número de unidades de gasto..	30
Tabla 7. Asignación del nivel de complejidad según la población.....	39
Tabla 8. Caudales de diseño.....	42
Tabla 9. Estimación de la población de Las Palmas a partir del año 2010 hasta el 2020....	46
Tabla 10. Datos de los nodos, arrojados por EPANET.....	53
Tabla 11. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET.....	53
Tabla 12. Datos de los nodos, arrojados por EPANET.....	55
Tabla 13. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET.....	55
Tabla 14. Datos de los nodos, arrojados por EPANET.....	57
Tabla 15. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET.....	57
Tabla 16. Datos de los nodos, arrojados por EPANET.....	59
Tabla 17. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET.....	59
Tabla 18. Datos de los nodos, arrojados por EPANET.....	61
Tabla 19. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET.....	61
Tabla 20. Datos de los nodos, arrojados por EPANET.....	63
Tabla 21. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET.....	63
Tabla 22. Datos de los nodos, arrojados por EPANET.....	65
Tabla 23. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET.....	65
Tabla 24. Calculo de la demanda por nodo.....	67

## Índice de figuras

Figura 1. Fuente rural abasteciendo a varias localidades.....	18
Figura 2. Fuente urbana que abastece a varias localidades.....	19
Figura 3. Trazado de la red del sistema de acueducto en la primera modelación.....	52
Figura 4. Trazado de la red del sistema de acueducto en la segunda modelación.....	54
Figura 5. Trazado de la red del sistema de acueducto en la tercera modelación.....	56
Figura 6. Trazado de la red del sistema de acueducto en la cuarta modelación.....	58
Figura 7. Trazado de la red del sistema de acueducto en la quinta modelación.....	60
Figura 8. Trazado de la red del sistema de acueducto en la sexta modelación.....	62
Figura 9. Trazado de la red del sistema de acueducto en la séptima modelación.....	64

## RESUMEN

En este proyecto de investigación se busca la obtención de una metodología para el diseño de redes de acueducto especialmente en zonas donde existe un bajo índice poblacional, esto con el propósito de permitir la prestación del servicio de agua potable a aquellas localidades donde escasea el recurso y en otras que aunque exista el cuerpo de agua no se puede desarrollar el diseño del sistema por la carencia de un método para emplear en estos casos; las normas establecidas para el diseño de los sistemas de acueducto en Colombia al ser utilizadas para estos sectores no cumplen con los requerimientos, por esta razón fue necesario encontrar aquellos parámetros que al variarlos arrojaran resultados viables. Se tomó como caso de estudio el corregimiento de Las Palmas el cual cumplía con las condiciones de bajo nivel poblacional.

La metodología consta de una serie de suposiciones tipo prueba y error, las cuales jugaron de manera estratégica con dichos parámetros hasta la obtención de la población ideal para que el diseño de la red cumpliera con las presiones y velocidades establecidas en la norma, las cuales garantizan la prestación de un buen servicio a la comunidad. El proceso utilizado para el diseño de la red es descrito en el presente proyecto de investigación así como las normas y suposiciones en las que se basan dicho diseño.

## INTRODUCCIÓN

En el campo del agua existe una enorme diversidad de actividades e intereses y, por tanto, de áreas de trabajo. Los problemas que se plantean en estas áreas son auténticos problemas de ingeniería y, como consecuencia, las ayudas que ciertas técnicas de Matemática Aplicada pueden prestar son realmente importantes. Por un lado, es preciso disponer de herramientas de análisis que permitan realizar simulaciones fiables de los distintos modelos que se plantean analizando diversas configuraciones, modos de funcionamiento, etc. (Izquierdo, Pérez, Fuertes, Iglesias & López, 2003, p. 171)

En el ámbito de la prestación de servicios públicos un acueducto es un sistema o conjunto de sistemas de irrigación que permite transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que ésta accesible en la naturaleza, hasta un punto de consumo distante. Así, cualquier asentamiento humano, por pequeño que sea, necesita disponer de un sistema de aprovisionamiento de agua que satisfaga sus necesidades vitales. La solución más elemental consiste en establecer el poblamiento en las proximidades de un río o manantial, desde donde se acarrea el agua a los puntos de consumo. (Importancia de los sistemas de acueducto, s.f.)

El RAS (2000) refiere que todo componente de un sistema de acueducto debe justificarse con la identificación de un problema de salud pública, del medio ambiente o de bienestar social, el cual tiene solución con la ejecución del sistema propuesto, ya sea mediante la ampliación de cobertura del servicio o mejoramiento de su calidad y eficiencia (p. B.26). En la actualidad existe una gran inquietud por la búsqueda de mecanismos de suministro de agua que sean sostenibles y tengan un coste razonable. Por razones de índole distinta, la gestión del agua, tanto en los países desarrollados como en el tercer mundo, precisa de una gran dosis de innovación. (Izquierdo, Pérez, Fuertes, Iglesias & López, 2003, p. 171)

## JUSTIFICACIÓN

El suministro de agua en un lugar poblado más que un beneficio es una necesidad para suplir las necesidades básicas del ser humano. Según los estudios de TI -Informe Global de Corrupción, 2008- (citado por la Corporación Transparencia por Colombia, 2009), en el mundo “casi 1.200 millones de personas no cuentan con acceso garantizado al agua potable y más de 2.600 millones no disponen de servicios de saneamiento adecuados” (United Nations, 2002), Así mismo, de acuerdo con los cálculos de las Naciones Unidas, la falta de acceso al agua potable causa la muerte de más de cinco millones de personas cada año en el mundo. (Ibid, página XXI), razón por la cual este líquido es considerado un bien público, un bien al que todos tenemos derecho y al cual el Estado debe garantizar su acceso.

El costo de construir y operar los sistemas de acueducto, la selección de la estructura organizacional para llevar a cabo su operación, las políticas sobre el manejo del agua, los aspectos jurídicos y políticos involucrados en el tema y otras muchas consideraciones, se suman a los conceptos técnicos que deben ser tenidos en cuenta para la construcción de un acueducto. Y es precisamente esta variedad de consideraciones la que lleva a algunas autoridades a tomar decisiones basadas en criterios subjetivos, y con ello, incurrir en riesgos que posibilitan la obtención de beneficios particulares. (Corporación Transparencia por Colombia, 2009)

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2008) afirma que si se hubieran utilizado con eficiencia los recursos asignados en el periodo 1996 – 2003 ya se hubiera alcanzado la cobertura de 100% en acueducto y de 95% en alcantarillado. De 31 departamentos colombianos, 14 no superan 60% de cobertura en alcantarillado y acueducto.

La normatividad vigente en Colombia para el diseño y construcción de un sistema de acueducto no cubre aquellas zonas que cuentan con un bajo número de habitantes, por lo que al ser implementado esta metodología tradicional en zonas pequeñas los resultados obtenidos son desfavorables, no cumpliendo con las especificaciones dentro de cada proceso. Por esta razón se hizo necesaria la búsqueda y creación de un método capaz de generar como resultado el diseño óptimo de un sistema de acueducto el cual garantice que al ser implementado en una zona cuya característica es la baja densidad de población sea capaz de abastecer dicho sector; esta metodología debe ser argumentada por las modelaciones y la evaluación de los resultados obtenidos después de cada uno de los análisis de éstas, generadas en el proceso de la obtención del parámetro que será la pieza clave para determinar el aspecto cuya variabilidad es la base de estudio para la solución del problema.

De esta manera y analizando la situación actual en nuestro país es conveniente la creación de pequeñas entidades que estudien las condiciones de estos lugares específicamente y que se gestionen proyectos de investigación cuyo énfasis sean las necesidades de aquellas zonas que han sido abandonadas por las autoridades las cuales no cuentan con la prestación de los servicios esenciales, es de suma importancia que se realicen proyectos que busquen encontrar una solución a la problemática que se vive hoy en día en estos lugares, y que a través de la investigación se llegue a la obtención de teorías que justifiquen a través de métodos aplicables a estos lugares la solución de sus problemas. En este documento se estudia la forma de encontrar una estrategia para el abastecimiento de agua en zonas aisladas las cuales presentan un bajo índice poblacional, dicha técnica debe ser aplicable para estos sitios que como se menciona anteriormente han sido excluidos de los planes y proyectos de mejoramiento de las condiciones por parte de las administraciones competentes.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas de acueducto y alcantarillado son uno de los elementos fundamentales de saneamiento básico y agua potable. Su correcto diseño e implementación no solo permiten proveer de agua potable a las poblaciones, sino también el correcto tratamiento de las aguas residuales de manera tal que se reduzca el riesgo de enfermedades y se proteja el medio ambiente (RAS, 2000). Para llevar a cabo el diseño de un sistema de acueducto y alcantarillado es necesario tener en cuenta el tamaño de la población y la estimación de la misma para el periodo de funcionamiento del sistema, la topografía, hidrología, y, en general, las características físicas de la región, con el fin de establecer las posibles fuentes de agua que abastecerán a la comunidad y las estructuras que deberán utilizarse para tal fin. En la actualidad, en países como Colombia, los sistemas de acueducto y alcantarillado han mejorado significativamente, sin embargo, existen muchas regiones del país en las que dichos sistemas se encuentran en muy mal estado y no logran satisfacer las necesidades de las poblaciones que abastecen, o en su defecto, ni siquiera cuentan con estos servicios.

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios previos y la información relevante, el diseñador debe generar diferentes alternativas de diseño para los proyectos de sistemas de acueductos, de tal forma que puedan ser evaluadas dentro de un proceso de optimización financiera que permita escoger aquella de menor costo, la cual debe ser objeto del diseño definitivo (EEPPM, 2006, p.39). Según lo dicho anteriormente, y acorde con los proyectos que se han venido desarrollando en la última década en el sector de agua potable y saneamiento básico, se presenta a continuación un proyecto que busca de manera especial el diseño de un sistema específicamente para aquellos sectores que poseen un bajo índice poblacional y que por lo tanto es muy difícil la obtención de un modelo que al ser aplicado el sistema tradicional de diseño el cual rige el saneamiento básico en Colombia llegue a cumplir con todas las normas y requerimientos vigentes. Por esto se hace necesario por medio de un trabajo de investigación crear dicha estrategia que busque cuáles son los parámetros claves que deben ser trabajados y modificados para llegar a un diseño que cumpla y que garantice el abastecimiento de una población con un nivel poblacional bajo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Establecer una aproximación metodológica para diseñar un sistema de acueducto de baja densidad de población aplicando la normatividad existente y las tecnologías actuales de cálculo.

### **Objetivos específicos**

1. Recopilar información a través de la cual se pueda llegar a determinar las características de la zona para la cual se realizará el diseño tales como topográficas, geográficas, económicas entre otras, las cuales son necesarias para diseñar un sistema de acueducto.

2. Estimar un caudal de diseño óptimo capaz de abastecer la red de distribución modelada con la poca información existente con el fin de resolver la gran incertidumbre referente al caudal.

3. Crear una estrategia la cual al ser utilizada pueda arrojar como resultado un diseño óptimo el cual se ajuste a las especificaciones dentro de la normatividad existente en Colombia, debido a que no tiene en cuenta dentro de su metodología las zonas de baja densidad poblacional.

4. Encontrar aquellos parámetros que son la base dentro de los distintos procesos que conforman el diseño, los cuales al ser modificados son capaces de arrojar resultados satisfactorios.

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Población de diseño

Para efectuar la elaboración de un proyecto de abastecimiento de agua potable es necesario determinar la población futura de la localidad, así como de la clasificación de su nivel socioeconómico dividido en tres tipos: Popular, Media y Residencial. Igualmente se debe distinguir si son zonas comerciales o industriales, sobre todo, al final del periodo económico de la obra. (Rodríguez., 2010)

Los requisitos necesarios para iniciar un estudio y elaboración de un proyecto de agua potable rural en las localidades rurales concentradas es que exista en éstas una población entre 150 y 3000 habitantes, y además que en un kilómetro de calle o camino tenga una concentración no menor a 15 viviendas. Luego, entre las consideraciones más relevantes que se pueden mencionar como criterio de elegibilidad para la construcción de un sistema de agua potable rural, primero y esencial para llevar a cabo el proyecto, es que la población mantenga una residencia permanente en la localidad, segundo, como determinante para la rentabilidad del proyecto es la capacidad económica de la población, es decir, que los gastos de explotación del servicio puedan ser asumidos por los usuarios del sistema, otro punto a considerar son los índices de enfermedades a raíz del consumo de agua contaminada, y por último, la rentabilidad del proyecto tomando como parámetro que la tasa interna de retorno sea superior al 12%, siendo éste decisivo al momento de habilitar el proyecto. (González & Parada, 2008)

### ***1.1.1. Estimación de la población***

#### ***1.1.1.1. Censos***

RAS (2000) afirma:

Deben recolectarse los datos demográficos de la población, en especial los censos de población del DANey los censos disponibles de suscriptores de acueducto y otros servicios públicos de la localidad o localidades similares. Con base en los datos anteriores deben obtenerse los parámetros que determinen el crecimiento de la población. (p. B. 29)

#### ***1.1.1.2. Densidades actuales y futuras***

Teniendo en cuenta la identificación de las zonas actuales de la población y las zonas de expansión futuras, la densidad actual y la densidad proyectada deben hallarse con base en la población actual y futura de las zonas con el objeto de verificar la expansión real del sistema de acueducto. Debe tenerse en cuenta la distribución espacial de la población, identificando los diferentes usos de la tierra, tipos de consumidores y la distribución espacial de la demanda. (RAS, 2000, p. B. 29)

### ***1.1.2. Métodos de cálculo***

El método de cálculo para la proyección de la población depende del *nivel de complejidad del sistema* como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X

Fuente. RAS (2000)

Se calculará la población utilizando por lo menos los siguientes modelos matemáticos: Aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. Los datos de población deben estar ajustados con la población flotante y la población migratoria. En caso de falta de datos se recomienda la revisión de los datos de la proyección con los disponibles en poblaciones cercanas que tengan un comportamiento similar al de la población en estudio. (RAS, 2000, p. B. 30)

Tabla 2. Ecuaciones de cálculo para la proyección de la población

<i>El Método Aritmético</i>	$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} x (T_f - T_{uc})$
<i>El Método Geométrico</i>	$P_f = P_{uc} (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$ <p>Tasa de crecimiento anual</p> $r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$
<i>El Método exponencial</i>	$P_f = P_{ci} * e^{k * (T_f - T_{ci})}$ <p>Tasa de crecimiento de la población</p> $k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$
<i>Método estadístico</i>	<p>Línea recta: <math>y = a + bx</math></p> <p>Exponencial: <math>y = ae^{bx}</math></p> <p>Logarítmica: <math>y = a + b \ln(x)</math></p> <p>Potencial: <math>y = ax^b</math></p>

Fuente. RAS (2000)

Según el RAS (2000):

#### ***1.1.2.1. El Método Aritmético***

Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración.

#### ***1.1.2.2. El Método Geométrico***

Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades

#### ***1.1.2.3. El Método exponencial***

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población.

#### ***1.1.2.4. Método estadístico:***

Se utilizan expresiones matemáticas teniendo en cuenta los valores históricos.

#### ***1.1.2.5. El Método Gráfico***

Se utiliza principalmente cuando la información censal es insuficiente o poco confiable, lo cual hace que las proyecciones geométricas y exponenciales arrojen resultados que no corresponden con la realidad. (p. 30 – 31)

### ***1.1.3. Método de áreas y densidades (exclusivo para fraccionamientos)***

Este método consiste en tomar una zona poblada representativa de acuerdo con el uso y tenencia del terreno para calcular la población asentada con su superficie respectiva, obteniéndose una densidad bruta al dividir la población actual entre la superficie bruta y aplicar este coeficiente posteriormente a superficies futuras por servir. Es muy importante para la aplicación de este método disponer de un levantamiento catastral y predial complementado con un plano regulador que indique limitación de las zonas de desarrollo. Cualquier método que se aplique, solamente dará resultados orientadores, pues es fácil entender que resulta casi imposible precedir el futuro, sobre todo tratándose de crecimiento de la población.

Para encontrar la población futura o de proyecto, por el método aquí señalado, procederemos a eliminar la Población que resulte **menor** y la **mayor**, procediéndose a tomar un promedio y de esta forma se obtendrá la población futura para nuestro proyecto. Para conocer la población futura o de proyecto para un fraccionamiento se recomienda aplicar el método de áreas y densidades exclusivamente. (Rodríguez, 2010)

### ***1.1.4. Período diseño***

Se entiende por Período Diseño el tiempo en el cual se estima que las obras por construir serán eficientes. El período de diseño es menor que la Vida Útil o sea el tiempo que razonablemente se espera que la obra sirva a los propósitos sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados que hagan antieconómico su uso o que se requieran ser eliminadas por insuficientes. (Rodríguez, 2010)

Para dar inicio al estudio y confección de un proyecto de agua potable, se debe decidir el período de tiempo que las instalaciones estarán en funcionamiento, esto implica que deben cumplir con un servicio adecuado para la comunidad en ese lapso de tiempo. Las limitaciones de un proyecto de distribución de agua potable, son: su vida útil, su costo inicial, las facilidades que el diseño de la red otorgue a posible ampliaciones, y que alguno de sus componentes quede obsoleto ante nuevas tecnologías. (González & Parada, 2008)

## 1.2. Caudales de diseño

Tabla 3. Ecuaciones para cálculo de caudales de diseño

<b>Caudal medio diario</b>	$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400}$
<b>Caudal máximo diario</b>	$QMD = Q_{md} \cdot k_1$
<b>Caudal máximo horario</b>	$QMH = QMD \cdot k_2$

Fuente. RAS, 2000

### 1.2.1. Caudal medio diario

“El caudal medio diario,  $Q_{md}$  es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada”(RAS, 2000, p. B. 37).

### **1.2.2. Caudal máximo diario**

“El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año”(RAS, 2000, p. B. 37).

### **1.2.3. Caudal máximo horario**

“El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio”(RAS, 2000, p. B. 37).

## **1.3. Hidráulica de tuberías**

La hidráulica es la parte de las Mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de fluidos con aplicación a los problemas de naturaleza práctica (conducciones, abastecimientos, riegos, saneamientos, etc.).Partiendo de la Mecánica racional, deduce, auxiliada por la experiencia, las fórmulas que permiten resolver los problemas de índole práctico con que a diario se encuentra el técnico. Se estudian los líquidos como si fueran fluidos perfectos (homogéneos, no viscosos e incompresibles) y se les aplica las leyes de la Mecánica, corrigiendo las formulas con coeficientes determinados empíricamente para que se ajusten a la realidad. Por lo tanto, la hidráulica es una ciencia aplicada y semiempírica (Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola de ciudad real, s.f., p. 1). La parte de la hidráulica que estudia las condiciones de equilibrio de los fluidos se llama Hidrostática o estática de fluidos, mientras que la hidrodinámica se ocupa del movimiento de los mismos. (Ibíd., p. 2)

### ***1.3.1. Ecuación de Darcy – Weisbach (1845)***

Es la ecuación de resistencia fluida más general para el caso de tuberías circulares fluyendo a presión, permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción, la cual resulta de aplicar las leyes físicas de Newton al fluido en movimiento. (Ven Te Chow., 1982, Sotelo, 1999 & Rocha, 1978)

$$h_f = f \frac{l v^2}{d 2g}$$

Ecuación 1.Darcy – Weisbach

### ***1.3.2. Ecuación de Colebrook-White***

Es una fórmula usada en hidráulica para el cálculo del factor de fricción de Darcy también conocido como coeficiente de rozamiento. (Rocha, A.1978)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left\{ \left[ \frac{\frac{k}{D}}{3,71} \right] + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right\}$$

Ecuación 2.Colebrook-White

### ***1.3.3. Método del Gradiente(1987)***

Todini&Pilati (citados por Carvajal, Espinoza & García, 2011) afirman que en este método se combinan las ecuaciones individuales de energía para cada tubo con las ecuaciones individuales de pérdida de carga para cada unión, con el fin de obtener una solución simultánea tanto de los caudales en las tuberías como de las alturas piezométricas en los nodos.

En este método las ecuaciones de energía son linealizadas utilizando una expansión en series de Taylor y se resuelven utilizando un esquema iterativo que se basa en la inversión de la matriz de coeficientes originales(Carvajal, Espinoza & García, 2011).Hasta el momento, el método del gradiente es el más completo y el que presenta mayor eficiencia con respecto a los otros métodos de cálculo de redes de distribución.

## **1.4. Epanet, USEPA (EUA)**

Alfonso(2002) afirma:

EPANET es una aplicación que realiza simulaciones en periodo extendido (o cuasi estático) del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes y tuberías a presión; permitiendo seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, la presión en los nudos de demanda, el nivel del agua en los depósitos y la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación. Además de las concentraciones, permite determinar el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde los distintos puntos de alimentación.

En EPANET se coordina la modelación del comportamiento hidráulico de la red y la calidad del agua, el programa se ha concebido para obtener simultáneamente la solución de ambos problemas. Sin embargo, como alternativa, puede también calcular solamente la parte hidráulica y almacenar los resultados en un fichero, o utilizar un fichero hidráulico previamente almacenado para llevar a cabo una simulación de la calidad del agua.

EPANET ha sido desarrollado por la Agencia de protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (USEPA por sus siglas en inglés), y es utilizado por diversas compañías del sector del agua como programa de cómputo para la simulación y modelo de redes hidráulicas.

Entre sus principales ventajas está un módulo de cálculo confiable y facilidades para simular elementos de la red como son válvulas, bombas, tanques, etc. permitiendo que estos elementos trabajen siguiendo normas fijadas por el usuario y vinculadas al comportamiento de la red en cada momento, como puede ser el ejemplo de bombas que arrancan y paran de acuerdo al nivel en un tanque, o válvulas que operan a horas predeterminadas.

Por otra parte, permite trabajar con el sistema de unidades internacionales o inglesas, además, está diseñado para utilizar cualquiera de las tres principales ecuaciones de cálculo Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning para tubería llena.

Otra ventaja significativa es que EPANET permite el intercambio de ficheros con aplicaciones GIS (Sistemas de Información Geográfica), estas aplicaciones vinculan información gráfica con bases de datos de los componentes de la red y los usuarios, así como otros parámetros importantes, que son utilizados para realizar análisis hidráulicos. Entre los inconvenientes de este software está el poco amigable sistema de entrada de datos. (p. 2 – 3)

## **1.5. Últimastecnologías**

Este artículo fue tomado con el fin de mostrar que a nivel nacional internacional existen entidades cuyo común denominador es la preocupación por la falta de cobertura del servicio de agua específicamente en zonas rurales pequeñas y que por esta razón están gestionando y creando estrategias para suplir esta necesidad, a continuación se describe una técnica utilizada en sitios rurales la cual cumple con el objetivo que fue abastecer la población.

### ***1.5.1. Pequeños Sistemas de Abastecimiento de Agua para Múltiples Localidades - Un Nuevo Reto***

#### *1.5.1.1. Iniciativas para Pequeñas Ciudades y Múltiples Localidades*

El Programa de Agua y Saneamiento (PAS), en colaboración con el Grupo Temático sobre Agua y Saneamiento Rural (GTASR) del Banco Mundial, está estudiando y documentando modelos de gestión y servicios de apoyo profesional adecuados para sistemas de suministro de agua destinados a pequeñas ciudades y múltiples localidades con resultados sostenibles.

Los sistemas para pequeñas ciudades y múltiples localidades brindan servicios a asentamientos que son lo suficientemente grandes y densos para beneficiarse de las economías de escala ofrecidas por los sistemas con tuberías pero demasiado pequeños y dispersos para ser gestionados eficientemente por una empresa de agua urbana convencional. Ellos requieren estructuras administrativas formales, una base legal para la propiedad y la administración así como la capacidad de ampliarse para cubrir la creciente demanda de agua. El estudio fue iniciado en respuesta a un pedido de la oficina de Nueva Delhi del Banco Mundial. Las lecciones aprendidas del viaje de estudio y los casos de Colombia, Perú y Costa de Marfil son relevantes

para diseñar modelos institucionales y financieros adecuados para sistemas de abastecimiento para múltiples localidades - una opción que surge cuando las fuentes de agua locales son escasas o no son adecuadas para el consumo humano o cuando un sistema de tuberías sólo es factible si un grupo de pequeñas comunidades reúne sus recursos.

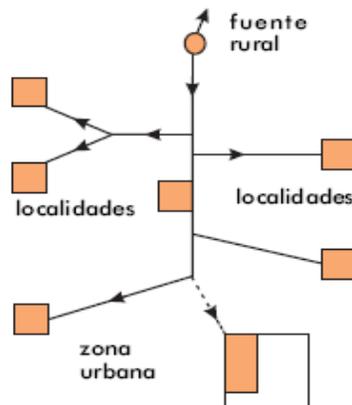
### 1.5.1.2. Definición del Sistema de abastecimiento para múltiples localidades

El escenario del agua rural está desplazándose crecientemente hacia sistemas de tuberías como resultado de una mejora en los niveles de vida y las mayores aspiraciones de la población rural. Allí donde las fuentes de agua locales son escasas o no son adecuadas para el consumo (por ejemplo, en cinturones salinos o en áreas afectadas por fluoruros o arsénico), la única opción que queda es la de un sistema que atiende a múltiples localidades.

Si esta fuente se encuentra muy lejos o a mucha profundidad, la economía de escala establece que más de una población debe ser servida por este sistema. En la figura 1 y 2 se muestran dos tipos de sistemas de distribución diferentes:

1. Una fuente rural abastece a varias localidades y posiblemente a una serie de zonas urbanas. El cual es el único tipo de sistema representado en este estudio.

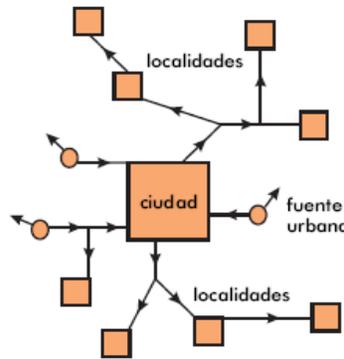
Figura 1. Fuente rural abasteciendo a varias localidades



Fuente. Programa de Agua y Saneamiento (PAS) & Banco Mundial (GTASR).

2. Un servicio de agua diseñado principalmente para una gran ciudad también abastece a las comunidades rurales circundantes. Este tipo de sistema, en el que una empresa pública se responsabiliza de la gestión, pero no está representado en este estudio.

Figura 2. Fuente urbana que abastece a varias localidades



Fuente. Programa de Agua y Saneamiento (PAS) & Banco Mundial (GTASR).

### 1.5.1.3. Tipos de Gestión

El tipo de estructura de gestión que se adopte tiene consecuencias en todas las etapas del ciclo del proyecto, incluyendo el financiamiento de los costos de infraestructura, la preparación, movilización, la administración de la construcción y la administración/ operación del sistema.

### 1.5.1.4. Asociación de Usuarios de Agua a nivel Comunitario

Son una forma efectiva para la gestión de pequeños sistemas de abastecimiento a múltiples localidades. Esta nota de campo de basa en estudios de casos de Colombia y Perú, con tamaños que varían de 1,350 conexiones (unas 11,100 personas) en 15 localidades y 6 zonas urbanas hasta 457 conexiones (unas 3,000 personas) en 5 localidades.

#### *1.5.1.5. Perfil del País*

Debido que este trabajo de investigación tiene como prioridad el estudio de las zonas más pequeñas en cuanto a su población y con el fin de exponer la técnica del sistema de abastecimiento para múltiples localidades se tomó el estudio de caso: Asociación de Usuarios del Acueducto de Guachavita (Colombia), al cual se implementó el sistema, aparte de todos los casos de estudio es el que cuenta con características de densidad poblacional más baja.

El sistema de abastecimiento de agua de Guachavita está ubicado en las áreas rurales del pueblo de Fómeque (17 000 habitantes, provincia de Cundinamarca), en el centro noroccidental montañoso del país, y ha estado en funcionamiento desde 1982. Antes de la construcción del sistema de abastecimiento de agua, el consumo de agua superficial no segura daba como resultado muchos problemas de salud, incluyendo el bocio.

El sistema fue iniciado por la comunidad en 1978 con el apoyo del Fondo de Desarrollo Rural Integrado (DRI) del Ministerio de Agricultura, el Instituto Nacional de Salud, que brindó asesoría sobre asuntos legales y administrativos, y el Fondo de Acueducto y Alcantarillado de Cundinamarca, que brindó los servicios de ingeniería y la asistencia financiera.

La comunidad aportó la mano de obra durante la construcción y una parte de los costos. El costo total del sistema fue de US\$ 406 000. El sistema atiende a 3000 pobladores de cinco localidades. Existen 457 conexiones (438 casas, 7 escuelas y 12 industrias). Esto cubre 26% de toda la población rural alrededor de Fómeque, de la cual 65% está dispersa y 35% forma parte de un núcleo. La fuente de agua es una toma en el río Negro. El sistema es alimentado por gravedad, tiene una cámara de desarenado con una capacidad de 20 litros por segundo, una línea de suministro de PVC de 22 km que abastece a cuatro tanques de almacenamiento de 100 m<sup>3</sup> y una red de distribución de PVC de 20 km. Todas las conexiones cuentan con medidores. Actualmente se está construyendo una planta de tratamiento para mejorar la calidad del agua. Tendrá una capacidad de 16,5 litros por segundo con cloración manual.

### *1.5.1.6. Panorama internacional*

A continuación se exponen algunos casos de estudio en otros países que también implementaron el sistema de sistema de abastecimiento para múltiples localidades y que presentan características de poblaciones bajas.

#### *1.Sistemas para múltiples localidades en Costa de Marfil*

##### *a) BobouoBahouan*

El sistema de abastecimiento de agua de BobouoBahouan, en la parte central occidental de Costa Marfil viene funcionando desde 1995.

El sistema atiende a más de 60% de los 25,241 pobladores de 5 localidades. Existen 199 conexiones, de las cuales 18 han sido retiradas debido al incumplimiento en el pago. En este sistema, una conexión puede servir a más de una familia. La fuente de agua es un pozo perforado que suministra hasta 9 m<sup>3</sup>/h. El sistema cuenta con un reservorio de 50 m<sup>3</sup> y una red de distribución de 12.45 km con tuberías de PVC. El agua es clorada antes de su distribución. El bombeo del sistema es automático y requiere poca intervención. El costo total del proyecto fue de \$123,000.

##### *b) Pacouabo*

El sistema de abastecimiento de agua de Pacouabo, en la parte central de Costa de Marfil, funciona desde 1984. El sistema atiende a 67% de los 4.235 pobladores de tres localidades. Existen 292 conexiones. La fuente de agua es un pozo perforado cuya producción ha descendido a 4 m<sup>3</sup>/h. Cuenta con un reservorio de cemento de 80 m<sup>3</sup> y una red de distribución de 7,5 km de tuberías de PVC. El agua es clorada antes de su distribución. El bombeo del sistema es automático y requiere poca intervención. El costo total del proyecto fue de US\$ 96 000.

## 2. Estudio de Caso Asociación de Saneamiento y Agua Potable de El Ingenio (Perú)

El sistema de abastecimiento de agua de El Ingenio está localizado en el distrito rural de El Ingenio (provincia de Nasca, departamento de Ica), en la costa central del Perú. El sistema funciona desde 1995. Antes de la construcción del sistema se recolectaba sin tratar de pozos situados en propiedades privadas de difícil acceso. El sistema suministra agua a 3.214 personas en 10 centros poblados del distrito. Existen 583 conexiones.

La fuente de agua es una toma en el río El Ingenio. El sistema es alimentado por gravedad. Tiene una tubería de abastecimiento de PVC de 27,3 km, un reservorio superficial y cinco reservorios elevados con una capacidad total de 150 m<sup>3</sup>, y una red de distribución de 19,6 km con tuberías de PVC. El sistema tiene nueve tanques reguladores de presión. El flujo se mide en cada uno de los reservorios. No existen medidores individuales.

Tabla 4. Datos comparativos a nivel nacional e internacional

<b>Datos comparativos de Colombia, Perú y Costa de Marfil</b>							
Nombre (inicio)	Zonas atendidas	Población atendida/ No. de conexiones/ (No. de conex. proyectado si se cuenta con el dato)	Costos de inver. (US \$) en base a pob. real/ (pob. proyectada)	Aspectos técnicos: tubería principal y tubería secundaria (Km)/ No.de tanques/ tratamiento	Fuente y Sistema	Tipo de administ./ Situación legal	Situación financiera y calidad del servicio
Guachavita Colombia (1982)	5 localid.	3,000 457 conexiones	\$ 406,000 \$ 135 per capita	22 Km y 20 Km 4 tanques (400 m <sup>3</sup> cap.) planta de tratamiento	Río Gravedad	Asoc.Usuarios Propiedad de la comunidad	\$ 4,977 de utilidades en 1999. La satisfacción de los usuarios se refleja e el bajo nivel de morosidad (15%).
El Ingenio Perú (1995)	10 localid.	3,214 583 conexiones	\$ 347,000 \$ 108 per capita	27 km y 20 Km 6 tanques (150 m <sup>3</sup> cap.) desinfección	Río Gravedad	Asoc.Usuarios Propiedad de la comunidad	Rentable (\$ 2,000 en ahorros). Buen servicio. 15% de morosidad.
Bobouo Bahouan Costa de Marfil (1995)	5 localid.	Unos 2,000 199 conexiones	\$ 123,000 \$ 61 per capita	12 Km línea distrit. 1 tanque (50 m <sup>3</sup> cap.) cloración	Pozo Gravedad	Empresa (concesión) Prop. del gob	No rentable. Pérdida ocasional de servicio, pero satisfacción de los usuarios. 2% de morosidad
Pacouabo Costa de Marfil (1984)	3 localid.	Unos 3,000 292 conexiones	\$ 96,000 \$ 32 per capita	8 Km línea distrit. 1 tanque (80 m <sup>3</sup> cap.) cloración	Pozo Gravedad	Empresa (concesión) Prop. del gob	Rentable. Pérdida ocasional de pero satisfacción de los usuarios. 3% de morosidad.

Fuente. Programa de Agua y Saneamiento (PAS) & Banco Mundial (GTASR).

#### *1.5.1.6. Análisis de los factores impulsores para la realización de un proyecto para múltiples localidades*

Los sistemas para múltiples localidades generalmente surgen de iniciativas comunales conjuntas, que empiezan con la búsqueda de una solución al problema común de escasez de agua y/o un mayor nivel de servicio. Un sistema para múltiples localidades puede surgir por una serie de razones:

- a) *Cobertura.* En áreas con pocas fuentes de agua, los sistemas para múltiples localidades brindan una solución práctica para una cobertura más amplia entre localidades vecinas.
- b) *Liderazgo.* Para iniciar un proyecto de abastecimiento de agua, se necesita una buena capacidad de negociación para abrir el diálogo con las agencias cooperantes y para movilizar los recursos financieros y la participación de la comunidad. Estas cualidades de liderazgo con frecuencia son escasas en las localidades pequeñas, pero se fortalecen cuando se agrupan varias localidades.
- c) *Calidad del servicio.* La opción de un sistema con tuberías tiene poca probabilidad de estar disponible para una comunidad pequeña, pero puede justificarse cuando se unen varias localidades. Además, las comunidades necesitan tomar decisiones informadas sobre el tipo de sistema y el nivel de servicio que podrán mantener. Cuando varias localidades se juntan, no sólo tienen un liderazgo más fuerte sino que también pueden contar con una gama más amplia de candidatos para seleccionar un personal profesional de más alta calidad para la operación y el mantenimiento del sistema y para su gestión financiera. El empleo de personal calificado con experiencia adecuada es la base para la sostenibilidad de sistemas

gestionados por comunidades. Luego es posible contratar los servicios de apoyo profesional según se necesiten.<sup>1</sup>

### ***1.5.2. Abastecimiento de agua potable en zonas rurales***

Para el diseño de un Sistema de Agua Potable en la zona rural se requiere de una serie de normas y criterios que no necesariamente deben ser las normas del sector urbano, debido a que existen diferencias en ambos medios, considerando dentro de esas diferencias los factores culturales, económicos y sociales.

Se incluye la proyección de población considerando los métodos más comunes que se utilizan y que son aplicables al sector rural, también se incluye dotación y población a servir en donde lo reflejado es la experiencia de muchos años así como estudios realizados en el campo como soporte a lo señalado en el documento. El análisis de la línea de conducción y red de distribución se realizará aplicando la fórmula Hazen – Williams, y el método de Hunter. De acuerdo a las características físicas de la localidad los sistemas podrán ser abiertos o cerrados.

Los criterios de almacenamiento son los que se aplican para determinar la capacidad del tanque y que brinda buenos resultados una vez funcionando el sistema.

Este resumen contiene los principales criterios de diseño, para la elaboración de Proyectos de Agua Potable en la zona rural dispersa, y que comprende: Miniacueductos por gravedad (MAG), Miniacueducto por Bombeo Eléctrico (MABE), captaciones de manantial (C.M), pozo Excavado a mano (PEM) y Pozo Perforado (PP).

---

<sup>1</sup> Este artículo fue creado por el Programa de Agua y Saneamiento (PAS) & Banco Mundial, Grupo Temático sobre Agua y Saneamiento Rural (GTASR). (2005). Pequeños Sistemas de Abastecimiento de Agua para Múltiples Localidades - Un Nuevo Reto. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd16/pequenos.pdf>

### 1.5.2.1. Proyección de la población

La población a servir es el parámetro básico, para dimensionar los elementos que constituyen el sistema. La metodología generalmente aplicada, requiere la investigación de las tasas de crecimiento histórico, las que sirven de base para efectuar la proyección de población.

- *Cálculo de Población*

Para el cálculo de las poblaciones futuras se usará el método geométrico expresado por la fórmula siguiente:

$$P_n = P_o (1+r)^n$$

Ecuación 3. Cálculo de Población

Dónde:

$P_n$  = Población del año “n”

$P_o$  = Población al inicio del período de diseño

r = Tasa de crecimiento en el periodo de diseño expresado en notación decimal.

n = Número de años que comprende el período de diseño.

Si no se dispone de datos de población al inicio del período de diseño, deberá efectuarse un censo poblacional por medio de los representantes comunitarios o promotores sociales, previamente entrenados. Conviene conocer la tasa de crecimiento histórico nacional, para compararla con la obtenida en cada caso particular. Los valores anuales varían de 2.5% a 4%. El proyectista deberá justificar la adopción de tasas de crecimiento diferente a los valores indicados.

Se procede al cálculo de la dotación y de la población a servir. Dentro de los parámetros de diseño se encuentran:

#### *1.5.2.2. Periodo de diseño*

En los diseños de proyectos de Abastecimiento de Agua se recomienda fijar la vida útil de cada uno de los componentes del sistema, con el propósito de:

- a) Determinar que períodos de estos componentes del Sistema, deberán satisfacer las demandas futuras de la comunidad.
- b) Qué elementos del sistema deben diseñarse por etapas
- c) Cuáles serán las previsiones que deben de considerarse para incorporar los nuevos elementos al sistema.

El período de diseño económico de la red de distribución de un sistema de abastecimiento de agua potable es de 15 años.

#### *1.5.2.3. Variaciones de consumo*

Las variaciones de consumo estarán expresadas como factores de la demanda promedio diario, y sirven de base para el dimensionamiento de la capacidad de: obras de captación, línea de conducción y red de distribución, etc.

Estos valores son los siguientes:

Consumo máximo día (CMD)= 1.5 CPD (Consumo promedio diario)

Consumo máximo hora (CMH)= 2.5 CPD (Consumo promedio diario)

Posteriormente se procede al cálculo de las presiones máximas y mínimas: Para brindar presiones adecuadas en el funcionamiento del sistema de abastecimiento se recomienda que éstas se cumplan dentro de un rango permisible, en los valores siguientes:

Presión Mínima: 5.0 metros

Presión Máxima: 50.0 metros

Se evalúa Coeficiente de Rugosidad de Hazen -Williams para los diferentes tipos de materiales en los conductos.

#### *1.5.2.4. Velocidades permisibles en tuberías*

Se recomienda fijar valores de las velocidades del flujo en los conductos en un rango para evitar erosión interna o sedimentación en las tuberías. Los valores permisibles son los siguientes:

Velocidad mínima = 0.4 m/s

Velocidad máxima = 2.0 m/s

#### *1.5.2.5. Cobertura de Tuberías*

Para sitios que correspondan a cruces de carreteras y caminos con mayor afluencia de tráfico se recomienda mantener una cobertura mínima de 1.20 metros sobre la corona de las tuberías, y en caminos de poco tráfico vehicular, una cobertura de 1.0 metro sobre la corona del tubo.

#### *1.5.2.6. Pérdidas de Agua en el Sistema*

Cuando se proyectan Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, es necesario considerar las pérdidas que se presentan en cada uno de sus componentes, la cantidad total de agua perdida se fija como un porcentaje del consumo promedio diario cuyo valor no deberá ser mayor del 20%.

#### *1.5.2.7. Miniacueductos por Bombeo Eléctrico (MABE)*

Esta opción será considerada solo en los casos en que exista: (1) Disponibilidad de fuente de abastecimiento; (2) Disponibilidad de energía eléctrica y (3) Capacidad de pago de la comunidad. Si no se puede aplicar ésta opción se procurará adoptar cualquiera de los otros tipos de sistemas. Si no existe otra opción técnica y económicamente más aceptable entonces se realizará la perforación de uno o más pozos. Los criterios de aceptación del pozo serán los siguientes:

- a) El caudal de explotación será obtenido a través de una prueba de bombeo de un mínimo de 24 horas a caudal constante y de una prueba a caudal variable con mínimo de cuatro etapas de una hora cada una. La recomendación del caudal máximo de explotación se hará de acuerdo al análisis de la prueba.
- b) El caudal de explotación de bombeo estará en función de un período de bombeo mínimo de 12 horas y un máximo de 16 horas.
- c) El caudal máximo recomendado de la explotación de un pozo deberá ser igual o superior a 1.5 del consumo día promedio (QDP).
- d) Disposición de la comunidad para operar y mantener el sistema.

La línea de conducción y red de distribución, junto con la fuente, forman la parte más importante del sistema de abastecimiento de agua, ya que por su medio el agua puede llegar hasta los usuarios.

#### *1.5.2.8.Red de distribución*

Para su diseño deberá considerarse los aspectos siguientes:

- a) Se deberá diseñar para la condición del consumo de hora máxima al final del periodo de diseño, el cual resulta al aplicar el factor de 2.5 al consumo promedio diario ( $CHM=2.5CPD$ , más las pérdidas).
- b) El sistema de distribución puede ser de red abierta, de malla cerrada o una combinación de ambos.
- c) La red se deberá proveer de válvulas, accesorios y obras de arte necesarias, para asegurar su buen funcionamiento y facilitar su mantenimiento.

Para el análisis de la red deben considerarse los casos de red abierta (Ramificada) y de malla cerrada. Para el primer caso el análisis puede efectuarse de dos maneras.

- a) Aplicando una fórmula en la cual se calcula las pérdidas por fricción en metros
- b) **Método de Hunter**

**Método de Hunter** Este es un método probabilístico, que establece que un sistema trabajará eficientemente, si contando con “n” artefactos se diseña para “m” de ellos funcionando aproximadamente durante 15 minutos, o sea que da la demanda máxima que probablemente se

presentará durante 15 minutos, sin tomar en cuenta picos mayores que darían un diseño antieconómico.

La demanda máxima se determina calculando el total de unidades de gasto o Unidades Hunter (U.H = 28 litros/minuto) en función del número y tipos de artefactos a servir. Con el auxilio de las dos tablas siguientes se determina la demanda máxima probable.<sup>2</sup>

Tabla 5. Unidades de descarga

ARTEFACTOS	UNIDADES HUNTER
Grifo	1.00
Lava- manos	1.00
Lava- trastos	1.50
Lava- ropas	2.00
Ducha	2.00
Inodoros	3.00

Fuente. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados

Tabla 6. Gastos probables en litros/segundo en función del número de unidades de gasto

No. De Unidades	Gasto probable en Litros/Segundo	No. De Unidades	Gasto probable en Litros/Segundo	No. de Unidades	Gasto probable en Litros/Segundo
3	0.20	16	0.76	36	1.42
4	0.26	18	0.83	38	1.46
5	0.38	20	0.89	40	1.52
6	0.42	22	0.95	42	1.58
7	0.46	24	1.04	44	1.63
8	0.49	26	1.11	46	1.69
9	0.53	28	1.19	48	1.74
10	0.57	30	1.26	50	1.80
12	0.63	32	1.31	55	1.94
14	0.70	34	1.36	60	2.08

Fuente. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados

<sup>2</sup>Este artículo fue creado por el INAA (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados). (s.f.). Abastecimiento de agua. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/potabili3.pdf>

## **CASO DE ESTUDIO**

El corregimiento de Las palmas es una de las tantas zonas de nuestro país que han sido condenadas al olvido del Estado y que además ha sido víctima del conflicto armado. Como es de esperarse, Las palmas no posee ningún sistema que permita la captación de agua potable y mucho menos, la recolección y evacuación de las aguas residuales. En vista de esto, y con el propósito de mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, buscando que esta zona logre obtener la prestación de los servicios públicos fundamentales para satisfacer las necesidades básicas y el regreso a las tierras de aquellas familias que fueron desplazadas durante el conflicto armado fue tomada como caso de estudio

### **2.1.Geografía de la zona**

Las Palmas, cuya cabecera municipal es San Jacinto, está ubicado al norte del departamento de Bolívar. San Jacinto está ubicado sobre la carretera Troncal de Occidente, en la región de los Montes de María.

Las palmas limita al norte con el municipio San Juan Nepomuceno, al este con los municipios Plato y Zambrano, al oeste con los municipios San Onofre (Sucre), y al sur con el municipio Carmen de Bolívar. Su localización astronómica es  $9^{\circ}51'22.15''$  de latitud Norte y  $75^{\circ}01'20.77''$  de longitud occidental del Meridiano de Bogotá.

Según estudios geológicos, esta zona del departamento de Bolívar está constituida, principalmente, por rocas sedimentarias que fueron depositadas en ambiente continental y marino. Las Palmas está ubicada a una altura de 198msnm. El recorrido entre San Jacinto y Las Palmas comprende una distancia de 15 Kilómetros (Geografía de Las palmas-San Jacinto, s.f.).

## **2.2.Economía**

Las actividades que gobiernan el sector económico de la región es la agricultura. Debido a las características geológicas e hídricas de la región, Las palmas está rodeado por tierras aun vírgenes, de gran riqueza, que actualmente son aprovechadas para el cultivo de productos como ñame, yuca y tabaco; también, se destaca el cultivo demaíz, plátano, algodón, entre otros no menos importante.

En determinado momento, la ganadería también fue una importante fuente de ingresos para el corregimiento. En la actualidad, se cría ganado porcino.

## **2.3.Saneamiento y agua potable**

A pesar que el municipio de San Jacinto ha logrado consolidarse entre los más destacados del departamento de Bolívar, hoy día no cuenta con el servicio de agua potable y alcantarillado, lo cual ha afectado considerablemente su progreso y por ende el de todos sus corregimientos, puesto que, tanto las actividades diarias domésticas, así como las actividades agrícolas, deben realizarse sin las condiciones sanitarias adecuadas. Desde años atrás, en varias ocasiones, se ha intentado poner en marcha la construcción del sistema de acueducto del municipio de San Jacinto, sin embargo, diferentes actos de corrupción cometidos por los gobernantes de turno y las empresas encargadas de llevar a cabo los proyectos, han impedido que esto sea posible.

Por otro lado, la ausencia de estos servicios pone en riesgo la salud de los habitantes de la zona, ya que los obliga a consumir agua sin tratar, con presencia de coliformes y ciertos compuestos que pueden llegar a afectar gravemente su salud.

Durante la época de invierno, los Palmeros recogen el agua que escurre de sus techos y la depositan en recipientes. Durante la época de sequía, que históricamente ha sido la más predominante en esta región, la mayor parte del agua que los Palmeros utilizan para llevar a cabo las actividades domésticas, la obtienen de los jagüeyes cercanos. Los jagüeyes, como comúnmente se les conoce, son charcos que permanecen en los cauces y quebradas aún en época de sequía; por lo general, se forman en lugares donde los estratos de roca afloran a la superficie y el agua subterránea es obligada a salir en forma de una especie de manantial.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>Información recopilada el día 17 de Abril de 2011, mediante una entrevista realizada al señor Benjamín Antonio Herrera Díaz de 90 años de edad; el cual formó parte del grupo fundador del corregimiento de Las Palmas.

## **METODOLOGÍA**

### **3.1. Recopilación de información**

#### ***3.1.1. Situación actual***

En la actualidad, un importante número de pueblos y/o veredas de Colombia poseen desfavorables condiciones de salubridad en lo que respecta a la obtención de agua potable y al manejo y tratamiento de las aguas residuales y pluviales, debido a la ausencia de un sistema de acueducto y alcantarillado. En algunos casos, algunas cabeceras municipales poseen sistemas en muy mal estado y que no han sido diseñados correctamente, por ende no logran satisfacer las necesidades de las poblaciones que abastecen.

Las Palmas, un corregimiento ubicado en el departamento de Bolívar, es uno de las tantas zonas de nuestro país que han sido condenadas al olvido del Estado y que además ha sido víctima del conflicto armado. Como es de esperarse, Las Palmas no posee ningún sistema que permita la captación de agua potable y mucho menos, la recolección y evacuación de las aguas residuales. En vista de esto, y con el propósito de mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, buscando que esta zona logre obtener la prestación de los servicios públicos fundamentales para satisfacer las necesidades básicas y el regreso a las tierras de aquellas familias que fueron desplazadas durante el conflicto armado a continuación se describirán cada uno de los procedimientos y métodos de cálculo llevados a cabo para diseñar, inicialmente, un sistema de acueducto cumpliendo con una modelación competente para lugares que poseen bajas, en este caso para el corregimiento, no sin antes mencionar las características físicas de la zona, su topografía, hidrología y demás aspectos que se han tenido en cuenta para llevar a cabo este proyecto, más específicamente, para determinar las posibles fuentes de abastecimiento de agua potable y la estructura óptima del trazado de la red.

### *3.1.2. Antecedentes históricos*

El corregimiento Las palmas fue fundado por los señores Domingo Estrada, Marcos Estrada y Valerio Caro, en el año 1776, con la ayuda de 8 familias que los acompañaron, provenientes de Ovejas, un municipio del departamento de Sucre. Las palmas, surgió como un asentamiento, donde personas libres se refugiaron y con el deseo de hallar nuevas fuentes de ingreso económico, que permitieran su supervivencia, se dedicaron a la siembra de productos agrícolas como el tabaco, maíz y ñame.

Años más tarde, debido al conflicto armado que ha azotado a Colombia por largo tiempo, el desarrollo económico de esta comunidad, así como el de Colombia en general, se vio afectado, y sus habitantes se vieron obligados a buscar nuevas formas de ingreso, así, surgió una economía más diversificada en la que la ganadería y la agricultura se abrían paso.

El nombre del corregimiento, Las palmas, se debe a que sus habitantes acostumbraban a descansar y buscar refugio del infernal sol, bajo las palmas que adornaban las calles de este corregimiento, antes de emprender su viaje hasta San Jacinto. Las palmas era una escala habitual para aquellos que se dirigían a San Jacinto y eran, precisamente, las palmas de esta zona, las que brindaban el sopor que las personas buscaban en las horas de la tarde.

En 1990, la población alcanzó los 5260 habitantes. No obstante, los problemas de violencia local, ocasionados por la llegada de los grupos al margen de la ley a la región de los Montes de María, ocasionaron un notable decaimiento económico, así como, una acelerada disminución de la población. Las palmas ya no era un sitio seguro para las familias que lo habitaban, pues cada día eran más frecuentes actos terroristas como masacres y secuestros, lo que generó terror en la mayoría de los Palmeros, quienes huían despavoridos. Las palmas se convirtió en un pueblo fantasma, y su población se redujo a 75 familias (176 personas).

En 1999, según datos arrojados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Las palmas sólo contaba con un número de 53 habitantes. Sin embargo, gracias al empuje de sus gentes, este corregimiento se ha ido recuperando en lo que respecta al sector económico, reactivando las actividades comerciales y agrícolas. Hoy en día, los Palmeros luchan contra la pobreza, pero sobre todo, contra el fenómeno de la corrupción, que cada día afecta en mayor medida el progreso de sus habitantes, y su calidad de vida.

Actualmente el corregimiento cuenta con cinco pequeños barrios: El boliche, Corea, Leticia, Las delicias y Primavera, habitados por 111 personas, aproximadamente. (Herrera, 2011)

### ***3.1.3. Problemática***

Las condiciones socioeconómicas del territorio Montemariano, muestran en los últimos veinte años una agudización de sus principales problemas. En efecto, de ser una región considerada una de las despensas agrícolas del Caribe Colombiano (ante la fertilidad de sus suelos), ha pasado a ser hoy día una con severas limitantes productivas para sus habitantes. En esta situación coinciden en el tiempo, el cambio de modelo económico en el cual la economía campesina y el desarrollo rural entran en crisis y la aparición del conflicto armado en la región con presencia de actores armados como las FARC, ELN y autodefensas, los cuales asociados al clientelismo y a una cultura premoderna en su entramado social, derivan hacia la situación de precariedad y vulnerabilidad existentes. Luego entonces es posible entender los altos niveles de pobreza (la población por debajo de la línea de pobreza en la región supera el 60% del total de habitantes), la aparición y consolidación del fenómeno del desplazamiento forzado (según estadísticas de Acción Social, la región se ubica entre las cinco primeras afectadas por el desplazamiento forzado), y un limitado crecimiento del capital humano regional.

Por otra parte, la carencia de bases de datos confiables de las variables más sensibles a la sociedad Montemariana, ha dificultado una cabal comprensión e interpretación de los factores desestabilizadores de la sociedad en la subregión, los que a su vez generan la violencia recurrente y reproducen pobreza y desesperanza en las familias Montemarianas. (Programa de Desarrollo y Paz de los Montes de María, 2005, p. 3 - 4)

Después de conocer de manera generalizada la situación tan desfavorable en la que transcurre la vida de estas personas, entidades de orden público y privado, al igual que grupos encargados del desarrollo y el progreso de comunidades destruidas por la violencia, se ha llegado al común acuerdo de ayudar de una u otra manera a cada uno de estos lugares tratando de alcanzar un sólo objetivo: tratar de mejorar las condiciones en la que se encuentran estos pueblos para brindarles a sus habitantes un nuevo estilo de vida, trabajar en cada uno de los aspectos que son indispensables para la supervivencia de estas familias, abrir nuevos caminos y mostrarle a estas personas que han perdido todas las esperanzas a causa de la violencia que existen nuevas alternativas y que no es demasiado tarde para volver a reconstruir la vida que algún día tenían y que se les fue arrebatada.

### **3.2. Análisis de información**

La información obtenida a través de las distintas visitas y entrevistas que se hicieron a las personas que actualmente habitan en el corregimiento, y aquella que fue suministrada por el puesto de mando avanzado de San Jacinto se logra visualizar las condiciones precarias a las que están siendo sometidos los habitantes de Las Palmas; a través de esta información presenta la utilidad de lograr hacer un análisis de las características del lugar para posteriormente evaluar cuáles de estas son de gran importancia para la creación de la estrategia de mejoramiento, en este caso para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua.

Después de la revisión de la situación que se vive hoy en día en el corregimiento se logra determinar que la problemática principal es la poca cantidad de personas en la zona, la cual interfiere en el diseño de un sistema de acueducto regido por las normas tradicionales, ya que al hacer la proyección con dichos métodos los resultados obtenidos serán muy bajos y por ende desfavorables; de esta manera concluyendo que este es el parámetro al cual es necesario encontrarle una solución viable de tal manera que este no presente dificultad ni genere distorsión en el diseño y modelación del sistema.

La información que fue plasmada anteriormente a través de su recopilación corresponde a meses anteriores; cabe resaltar que el día 10 del presente mes se logró hablar con el líder comunitario, el señor Fidel Serpa, el cual nos manifiesta que a lo largo de los últimos meses han seguido retornando al corregimiento los habitantes nativos que algún día abandonaron este lugar, y que tienen la intención de radicarse nuevamente en sus tierras, también manifestó Fidel que la mayoría de los Palmeros se encuentran albergados en San Jacinto, cabecera municipal, el líder expresa que la cantidad oscila entre 250 y 300 personas, las cuales están expensas a la solución que les plantea la administración competente a través de proyectos para el mejoramiento de las condiciones en Las Palmas para posteriormente volver a sus tierras. Analizando la información anterior se ratifica la necesidad de la prestación del servicio de agua potable.

### **3.3. Aplicación metódica del cálculo de caudal de diseño para la modelación de la red del corregimiento**

#### ***3.3.1 Nivel de complejidad del proyecto***

La tabla 7 corresponde a la asignación del nivel de complejidad (RAS, 2000, p. A.9) Teniendo en cuenta que al hacer la proyección de la población de Las Palmas resultan 2300 habitantes se puede afirmar que el nivel de complejidad del sistema es *bajo*, puesto que la población de Las Palmas no alcanza los 2500 habitantes.

Tabla 7. Asignación del nivel de complejidad según la población

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana <sup>(1)</sup> (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios <sup>(2)</sup>
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente. Tabla A.3.1. RAS (2000)

### 3.3.2. Dotación neta

En el caso de que no existan datos en el municipio para el diseño de un nuevo sistema de acueducto o la ampliación del sistema de acueducto existente, los cálculos necesarios para estimar la dotación neta deben hacerse teniendo en cuenta los datos de poblaciones similares. El diseñador debe tener en cuenta los siguientes aspectos para la elección de las poblaciones similares: temperatura media, hidrología, tamaño de la población, nivel socioeconómico, tamaño del sector comercial y tamaño del sector industrial, entre otros (RAS, 2000, p. B. 34). Dado que estos valores no se conocen, es posible establecer una dotación neta adecuada por medio de la comparación con poblaciones similares. El RAS afirma: la dotación neta para un nivel de complejidad bajo, debe hallarse dentro del rango de 100 a 150 L/hab.día, por lo tanto se procede a determinar dicho valor.

Según lo anterior, se podría utilizar la información referente a San Jacinto, por su similitud con Las Palmas, sin embargo, no se tiene información disponible de la dotación neta correspondiente a la población de este municipio, así pues, siguiendo los lineamientos de la norma, se asigna un valor para la dotación neta en base al criterio de los diseñadores. Con el fin de obtener datos confiables, se adoptó el valor máximo de la dotación neta registrado, para el nivel de complejidad bajo, en la norma, el cual es igual a 150 L/hab.día.

La región en la que se encuentra el corregimiento Las palmas presenta una temperatura ambiente media entre 26 a 30°C, por lo tanto, la variación de la dotación neta para un nivel de complejidad bajo, será de 15%, pues se ha escogido el valor más desfavorable el cual es 30°C (RAS, 2000, p. B. 35).

Luego, al corregir el valor de la dotación neta debido a su variación según el clima y el nivel de complejidad de sistema, nos queda que:

$$d_{\text{neta}} = (150 \text{ L/hab. día}) * (1 + 0,15) \rightarrow \mathbf{d_{\text{neta}}} = 172.5 \text{ L/hab. día}$$

### ***3.3.3. Dotación bruta***

A continuación se llevará a cabo el cálculo de la dotación bruta según el RAS (2000) para cada uno de los componentes que conforman el sistema de distribución de agua potable. Para esto, se han hecho las siguientes suposiciones respetando los valores permisibles establecidos de a normatividad vigente.(p. B. 36)

- a) El porcentaje de pérdidas en la aducción será del 5%.
- b) El porcentaje de pérdidas por el uso del agua en la planta de tratamiento de agua potable, antes de la conducción, será igual al 5% del valor del caudal medio diario de la aducción ( $Q_{\text{md}}$ ).
- c) En la conducción las pérdidas serán del 5%.
- d) Para la red de distribución, en un nivel de complejidad bajo, las pérdidas técnicas serán iguales a un 40%.

Aducción:

$$d_{\text{bruta\_Aducci3n}} = \frac{d_{\text{neta}}}{1 - p\%} = \frac{172.5 \text{ L/hab. d3a}}{1 - 0,05} \rightarrow d_{\text{bruta\_Aducci3n}} = 181.6 \text{ L/hab. d3a}$$

Conducci3n:

$$d_{\text{bruta\_Conducci3n}} = \frac{d_{\text{neta}}}{1 - p\%} = \frac{172.5 \text{ L/hab. d3a}}{1 - 0,05} \rightarrow d_{\text{bruta\_Conducci3n}} = 181.6 \text{ L/hab. d3a}$$

Red de distribuci3n:

$$d_{\text{bruta\_Red}} = \frac{d_{\text{neta}}}{1 - p\%} = \frac{172.5 \text{ L/hab. d3a}}{1 - 0,4} \rightarrow d_{\text{bruta\_Red}} = 287.5 \text{ L/hab. d3a}$$

### **3.3.4. Caudal de dise1o**

Luego de la obtenci3n de la dotaci3n bruta, se procede al c3lculo del caudal de dise1o para la red de distribuci3n del sistema de acueducto (RAS, 2000, p. B. 37).

#### *3.3.4.1. Caudal de dise1o de la red de distribuci3n*

Para el c3lculo del caudal de dise1o de la red de distribuci3n, correspondiente a un nivel de complejidad bajo, es necesario llevar a cabo las siguientes operaciones.

Se halla el caudal medio diario en la tuber3a de conducci3n:

$$Q_{\text{md\_Red}} = \frac{P * d_{\text{bruta\_Red}}}{86400} = \frac{(2300 \text{ hab}) * (287.5 \text{ L/hab. d3a})}{86400} = Q_{\text{md\_Red}} = 7.65 \text{ l/s}$$

Se halla el caudal m3ximo diario (QMD) en la red de distribuci3n, siendo  $k_1$  igual a 1.30, seg1n el RAS (tabla B.2.5, p. b. 37).

$$QMD_{Red} = k_1 * Q_{md\_Red} = 1.30 * \left(\frac{7.65 \text{ l}}{\text{s}}\right) \rightarrow QMD_{Red} = 9.945 \text{ l/s}$$

Se halla el caudal máximo diario (QMD) en la red de distribución, para un valor de  $k_2$  igual a 1.60, según el RAS tabla B.2.6, p. B. 38).

$$QMH_{Red} = k_2 * QMD_{Red} = 1.60 * \left(\frac{9.945 \text{ lt}}{\text{s}}\right) \rightarrow QMH_{Red} = 15.912 \text{ l/s}$$

Entonces, el caudal de diseño de la red de distribución de agua potable, es:

$$Q_{d\_red} = QMH_{Red} \rightarrow Q_{d\_red} = \mathbf{15.912 \text{ l/s}}$$

De acuerdo al nivel de complejidad *bajo*, se asumió una dotación de 150 *l/hab/dia*, y con una temperatura en la zona entre 26 y 30°C, se eleva a una dotación neta de 172.5 *lt/hab/dia*, sin embargo, a lo largo del recorrido por los diferentes componentes del sistema de acueducto, esta dotación va sufriendo una serie de pérdidas, las cuales deben tenerse en cuenta para que cada habitante reciba una cantidad suficiente del preciado líquido. El RAS afirma: que existen valores límite de pérdidas para cada componente, así pues, durante el cálculo se asumieron los valores máximos permisibles con el fin de asegurar un suministro adecuado para sus habitantes. En la tabla 8, se resumen los valores correspondientes a los distintos caudales de diseño:

Tabla 8. Caudales de diseño

<b>CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO</b>						
<b>Componentes de sistema</b>	<b>% pérdidas</b>	<b>D<sub>neto</sub></b>	<b>D<sub>bruta</sub></b>	<b>Q<sub>md</sub>(l/s)</b>	<b>QMD (L/s)</b>	<b>Q<sub>diseño</sub> (L/s)</b>
Captación	5	172.5	181.6			6.52
Aducción	5	172.5	181.6	4.83	6.28	6.28
PTAP	5					
Conducción	5	172.5	181.6	4.83	6.28	6.28
Red de distribución	40	172.5	287.5	7.65	9.945	15,912

## **METODOLOGÍA PROPUESTA**

Para el diseño de un Sistema de Agua Potable en la zona rural se requiere de una serie de normas y criterios que no necesariamente deben ser las normas del sector urbano, debido a que existen diferencias en ambos medios, considerando dentro de esas diferencias los factores culturales, económicos y sociales (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados).

### **4.1. Limitaciones de las metodologías tradicionales de diseño**

En nuestro caso de estudio el cual es el de diseño de un sistema de acueducto específicamente para poblaciones con una baja densidad de población, los métodos tradicionales utilizados en Colombia contenidos en normativas vigentes como el RAS 2000 presentan una serie de limitaciones no permitiendo que el diseño para este caso se establezca bajo todas las normas que garanticen la viabilidad y buen funcionamiento de sistema.

Estudiando nuestro caso se encuentra que las limitaciones se encuentran específicamente en el cálculo y proyección de la población para la obtención del periodo de diseño para posteriormente proceder a hallar los caudales de diseño; en esta etapa del proceso es que al aplicar la metodología tradicional los resultados arrojados no son satisfactorios, resultando un valor muy pequeño lo cual a la hora de ser introducido en el trazado se obtiene como resultado un déficit de presiones y velocidades en los nodos y en las tuberías.

La población a servir es el parámetro básico, para dimensionar los elementos que constituyen el sistema. La metodología generalmente aplicada, requiere la investigación de las tasas de crecimiento histórico, las que sirven de base para efectuar la proyección de población (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados).

## **4.2. Estimación de población de diseño de las palmas**

En general, para estimar la población de una región para el periodo de diseño de un proyecto, se utilizan los métodos estadísticos establecidos por el RAS-2000, teniendo en cuenta los registros contenidos en los censos llevados a cabo por distintas entidades como el DANE. Cuando se carece de esta información, la estimación de la población se llevará a cabo estableciendo la tasa de crecimiento poblacional de comunidades que presenten características similares a las de la zona para la cual será diseñada la obra hidráulica. Así lo establece la normativa RAS-2000 en el capítulo B.

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística sólo realiza censos de población a las cabeceras municipales, debido a esto, para llevar a cabo la proyección de la población del corregimiento Las palmas, únicamente se contó con registros poblacionales del municipio de San Jacinto, por ser este la cabecera municipal.

El censo realizado por el DANE, en el 2005, muestra estimaciones de la población, hasta el año 2020, a nivel nacional, por departamentos y municipios. Así pues, fueron las estimaciones hechas por el DANE, para el municipio de San Jacinto, la información base para calcular la población de diseño.

El método propuesto para el diseño del sistema de acueducto de cuyo índice poblacional es bajo, fue modificado únicamente en el proceso del cálculo de la población; esta se realizó mediante una serie de suposiciones basándonos en la recopilación de información y de investigaciones en cuanto al comportamiento que ha tenido el índice de crecimiento a lo largo del tiempo en el corregimiento.

Las correcciones a la dotación neta se basan en los estudios socioeconómicos, el costo marginal de servicios, el efecto del clima y el ajuste por tamaño de población debe ser justificado con registros históricos. (RAS, 2000), encontrando apoyo en esta norma.

Fue necesario para llegar a una población de diseño óptima hacer una variación en el número de habitantes de Las Palmas, hasta encontrar un punto ideal en el cual el número de habitantes lograra permitir crear un diseño en la red que alcanzara resultados óptimos en las presiones en los nodos y las velocidades en los tramos de tubería las cuales cumplieran con las normas establecidas en el RAS 2000 para un nivel de complejidad Bajo.

Primero, se procedió a calcular la tasa de crecimiento de San Jacinto, durante el periodo 2010-2020 para que este sirviera como base para el índice de incremento que maneja el corregimiento de Las Palmas.

Es importante mencionar que para objeto de este proyecto se realizaron encuestas, que permitieron establecer que, para el año 2010, el corregimiento Las Palmas contaba con una población de 111 habitantes concluyendo que es una cifra muy pequeña; por este motivo se hizo necesario encontrar otras fuentes de información que arrojaran datos mucho más coherentes para la proyección y a través de la obtención de información secundaria recopilada el 19 de Abril del año 2011 se logró precisar que la comunidad contaba en ese momento con 65 familias. Con este dato se hicieron posteriormente una serie de análisis y suposiciones razonables llegando a la conclusión que si se suponía que las 65 familias contaban con un promedio de 5 personas integrantes del hogar entre padres e hijos se obtendría un valor superior correspondiente a las personas que habitaban el corregimiento y que el incremento de la población sería notorio en comparación con los datos obtenidos anteriormente; por esta razón y por este análisis razonable con base en la tasa hallada, se determinó la población de Las Palmas en el periodo 2010-2020, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Estimación de la población de Las Palmas a partir del año 2010 hasta el 2020

<b>AÑO CENSADO</b>	<b>REGISTRO DE CABECERA</b>	<b>PORCENTAJE DE INCREMENTO</b>	<b>INCREMENTO DE POBLACION (PERSONAS)</b>
<b>2010</b>	20136		325
<b>2011</b>	20278	100,71	328
<b>2012</b>	20412	100,66	331
<b>2013</b>	20540	100,63	334
<b>2014</b>	20660	100,58	336
<b>2015</b>	20772	100,54	338
<b>2016</b>	20877	100,51	340
<b>2017</b>	20975	100,47	342
<b>2018</b>	21066	100,43	344
<b>2019</b>	21149	100,39	346
<b>2020</b>	21225	100,36	348

Fuente. Datos obtenidos de Departamento Nacional de Estadística DANE

Una vez hallada la población de Las palmas, para el periodo 2010-2020, se procedió a determinar la proyección de la población para el periodo de diseño de la obra, que, según lo establecido para un nivel de complejidad bajo, es igual a 15 años, tomando los datos tomados desde el año en que se hizo la investigación (2011), la población debe ser proyectada al año 2026.

Para establecer la población para el 2026, fue necesaria la utilización de los métodos estadísticos, con el fin de conocer la ecuación de la curva que mejor modela el crecimiento de la población. Arrojando los siguientes resultados:

$$y = 4506,5\ln(x) - 33950 \rightarrow y = 4506,5\ln(2026) - 33950 \rightarrow y = 362$$

Por lo tanto, la población de diseño es:

$$P_{2026} = 362 \text{ Hab}$$

Sin embargo este dato poblacional no fue suficiente para que el diseño propuesto cumpliera con las normas establecidas para la prestación de un buen servicio.

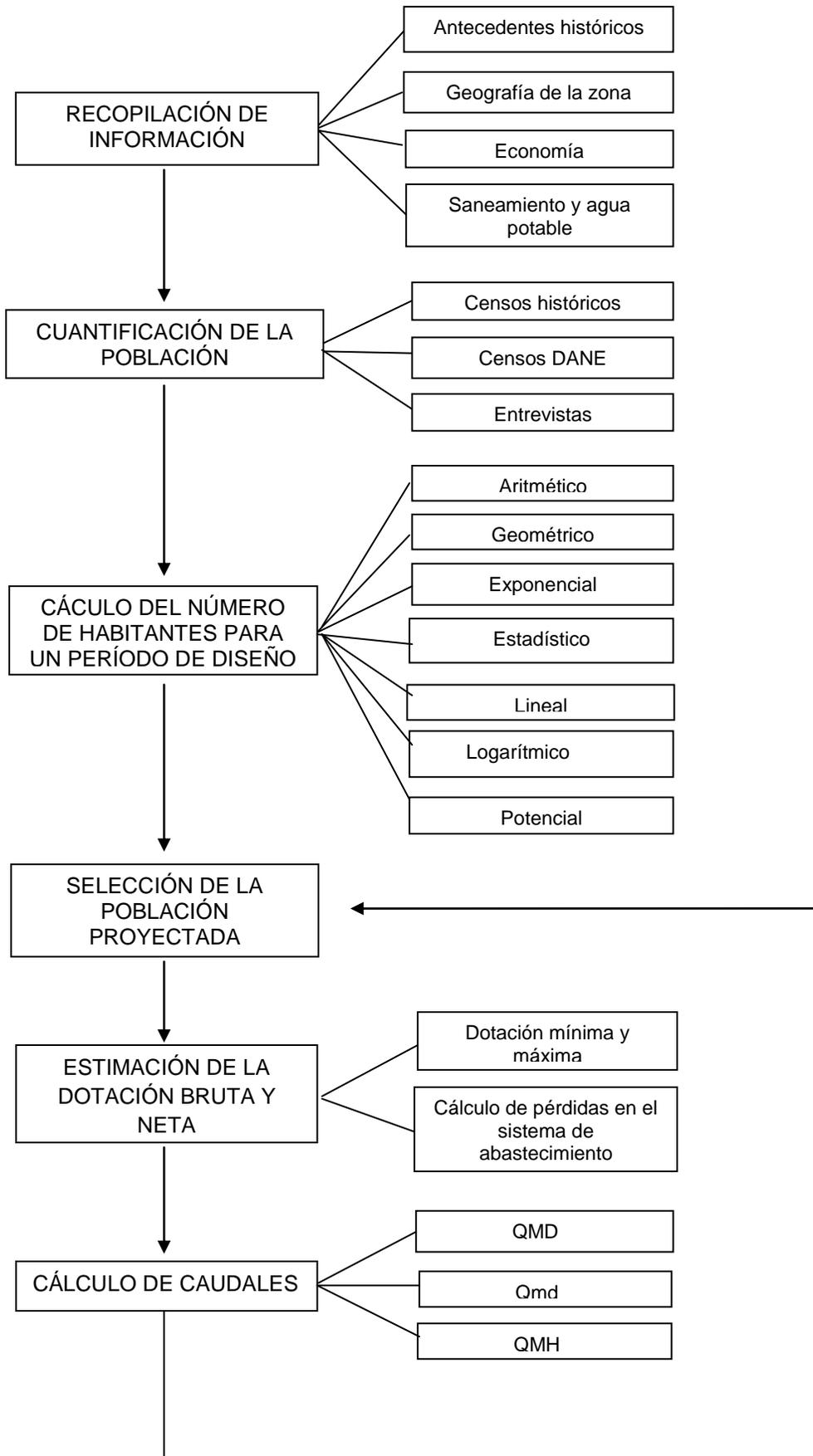
Por lo que se concluye que el cálculo de la población mediante la metodología de la utilización de métodos estadísticos y los resultados obtenidos los cuales fueron muy bajos (362 habitantes), al proceder al cálculo de los caudales de diseño para esta población e introducirlos en la red no se cumplía con los parámetros ni de presión ni de velocidad.

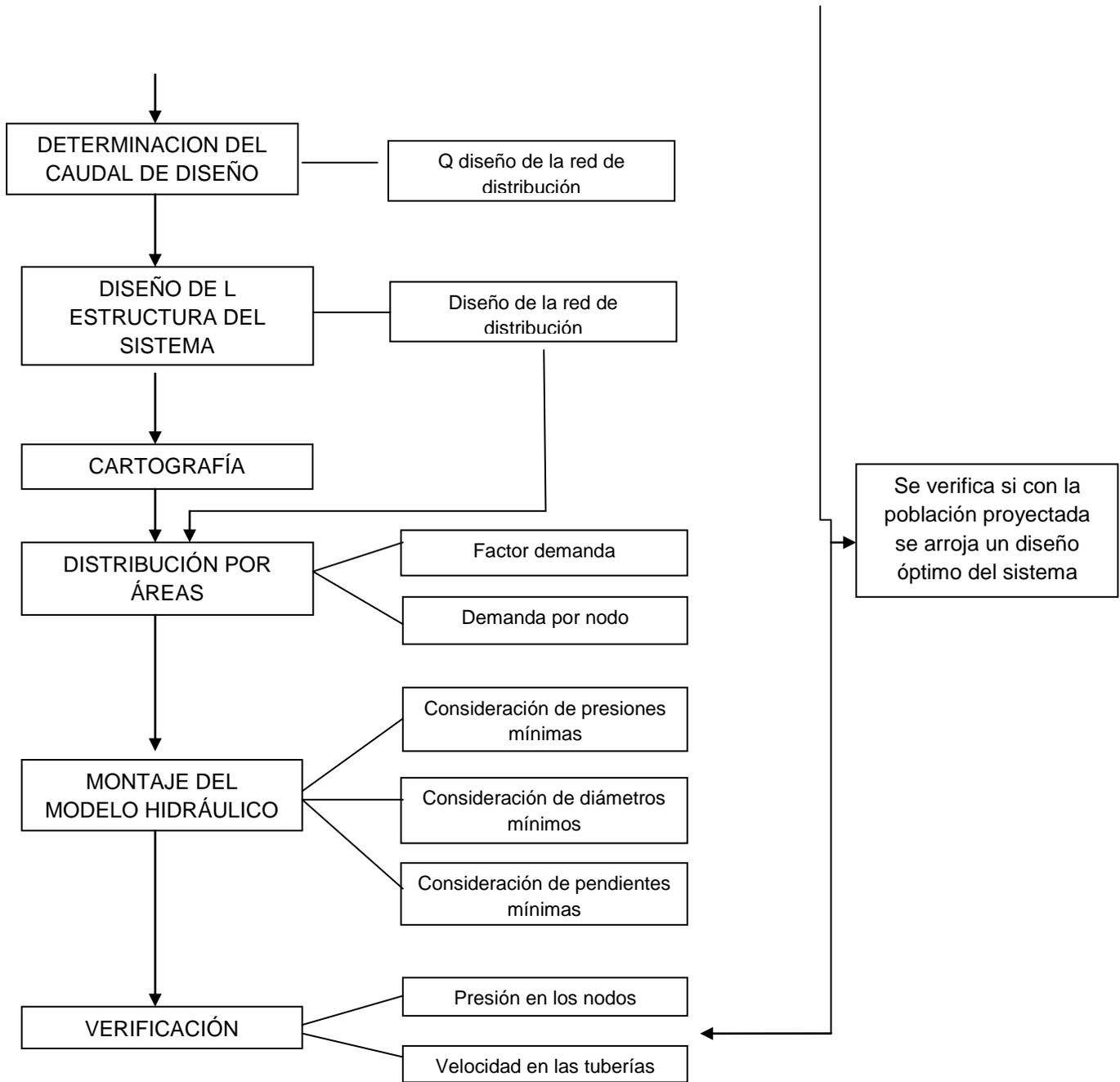
Posteriormente en busca de otra alternativa se realizaron una serie de reuniones con los cabecillas del corregimiento para la obtención de datos históricos los cuales nos permitieran visualizar la cantidad de personas que habitaban la zona antes de la época de violencia, teniendo como resultado que Las Palmas era habitada por 6000 personas aproximadamente y que a lo largo del área se encontraban construidas más o menos 600 casas; de ahí nace la suposición de que si al corregimiento comienzan a llegar programas que busquen la implementación y prestación de servicios públicos los habitantes que un día abandonaron las tierras y que se encuentran viviendo como desplazados en otros lugares, al ver que se les está facilitando y mejorando las condiciones de vida lo más probable es que regresen a sus casas, obteniendo así un crecimiento significativo en la población. Por otro lado mediante la consulta del estado de las viviendas, actualmente se encontró que de las 600 casas que existían en Las Palmas muchas de éstas fueron destruidas por los grupos armados y por delincuentes que se albergaban en el sector; mediante una serie de censos que realizan periódicamente los mismos habitantes que se encuentran hoy en día residiendo la zona se llegó al análisis que en estos momentos se encuentran en buen estado 460 casas; si a ese número de casas habitables vuelve una familia por

casa con un numero 5 personas por familia (papá, mamá, de 2 o 3 hijos) estaríamos hablado de 2300 personas respectivamente. Al analizar esta suposición y evaluando los resultados obtenidos en los caudales de diseño se obtuvo un resultado óptimo capaz de abastecer la población.

ANÁLISIS: La suposición se basa en la recopilación de información, en las entrevistas y visitas realizadas a los Palmeros, en el análisis de sus testimonios y la acogida de sus consejos según la experiencia que poseen ellos, en el estudio de número de habitantes y de viviendas en diferentes periodos de la historia, en el comportamiento poblacional con el mejoramiento de las condiciones de vida.

### 4.3. Diagrama de flujo del método propuesto





## **MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA PEQUEÑAS POBLACIONES**

El capítulo consta de 7 modelaciones en las cuales se evaluaron tanto las presiones en los nodos como las velocidades en las tuberías teniendo en cuenta los rangos mínimos para un nivel de complejidad bajo. Fue necesario modificar algunos parámetros para ir mejorando los resultados; al final se obtuvo un modelo que refleja el mejor resultado ofrecido para garantizar el suministro de agua a la mayoría de la población cumpliendo con los requerimientos de la normatividad vigente.

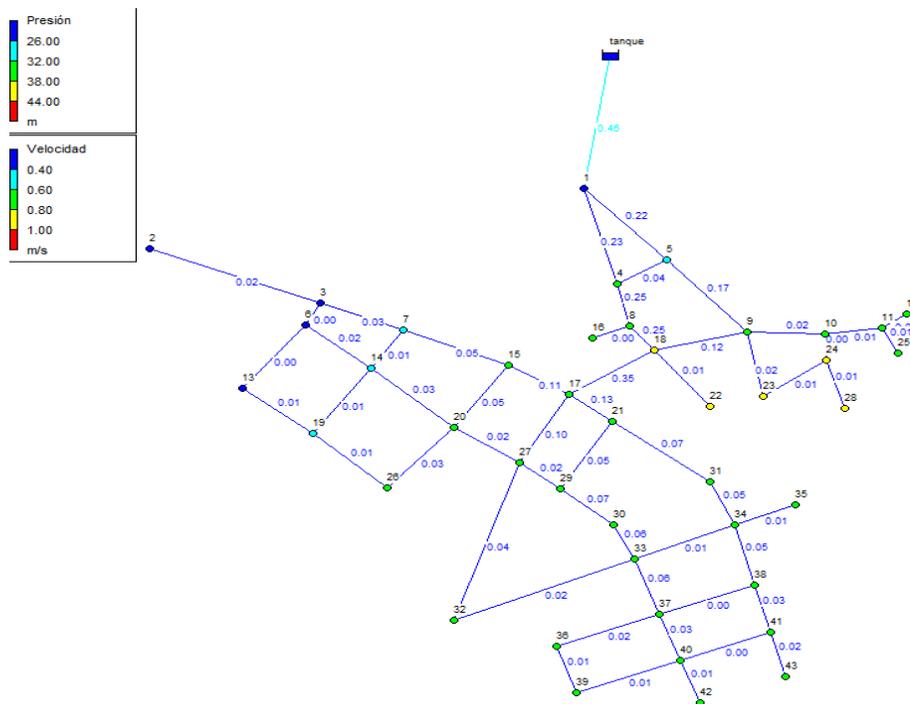
A continuación se presentan todas las modelaciones realizadas en Epanet, las cuales se realizaron con el propósito de la obtención de un trazado el cual garantizara que el diseño del sistema abasteciera al mayor porcentaje de la población del corregimiento.

### 5.1.1ra Modelación

En el primer trazado el cual fue diseñado con 43 nodos y 56 tuberías fue modelado con una población de 126 habitantes y una densidad de 5,97 hab/ha, arrojando como resultado un caudal de diseño de red de 0,8721 l/s; a correr esta modelación los resultados obtenidos no fueron suficientes para el abastecimiento de la población; como se puede observar en el trazado los nodos debían cumplir con presiones mínimas de 26m y las tuberías velocidades mínimas de 0,40 m/s según el nivel de complejidad de la población (RAS 2000).

En el modelo se puede interpretar que en los resultados las presiones en los nodos se encontraban dentro de rango permitido, pero que ninguna de las velocidades tenían valores superiores o iguales los 0,40 m/s, a excepción de la tubería que se encuentra conectada al tanque, dicho análisis indica que la modelación no cumplía con los requerimientos del sistema.

Figura 3. Trazado de la red del sistema de acueducto en la primera modelación



Fuente. Modelación en Epanet

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 1	174	0.03	0.03	194.30	20.30
Conexión 5	164	0.023	0.02	194.15	30.15
Conexión 4	159	0.022	0.02	194.15	35.15
Conexión 9	159	0.022	0.02	194.05	35.05
Conexión 8	159	0.007	0.01	194.06	35.06
Conexión 16	159	0.004	0.00	194.06	35.06
Conexión 18	154	0.014	0.01	194.01	40.01
Conexión 23	154	0.014	0.01	194.05	40.05
Conexión 10	159	0.010	0.01	194.05	35.05
Conexión 24	154	0.007	0.01	194.05	40.05
Conexión 28	154	0.019	0.02	194.05	40.05
Conexión 22	154	0.015	0.01	194.01	40.01
Conexión 11	159	0.005	0.00	194.05	35.05
Conexión 12	159	0.006	0.01	194.05	35.05
Conexión 25	159	0.016	0.02	194.05	35.05
Conexión 17	159	0.015	0.01	193.73	34.73
Conexión 21	159	0.019	0.02	193.70	34.70
Conexión 31	159	0.024	0.02	193.68	34.68
Conexión 34	159	0.014	0.01	193.68	34.68
Conexión 35	159	0.012	0.01	193.68	34.68
Conexión 15	159	0.027	0.03	193.70	34.70
Conexión 7	167	0.022	0.02	193.69	26.69
Conexión 3	169	0.021	0.02	193.69	24.69
Conexión 2	171	0.036	0.04	193.68	22.68
Conexión 13	169	0.026	0.03	193.69	24.69
Conexión 6	169	0.019	0.02	193.69	24.69
Conexión 14	167	0.018	0.02	193.69	26.69
Conexión 20	159	0.022	0.02	193.69	34.69
Conexión 19	167	0.023	0.02	193.69	26.69
Conexión 26	159	0.034	0.03	193.69	34.69
Conexión 27	160	0.023	0.02	193.70	33.70
Conexión 29	159	0.019	0.02	193.69	34.69
Conexión 30	159	0.018	0.02	193.68	34.68
Conexión 33	159	0.020	0.02	193.68	34.68
Conexión 32	160	0.041	0.04	193.69	33.69
Conexión 38	160	0.029	0.03	193.67	33.67
Conexión 37	160	0.018	0.02	193.67	33.67
Conexión 36	160	0.025	0.03	193.67	33.67
Conexión 41	160	0.027	0.03	193.67	33.67
Conexión 43	160	0.034	0.03	193.67	33.67
Conexión 42	160	0.016	0.02	193.67	33.67
Conexión 40	160	0.014	0.01	193.67	33.67
Conexión 39	160	0.041	0.04	193.67	33.67
Embalse tanque	195	No Disponible	-0.87	195.00	0.00

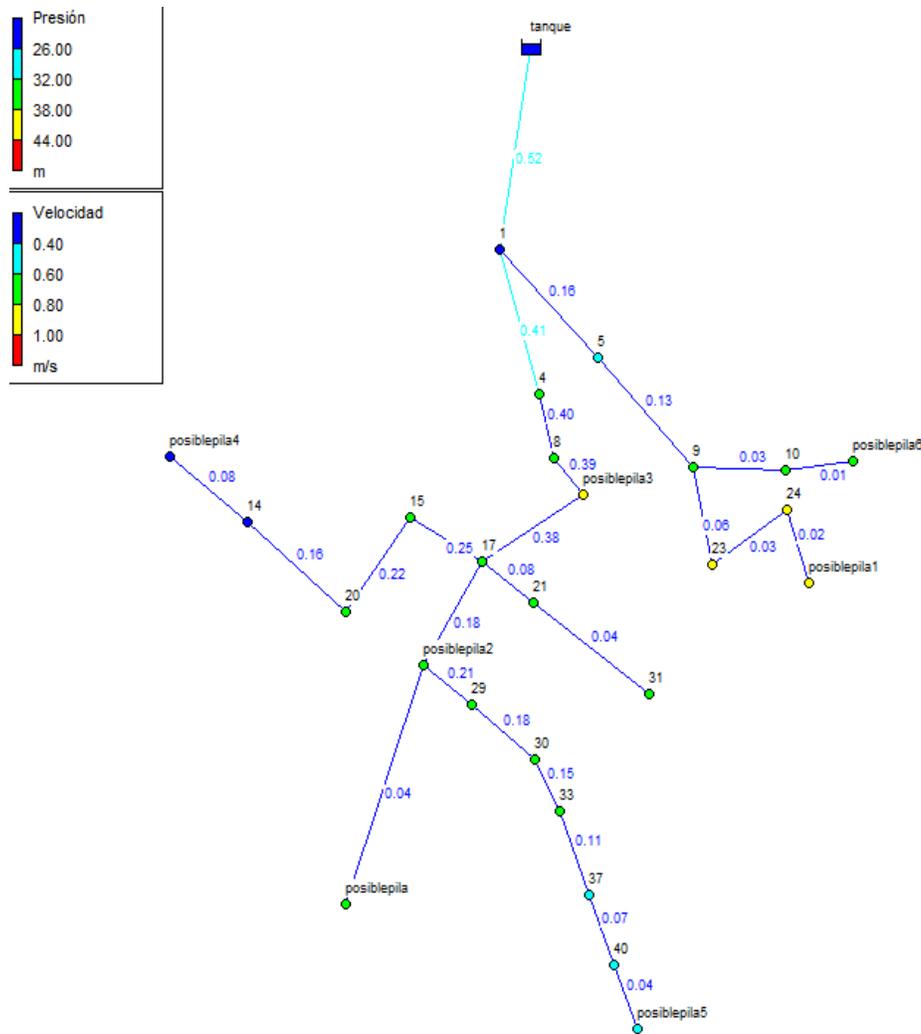
ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	96.6	48.84	0.42	0.22
Tubería 2	46.2	48.84	0.07	0.04
Tubería 3	94.9	48.84	-0.42	0.23
Tubería 4	96	48.84	0.32	0.17
Tubería 5	42.4	48.84	0.47	0.25
Tubería 6	33	48.84	0.00	0.00
Tubería 7	30	48.84	0.46	0.25
Tubería 8	77.9	48.84	-0.23	0.12
Tubería 9	62.4	48.84	0.05	0.02
Tubería 10	45.2	48.84	0.03	0.01
Tubería 11	24.8	48.84	0.01	0.00
Tubería 12	29.7	48.84	0.02	0.01
Tubería 13	23.5	48.84	0.01	0.00
Tubería 14	52.7	48.84	0.02	0.01
Tubería 15	61.9	48.84	-0.02	0.01
Tubería 16	62.9	48.84	-0.03	0.02
Tubería 17	73.6	48.84	0.01	0.01
Tubería 18	80.9	48.84	0.66	0.35
Tubería 19	57.8	48.84	0.21	0.11
Tubería 20	91.6	48.84	0.10	0.05
Tubería 21	71.6	48.84	0.05	0.03
Tubería 22	145	48.84	0.04	0.02
Tubería 23	24.5	48.84	-0.01	0.00
Tubería 24	45.9	48.84	0.02	0.01
Tubería 25	67	48.84	-0.03	0.02
Tubería 26	80.6	48.84	0.01	0.00
Tubería 27	70.6	48.84	-0.02	0.01
Tubería 28	78.5	48.84	-0.02	0.01
Tubería 29	89.1	48.84	-0.05	0.03
Tubería 30	76.2	48.84	0.09	0.05
Tubería 31	80.7	48.84	-0.02	0.01
Tubería 32	79.5	48.84	-0.05	0.03
Tubería 33	63	48.84	-0.04	0.02
Tubería 34	76.9	48.84	0.19	0.10
Tubería 35	41.9	48.84	0.24	0.13
Tubería 36	78.5	48.84	0.10	0.05
Tubería 37	100	48.84	0.13	0.07
Tubería 38	41	48.84	0.05	0.02
Tubería 39	60.1	48.84	0.12	0.07
Tubería 40	35.4	48.84	0.11	0.06
Tubería 41	48.8	48.84	0.10	0.05
Tubería 42	58	48.84	0.01	0.01
Tubería 43	88.8	48.84	-0.02	0.01
Tubería 44	164	48.84	0.08	0.04
Tubería 45	154	48.84	0.04	0.02
Tubería 46	57.3	48.84	0.11	0.06
Tubería 47	61.1	48.84	0.09	0.05
Tubería 48	84.1	48.84	0.00	0.00
Tubería 49	87.3	48.84	0.04	0.02
Tubería 50	49.5	48.84	0.02	0.01
Tubería 51	87.9	48.84	-0.02	0.01
Tubería 52	79.5	48.84	0.00	0.00
Tubería 53	56	48.84	0.02	0.01
Tubería 54	49.4	48.84	0.06	0.03
Tubería 55	45.3	48.84	0.03	0.02
Tubería 56	49.9	48.84	0.05	0.03
Tubería 57	123	48.84	0.87	0.46

Tabla 10. Datos de los nodos, arrojados por  
EPANET  
Fuente. Modelación en Epanet

## 5.2.2da Modelación

Al concluir que la primera modelación no era satisfactoria se procede a encontrar otra alternativa, modificando el trazado; se eliminaron muchas de las tuberías secundarias, esta vez el trazado solo estaba conformado por la red matriz, evaluando la posibilidad de la creación de pilas comunitarias en puntos estratégicos, el trazado resulto de la siguiente manera.

Figura 4. Trazado de la red del sistema de acueducto en la segunda modelación



Fuente. Modelación en Epanet

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 1	174	0.022	0.02	193.75	19.75
Conexión 5	164	0.019	0.02	193.56	29.56
Conexión 4	159	0.014	0.01	193.11	34.11
Conexión 9	159	0.023	0.02	193.44	34.44
Conexión 8	159	0.009	0.01	192.85	33.85
Conexión posiblepila3	154	0.012	0.01	192.66	38.66
Conexión 23	154	0.019	0.02	193.43	39.43
Conexión 10	159	0.008	0.01	193.44	34.44
Conexión 24	154	0.008	0.01	193.42	39.42
Conexión posiblepila1	154	0.009	0.01	193.42	39.42
Conexión posiblepila6	159	0.008	0.01	193.43	34.43
Conexión 17	159	0.016	0.02	192.20	33.20
Conexión 21	159	0.019	0.02	192.18	33.18
Conexión 31	159	0.025	0.03	192.17	33.17
Conexión 15	159	0.019	0.02	191.96	32.96
Conexión posiblepila4	169	0.047	0.05	191.52	22.52
Conexión 14	167	0.045	0.05	191.55	24.55
Conexión 20	159	0.035	0.04	191.71	32.71
Conexión posiblepila2	160	0.022	0.02	192.08	32.08
Conexión 29	159	0.018	0.02	191.96	32.96
Conexión 30	159	0.016	0.02	191.82	32.82
Conexión 33	159	0.021	0.02	191.76	32.76
Conexión posiblepila	160	0.039	0.04	192.06	32.06
Conexión 37	160	0.023	0.02	191.71	31.71
Conexión posiblepila5	160	0.023	0.02	191.69	31.69
Conexión 40	160	0.02	0.02	191.70	31.70
Embalse tanque	195	No Disponible	-0.54	195.00	0.00

Tabla 12. Datos de los nodos, arrojados por EPANET  
Fuente. Modelación en Epanet

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	96.6	27.2	0.09	0.16
Tubería 3	94.9	36.2	-0.42	0.41
Tubería 4	96	27.2	0.08	0.13
Tubería 5	42.4	36.2	0.41	0.40
Tubería 7	30	36.2	0.40	0.39
Tubería 9	62.4	27.2	0.02	0.03
Tubería 10	45.2	27.2	0.01	0.01
Tubería 14	52.7	27.2	0.01	0.02
Tubería 15	61.9	27.2	-0.02	0.03
Tubería 16	62.9	27.2	-0.04	0.06
Tubería 18	80.9	36.2	0.39	0.38
Tubería 19	57.8	27.2	0.15	0.25
Tubería 25	67	27.2	-0.05	0.08
Tubería 29	89.1	27.2	-0.09	0.16
Tubería 30	76.2	27.2	0.13	0.22
Tubería 34	76.9	36.2	0.18	0.18
Tubería 35	41.9	27.2	0.04	0.08
Tubería 37	100	27.2	0.03	0.04
Tubería 38	41	27.2	0.12	0.21
Tubería 39	60.1	27.2	0.10	0.18
Tubería 40	35.4	27.2	0.09	0.15
Tubería 44	164	36.2	0.04	0.04
Tubería 46	57.3	27.2	0.07	0.11
Tubería 53	56	27.2	0.02	0.04
Tubería 56	49.9	27.2	0.04	0.07
Tubería 57	123	36.2	0.54	0.52

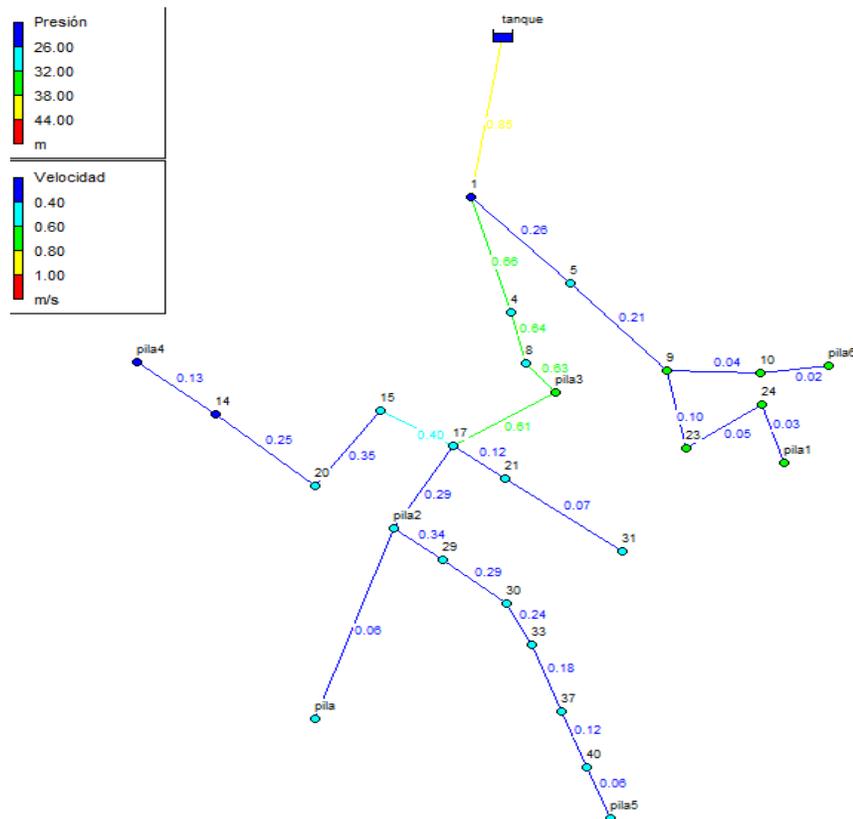
Tabla 13. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET  
Fuente. Modelación en Epanet

### 5.3.3ra Modelación

Se procede a la modificación del diseño eliminando muchos de los tubos que se creía no tenían un desempeño importante dejando la red matriz y creando las pilas en los puntos localizados en la modelación anterior, esto con el objetivo de que la comunidad que se encuentra más alejada de sector, se abasteciera de agua en dichas pilas. El modelo redujo el número de tuberías a 26 tubos, habiendo 19 conexiones y 7 pilas comunitarias.

A correr el diseño se logra analizar que algunas de las tuberías que en la primera modelación no cumplían esta vez sí alcanzaban entrar al rango permitido, pero aun habiendo cambiado el diseño este no lograba alcanzar los requerimientos en la mayoría de las velocidades en los tubos, de igual manera se puede percibir esta dificultad en las presiones de las conexiones, la mayoría arrojan valores permitidos pero no en la totalidad de los nodos.

Figura 5. Trazado de la red del sistema de acueducto en la tercera modelación



Fuente. Modelación en Epanet

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 1	174	0.036	0.04	192.08	18.08
Conexión 5	164	0.03	0.03	191.65	27.65
Conexión 4	159	0.023	0.02	190.61	31.61
Conexión 9	159	0.037	0.04	191.36	32.36
Conexión 8	159	0.015	0.01	189.99	30.99
Conexión pila3	154	0.019	0.02	189.57	35.57
Conexión 23	154	0.03	0.03	191.33	37.33
Conexión 10	159	0.012	0.01	191.35	32.35
Conexión 24	154	0.014	0.01	191.31	37.31
Conexión pila1	154	0.015	0.01	191.31	37.31
Conexión pila6	159	0.014	0.01	191.35	32.35
Conexión 17	159	0.026	0.03	188.50	29.50
Conexión 21	159	0.031	0.03	188.46	29.46
Conexión 31	159	0.04	0.04	188.43	29.43
Conexión 15	159	0.031	0.03	187.96	28.96
Conexión pila4	169	0.075	0.08	186.95	17.95
Conexión 14	167	0.073	0.07	187.03	20.03
Conexión 20	159	0.056	0.06	187.40	28.40
Conexión pila2	160	0.036	0.04	188.22	28.22
Conexión 29	159	0.029	0.03	187.94	28.94
Conexión 30	159	0.026	0.03	187.63	28.63
Conexión 33	159	0.034	0.03	187.50	28.50
Conexión pila	160	0.063	0.06	188.20	28.20
Conexión 37	160	0.037	0.04	187.36	27.36
Conexión pila5	160	0.037	0.04	187.29	27.29
Conexión 40	160	0.033	0.03	187.31	27.31
Embalse tanque	195	No Disponible	-0.87	195.00	0.00

Tabla 14. Datos de los nodos, arrojados por EPANET  
Fuente. Modelación en Epanet

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	96.6	27.2	0.15	0.26
Tubería 3	94.9	36.2	-0.68	0.66
Tubería 4	96	27.2	0.12	0.21
Tubería 5	42.4	36.2	0.66	0.64
Tubería 7	30	36.2	0.65	0.63
Tubería 9	62.4	27.2	0.03	0.04
Tubería 10	45.2	27.2	0.01	0.02
Tubería 14	52.7	27.2	0.01	0.03
Tubería 15	61.9	27.2	-0.03	0.05
Tubería 16	62.9	27.2	-0.06	0.10
Tubería 18	80.9	36.2	0.63	0.61
Tubería 19	57.8	27.2	0.23	0.40
Tubería 25	67	27.2	-0.08	0.13
Tubería 29	89.1	27.2	-0.15	0.25
Tubería 30	76.2	27.2	0.20	0.35
Tubería 34	76.9	36.2	0.30	0.29
Tubería 35	41.9	27.2	0.07	0.12
Tubería 37	100	27.2	0.04	0.07
Tubería 38	41	27.2	0.20	0.34
Tubería 39	60.1	27.2	0.17	0.29
Tubería 40	35.4	27.2	0.14	0.24
Tubería 44	164	36.2	0.06	0.06
Tubería 46	57.3	27.2	0.11	0.18
Tubería 53	56	27.2	0.04	0.06
Tubería 56	49.9	27.2	0.07	0.12
Tubería 57	123	36.2	0.87	0.85

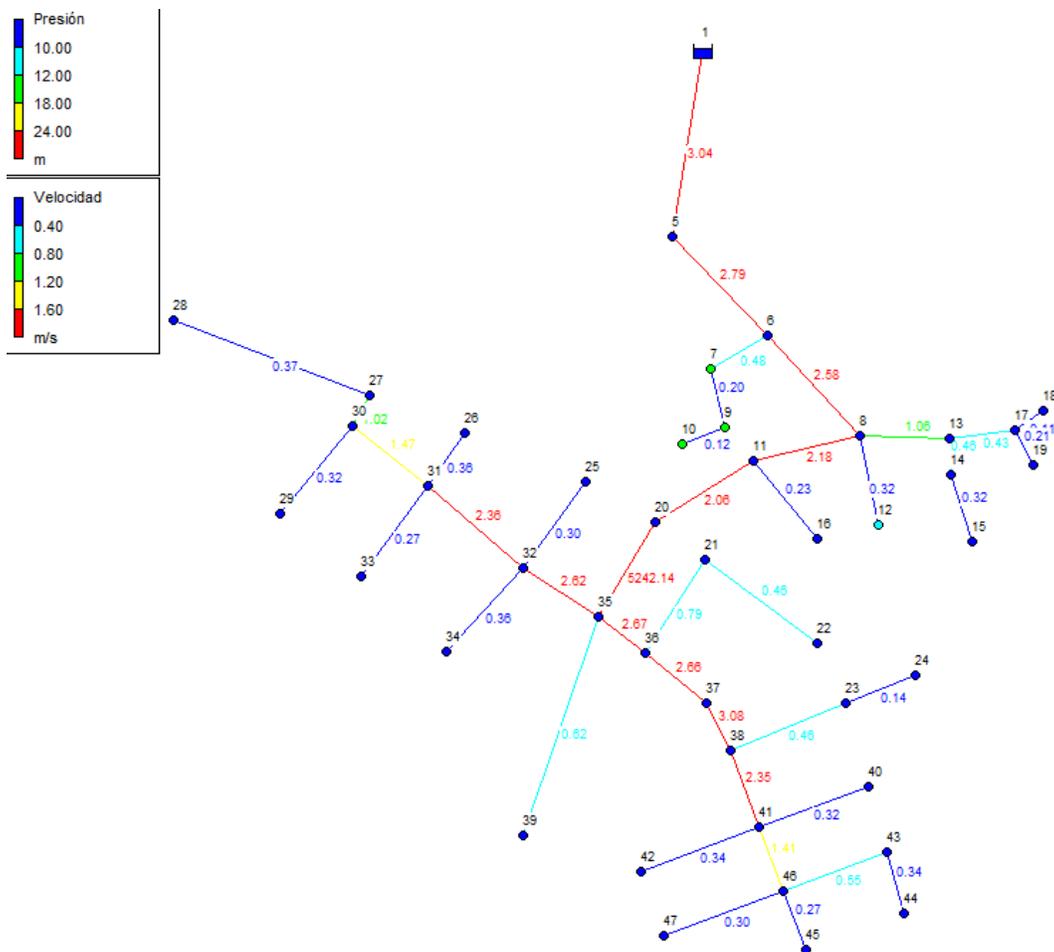
Tabla 15. Datos de las tuberías, arrojados por EPANET  
Fuente. Modelación en Epanet

### 5.4.4ta Modelación

Al ver que la estrategia de la modelación anterior no arroja resultados satisfactorios se hizo una modificación en el trazado incorporando las tuberías secundarias en forma de espina de pescado, teniendo así 43 conexiones y 43 tuberías.

Al correr la modelación se analiza que se presentan dificultades en las presiones, encontrándose en algunos nodos valores negativos, por lo cual se evalúa que no se encuentran dentro delrango establecido; por otro lado se observa que las velocidades en la red matriz si cumplían, las redes secundarias presentan valores muy pequeños no alcanzando los valores requeridos.

Figura 6. Trazado de la red del sistema de acueducto en la cuarta modelación



Fuente. Modelación en Epanet

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 5	174	1.302	1.30	179.23	5.23
Conexión 6	164	0.549	0.55	171.99	7.99
Conexión 7	159	0.326	0.33	171.60	12.60
Conexión 8	159	0.549	0.55	165.74	6.74
Conexión 9	159	0.081	0.08	171.53	12.53
Conexión 10	159	0.142	0.14	171.50	12.50
Conexión 11	154	0.346	0.35	162.02	8.02
Conexión 12	154	0.366	0.37	165.48	11.48
Conexión 13	159	0.186	0.19	163.69	4.69
Conexión 14	154	0.163	0.16	163.51	9.51
Conexión 15	154	0.366	0.37	163.29	9.29
Conexión 16	154	0.265	0.27	161.85	7.85
Conexión 17	159	0.122	0.12	163.39	4.39
Conexión 18	159	0.122	0.12	163.37	4.37
Conexión 19	159	0.244	0.24	163.33	4.33
Conexión 20	159	0.244	0.24	158.52	-0.48
Conexión 21	159	0.366	0.37	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 22	159	0.529	0.53	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 23	159	0.366	0.37	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 24	159	0.163	0.16	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 25	159	0.346	0.35	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 26	167	0.407	0.41	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 27	169	0.733	0.73	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 28	171	0.427	0.43	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 29	169	0.366	0.37	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 30	169	0.224	0.22	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 31	167	0.346	0.35	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 32	159	0.407	0.41	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 33	167	0.305	0.31	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 34	159	0.407	0.41	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 35	160	0.610	0.61	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 36	159	0.326	0.33	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 37	159	0.366	0.37	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 38	159	0.346	0.35	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 39	160	0.712	0.71	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 40	160	0.366	0.37	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 41	160	0.427	0.43	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 42	160	0.387	0.39	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 43	160	0.265	0.27	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 44	160	0.387	0.39	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 45	160	0.305	0.31	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 46	160	0.305	0.31	-1.304913E09	-1.304913E09
Conexión 47	160	0.346	0.35	-1.304913E09	-1.304913E09
Embalse 1	190	No Disponible	-15.91	190.00	0.00

Tabla 16. Datos de los nodos, arrojados por EPANET

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	96.6	81.6	14.61	2.79
Tubería 2	46.2	38.1	0.55	0.48
Tubería 4	96	81.6	13.51	2.58
Tubería 5	42.4	38.1	0.22	0.20
Tubería 6	33	38.1	0.14	0.12
Tubería 8	77.9	81.6	-11.40	2.18
Tubería 9	62.4	38.1	1.20	1.06
Tubería 10	45.2	38.1	0.49	0.43
Tubería 11	24.8	38.1	0.12	0.11
Tubería 12	29.7	38.1	0.24	0.21
Tubería 13	23.5	38.1	0.53	0.46
Tubería 14	52.7	38.1	0.37	0.32
Tubería 16	62.9	38.1	-0.37	0.32
Tubería 17	73.6	38.1	0.27	0.23
Tubería 18	80.9	81.6	10.78	2.06
Tubería 22	145	38.1	0.43	0.37
Tubería 23	24.5	38.1	-1.16	1.02
Tubería 24	45.9	38.1	-0.41	0.36
Tubería 25	67	38.9	-1.75	1.47
Tubería 26	80.6	38.1	0.37	0.32
Tubería 28	78.5	38.1	-0.31	0.27
Tubería 29	89.1	38.9	-2.81	2.36
Tubería 30	76.2	38.1	-0.35	0.30
Tubería 32	79.5	38.1	-0.41	0.36
Tubería 33	63	43.9	-3.97	2.62
Tubería 34	76.9	1.6	10.54	5242.14
Tubería 36	78.5	38.1	-0.89	0.79
Tubería 37	100	38.1	0.53	0.46
Tubería 38	41	50	5.25	2.67
Tubería 39	60.1	43.9	4.03	2.66
Tubería 40	35.4	38.9	3.66	3.08
Tubería 42	58	38.1	0.16	0.14
Tubería 43	88.8	38.1	-0.53	0.46
Tubería 44	164	38.1	0.71	0.62
Tubería 46	57.3	38.9	2.79	2.35
Tubería 48	84.1	38.1	-0.37	0.32
Tubería 49	87.3	38.1	0.39	0.34
Tubería 51	87.9	38.1	-0.35	0.30
Tubería 52	79.5	38.9	0.65	0.55
Tubería 53	56	38.1	0.31	0.27
Tubería 55	45.3	38.1	0.39	0.34
Tubería 56	49.9	38.1	1.61	1.41
Tubería 57	123	81.6	15.91	3.04

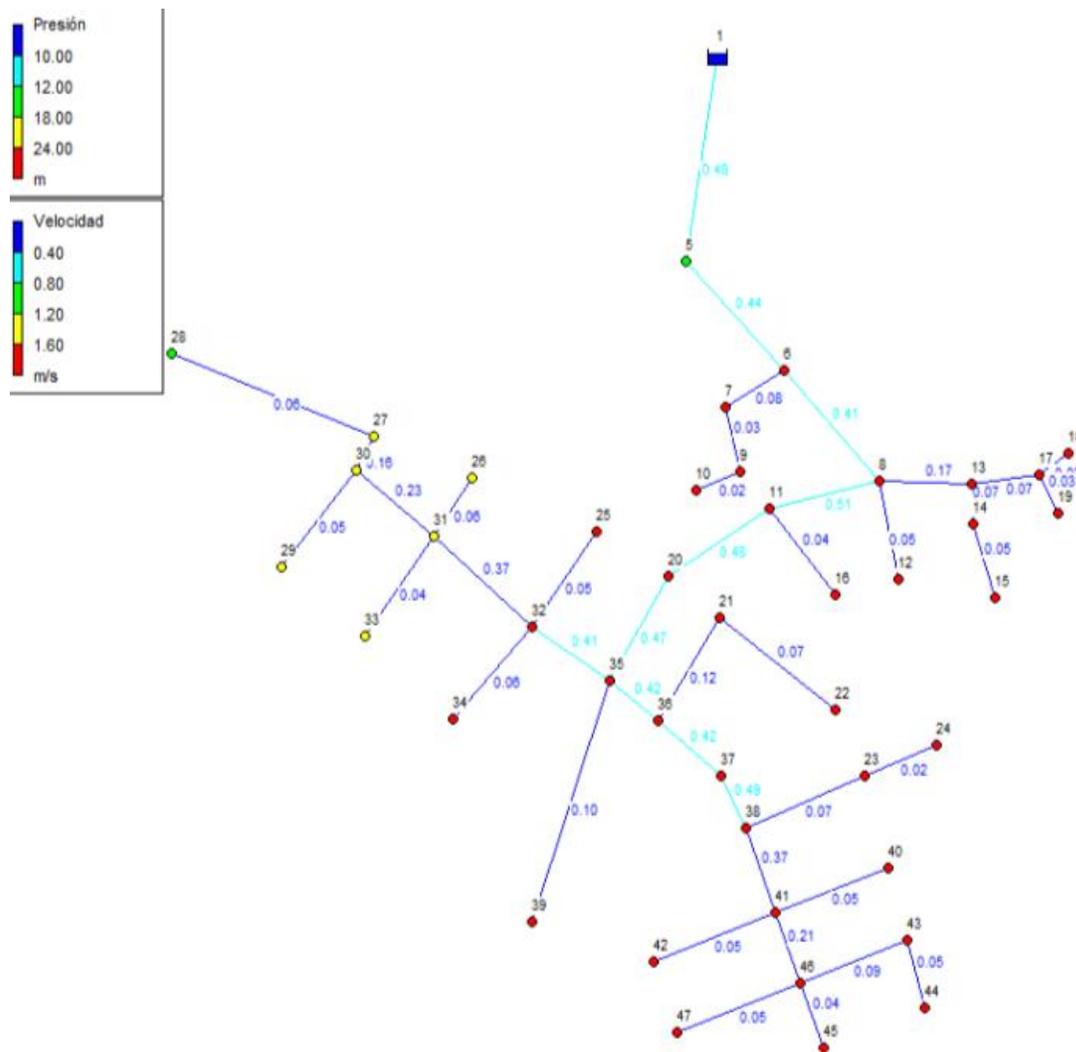
Tabla 17. Datos de las tuberías, EPANET

### 5.5.5ta Modelación

Posteriormente al mismo trazado se le hizo una modificación en los datos, esta vez se realizaron los cálculos con una población de diseño de 362 habitantes arrojando un caudal de diseño de la red de 2,505 l/s y una densidad poblacional de 21,96 hab/ha.

En este modelo cambian las presiones en los nodos, aumentando su valor y encontrándose dentro de los requerimientos, pero parte de la red matriz y de la tubería secundaria no alcanzan las velocidades superiores a los 0,40 m/s.

Figura 7. Trazado de la red del sistema de acueducto en la quinta modelación



Fuente. Modelación en Epanet

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 5	174	0.205	0.20	189.61	15.61
Conexión 6	164	0.086	0.09	189.35	25.35
Conexión 7	159	0.051	0.05	189.34	30.34
Conexión 8	159	0.086	0.09	189.12	30.12
Conexión 9	159	0.013	0.01	189.33	30.33
Conexión 10	159	0.022	0.02	189.33	30.33
Conexión 11	154	0.054	0.05	188.77	34.77
Conexión 12	154	0.058	0.06	189.11	35.11
Conexión 13	159	0.029	0.03	189.04	30.04
Conexión 14	154	0.026	0.03	189.03	35.03
Conexión 15	154	0.058	0.06	189.03	35.03
Conexión 16	154	0.042	0.04	188.76	34.76
Conexión 17	159	0.019	0.02	189.03	30.03
Conexión 18	159	0.019	0.02	189.03	30.03
Conexión 19	159	0.038	0.04	189.03	30.03
Conexión 20	159	0.038	0.04	188.44	29.44
Conexión 21	159	0.058	0.06	187.88	28.88
Conexión 22	159	0.083	0.08	187.86	28.86
Conexión 23	159	0.058	0.06	187.31	28.31
Conexión 24	159	0.026	0.03	187.30	28.30
Conexión 25	159	0.054	0.05	187.79	28.79
Conexión 26	167	0.064	0.06	187.34	20.34
Conexión 27	169	0.115	0.12	187.17	18.17
Conexión 28	171	0.067	0.07	187.15	16.15
Conexión 29	169	0.058	0.06	187.19	18.19
Conexión 30	169	0.035	0.04	187.20	18.20
Conexión 31	167	0.054	0.05	187.35	20.35
Conexión 32	159	0.064	0.06	187.80	28.80
Conexión 33	167	0.048	0.05	187.34	20.34
Conexión 34	159	0.064	0.06	187.79	28.79
Conexión 35	160	0.096	0.10	188.13	28.13
Conexión 36	159	0.051	0.05	187.94	28.94
Conexión 37	159	0.058	0.06	187.62	28.62
Conexión 38	159	0.054	0.05	187.33	28.33
Conexión 39	160	0.112	0.11	188.05	28.05
Conexión 40	160	0.058	0.06	187.03	27.03
Conexión 41	160	0.067	0.07	187.04	27.04
Conexión 42	160	0.061	0.06	187.03	27.03
Conexión 43	160	0.042	0.04	186.91	26.91
Conexión 44	160	0.061	0.06	186.90	26.90
Conexión 45	160	0.048	0.05	186.93	26.93
Conexión 46	160	0.048	0.05	186.94	26.94
Conexión 47	160	0.054	0.05	186.93	26.93
Embalse 1	190	No Disponible	-2.50	190.00	0.00

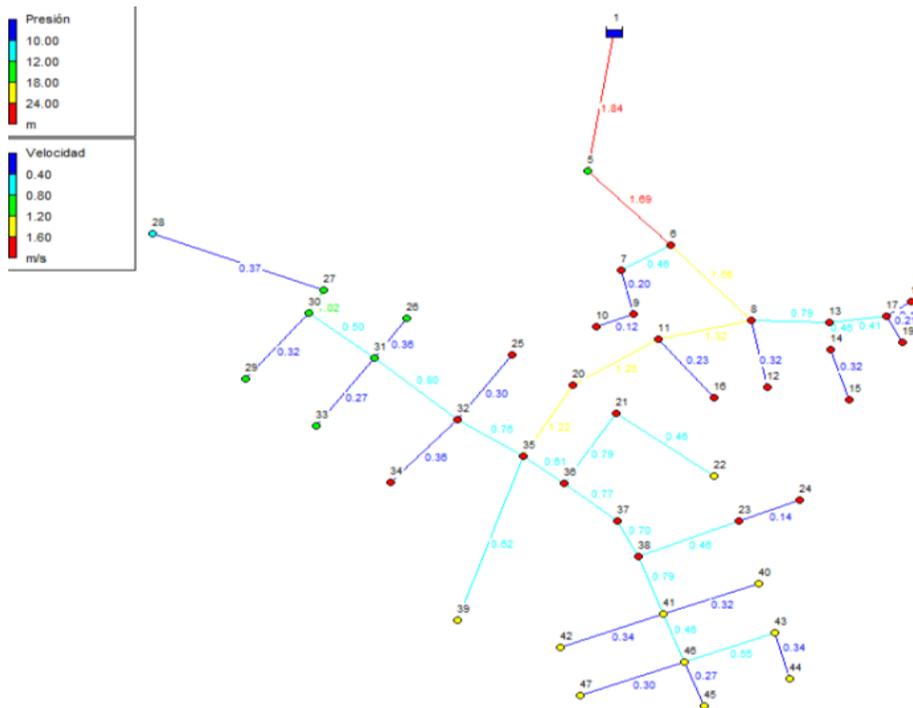
ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	96.6	81.6	2.30	0.44
Tubería 2	46.2	38.1	0.09	0.08
Tubería 4	96	81.6	2.13	0.41
Tubería 5	42.4	38.1	0.04	0.03
Tubería 6	33	38.1	0.02	0.02
Tubería 8	77.9	66.9	-1.79	0.51
Tubería 9	62.4	38.1	0.19	0.17
Tubería 10	45.2	38.1	0.08	0.07
Tubería 11	24.8	38.1	0.02	0.02
Tubería 12	29.7	38.1	0.04	0.03
Tubería 13	23.5	38.1	0.08	0.07
Tubería 14	52.7	38.1	0.06	0.05
Tubería 16	62.9	38.1	-0.06	0.05
Tubería 17	73.6	38.1	0.04	0.04
Tubería 18	80.9	66.9	1.70	0.48
Tubería 22	145	38.1	0.07	0.06
Tubería 23	24.5	38.1	-0.18	0.16
Tubería 24	45.9	38.1	-0.06	0.06
Tubería 25	67	38.9	-0.28	0.23
Tubería 26	80.6	38.1	0.06	0.05
Tubería 28	78.5	38.1	-0.05	0.04
Tubería 29	89.1	38.9	-0.44	0.37
Tubería 30	76.2	38.1	-0.05	0.05
Tubería 32	79.5	38.1	-0.06	0.06
Tubería 33	63	43.9	-0.62	0.41
Tubería 34	76.9	66.9	1.66	0.47
Tubería 36	78.5	38.1	-0.14	0.12
Tubería 37	100	38.1	0.08	0.07
Tubería 38	41	50	0.83	0.42
Tubería 39	60.1	43.9	0.63	0.42
Tubería 40	35.4	38.9	0.58	0.49
Tubería 42	58	38.1	0.03	0.02
Tubería 43	88.8	38.1	-0.08	0.07
Tubería 44	164	38.1	0.11	0.10
Tubería 46	57.3	38.9	0.44	0.37
Tubería 48	84.1	38.1	-0.06	0.05
Tubería 49	87.3	38.1	0.06	0.05
Tubería 51	87.9	38.1	-0.05	0.05
Tubería 52	79.5	38.1	0.10	0.09
Tubería 53	56	38.1	0.05	0.04
Tubería 55	45.3	38.1	0.06	0.05
Tubería 56	49.9	38.9	0.25	0.21
Tubería 57	123	81.6	2.50	0.48

Tabla 18. Datos de los nodos, arrojados por EPANETTabla 19. Datos de las tuberías, EPANET

### 5.6.6ta. Modelación

Analizando que si ocurre un incremento en el número de la población el trazado iba obteniendo resultados cada vez más viables, esto gracias a la interpretación de todas las modelaciones anteriores que con las distintas modificaciones iban mejorando se llega a la conclusión que era necesario crear una estrategia para obtener resultados satisfactorios utilizando los datos recopilados por el cabecilla del corregimiento refiriéndose al número de habitantes, se descubre que este es un dato clave el cual es significativo para tenerlo en cuenta y analizar qué cambios tenia y como se comportaba el trazado, esto se hizo posible gracias a la metodología de cálculo que fue propuesta, por la cual se llegó a una estimación de 2300 habitantes con una densidad poblacional de 101,90 hab/ha. y un caudal de diseño de 15,912 l/s. al introducir los valores de la demanda de cada nodo calculadas con los datos anteriores y correr la modelación se obtuvieron resultados satisfactorios; todas las presiones en las conexiones y las velocidades en la red matriz presentaban valores significativos, algunos tubos de la red secundaria cumplían, pero no en su totalidad.

Figura 8. Trazado de la red del sistema de acueducto en la sexta modelación



Fuente. Modelación en Epanet

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 5	174	1.302	1.30	191.81	17.81
Conexión 6	164	0.549	0.55	189.66	25.66
Conexión 7	159	0.326	0.33	189.32	30.32
Conexión 8	159	0.549	0.55	187.81	28.81
Conexión 9	159	0.081	0.08	189.24	30.24
Conexión 10	159	0.142	0.14	189.22	30.22
Conexión 11	154	0.346	0.35	186.70	32.70
Conexión 12	154	0.366	0.37	187.55	33.55
Conexión 13	159	0.186	0.19	186.77	27.77
Conexión 14	154	0.163	0.16	186.58	32.58
Conexión 15	154	0.366	0.37	186.37	32.37
Conexión 16	154	0.265	0.27	186.53	32.53
Conexión 17	159	0.122	0.12	186.49	27.49
Conexión 18	159	0.122	0.12	186.47	27.47
Conexión 19	159	0.244	0.24	186.43	27.43
Conexión 20	159	0.244	0.24	185.66	26.66
Conexión 21	159	0.366	0.37	183.04	24.04
Conexión 22	159	0.529	0.53	182.27	23.27
Conexión 23	159	0.366	0.37	183.22	24.22
Conexión 24	159	0.163	0.16	183.16	24.16
Conexión 25	159	0.346	0.35	183.98	24.98
Conexión 26	167	0.407	0.41	183.14	16.14
Conexión 27	169	0.733	0.73	182.32	13.32
Conexión 28	171	0.427	0.43	181.55	10.55
Conexión 29	169	0.366	0.37	182.75	13.75
Conexión 30	169	0.224	0.22	183.08	14.08
Conexión 31	167	0.346	0.35	183.37	16.37
Conexión 32	159	0.407	0.41	184.26	25.26
Conexión 33	167	0.305	0.31	183.13	16.13
Conexión 34	159	0.407	0.41	183.87	24.87
Conexión 35	160	0.610	0.61	184.71	24.71
Conexión 36	159	0.326	0.33	184.57	25.57
Conexión 37	159	0.366	0.37	184.13	25.13
Conexión 38	159	0.346	0.35	183.90	24.90
Conexión 39	160	0.712	0.71	182.58	22.58
Conexión 40	160	0.366	0.37	182.99	22.99
Conexión 41	160	0.427	0.43	183.34	23.34
Conexión 42	160	0.387	0.39	182.95	22.95
Conexión 43	160	0.265	0.27	182.35	22.35
Conexión 44	160	0.387	0.39	182.14	22.14
Conexión 45	160	0.305	0.31	182.98	22.98
Conexión 46	160	0.305	0.31	183.15	23.15
Conexión 47	160	0.346	0.35	182.83	22.83
Embalse 1	195	No Disponible	-15.91	195.00	0.00

Tabla 20. Datos de los nodos, arrojados por EPANET

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	96.6	105.0	14.61	1.69
Tubería 2	46.2	38.9	0.55	0.46
Tubería 4	96	105.0	13.51	1.56
Tubería 5	42.4	38.1	0.22	0.20
Tubería 6	33	38.1	0.14	0.12
Tubería 8	77.9	105.0	-11.40	1.32
Tubería 9	62.4	43.9	1.20	0.79
Tubería 10	45.2	38.9	0.49	0.41
Tubería 11	24.8	38.1	0.12	0.11
Tubería 12	29.7	38.1	0.24	0.21
Tubería 13	23.5	38.1	0.53	0.46
Tubería 14	52.7	38.1	0.37	0.32
Tubería 16	62.9	38.1	-0.37	0.32
Tubería 17	73.6	38.1	0.27	0.23
Tubería 18	80.9	105.0	10.78	1.25
Tubería 22	145	38.1	0.43	0.37
Tubería 23	24.5	38.1	-1.16	1.02
Tubería 24	45.9	38.1	-0.41	0.36
Tubería 25	67	66.9	-1.75	0.50
Tubería 26	80.6	38.1	0.37	0.32
Tubería 28	78.5	38.1	-0.31	0.27
Tubería 29	89.1	66.9	-2.81	0.80
Tubería 30	76.2	38.1	-0.35	0.30
Tubería 32	79.5	38.1	-0.41	0.36
Tubería 33	63	81.6	-3.97	0.76
Tubería 34	76.9	105.0	10.54	1.22
Tubería 36	78.5	38.1	-0.89	0.79
Tubería 37	100	38.1	0.53	0.46
Tubería 38	41	105.0	5.25	0.61
Tubería 39	60.1	81.6	4.03	0.77
Tubería 40	35.4	81.6	3.66	0.70
Tubería 42	58	38.1	0.16	0.14
Tubería 43	88.8	38.1	-0.53	0.46
Tubería 44	164	38.1	0.71	0.62
Tubería 46	57.3	66.9	2.79	0.79
Tubería 48	84.1	38.1	-0.37	0.32
Tubería 49	87.3	38.1	0.39	0.34
Tubería 51	87.9	38.1	-0.35	0.30
Tubería 52	79.5	38.9	0.65	0.55
Tubería 53	56	38.1	0.31	0.27
Tubería 55	45.3	38.1	0.39	0.34
Tubería 56	49.9	66.9	1.61	0.46
Tubería 57	123	105.0	15.91	1.84

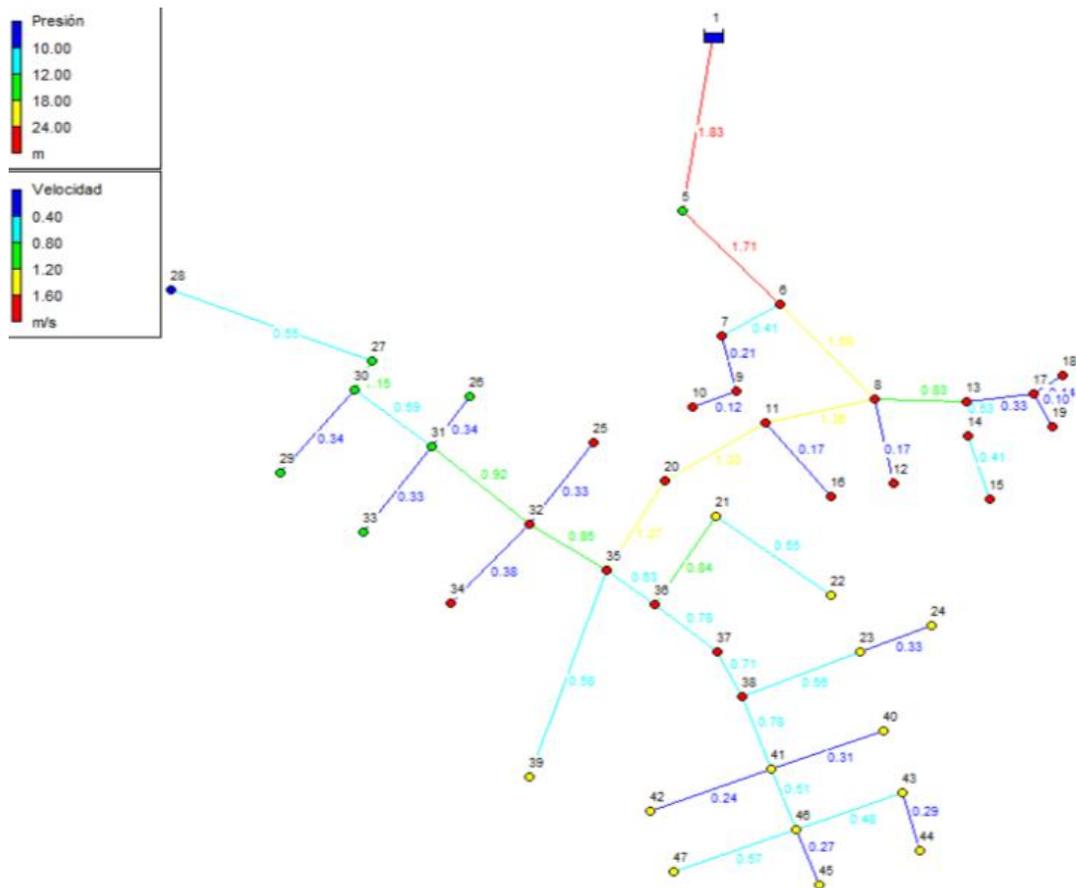
Tabla 21. Datos de las tuberías, EPANET

### 5.7.7ma. Modelación

Con el objeto de buscar mejorar el diseño, se hicieron correcciones en el cálculo de la demanda base para cada nodo, verificando el cálculo mediante el -método de las áreas-arrojando resultados más contundentes y ventajosos para la modelación. De esta manera al correr el diseño se obtuvo que los valores aumentaron significativamente, todas las presiones cumplían al igual que todas las velocidades del trazado a excepción de unas cuantas pertenecientes a tubos secundarios.

De esta manera después de la aplicación de varia estrategias y la evaluación de los resultados se llega a un modelo el cual es el más viable para el abastecimiento de la población. Este trazado está conformado por 43 conexiones, 18 tramos de red matriz y 25 tramos de red secundaria.

Figura 9. Trazado de la red del sistema de acueducto en la séptima modelación



Fuente. Modelación en Epanet

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 5	174	1.034	1.03	191.82	17.82
Conexión 6	164	0.702	0.70	189.61	25.61
Conexión 7	159	0.234	0.23	189.32	30.32
Conexión 8	159	0.488	0.49	187.71	28.71
Conexión 9	159	0.098	0.10	189.24	30.24
Conexión 10	159	0.137	0.14	189.21	30.21
Conexión 11	154	0.332	0.33	186.55	32.55
Conexión 12	154	0.195	0.19	187.63	33.63
Conexión 13	159	0.273	0.27	186.60	27.60
Conexión 14	154	0.137	0.14	186.37	32.37
Conexión 15	154	0.468	0.47	186.04	32.04
Conexión 16	154	0.195	0.19	186.44	32.44
Conexión 17	159	0.098	0.10	186.41	27.41
Conexión 18	159	0.156	0.16	186.39	27.39
Conexión 19	159	0.117	0.12	186.39	27.39
Conexión 20	159	0.195	0.19	185.43	26.43
Conexión 21	159	0.332	0.33	182.53	23.53
Conexión 22	159	0.624	0.62	181.50	22.50
Conexión 23	159	0.273	0.27	182.60	23.60
Conexión 24	159	0.371	0.37	182.36	23.36
Conexión 25	159	0.371	0.37	183.52	24.52
Conexión 26	167	0.390	0.39	182.49	15.49
Conexión 27	169	0.683	0.68	181.37	12.37
Conexión 28	171	0.624	0.62	179.87	8.87
Conexión 29	169	0.390	0.39	181.94	12.94
Conexión 30	169	0.390	0.39	182.31	13.31
Conexión 31	167	0.371	0.37	182.70	15.70
Conexión 32	159	0.449	0.45	183.84	24.84
Conexión 33	167	0.371	0.37	182.37	15.37
Conexión 34	159	0.429	0.43	183.42	24.42
Conexión 35	160	0.468	0.47	184.40	24.40
Conexión 36	159	0.410	0.41	184.25	25.25
Conexión 37	159	0.351	0.35	183.80	24.80
Conexión 38	159	0.312	0.31	183.57	24.57
Conexión 39	160	0.663	0.66	182.52	22.52
Conexión 40	160	0.351	0.35	182.70	22.70
Conexión 41	160	0.332	0.33	183.02	23.02
Conexión 42	160	0.273	0.27	182.80	22.80
Conexión 43	160	0.234	0.23	182.16	22.16
Conexión 44	160	0.332	0.33	182.01	22.01
Conexión 45	160	0.312	0.31	182.62	22.62
Conexión 46	160	0.273	0.27	182.79	22.79
Conexión 47	160	0.645	0.64	181.83	21.83
Embalse 1	195	No Disponible	-15.88	195.00	0.00

Tabla 22. Datos de los nodos, arrojados por EPANET

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	96.6	105.0	14.85	1.71
Tubería 2	46.2	38.1	0.47	0.41
Tubería 4	96	105.0	13.68	1.58
Tubería 5	42.4	38.1	0.23	0.21
Tubería 6	33	38.1	0.14	0.12
Tubería 8	77.9	105.0	-11.75	1.36
Tubería 9	62.4	43.9	1.25	0.83
Tubería 10	45.2	38.1	0.37	0.33
Tubería 11	24.8	38.1	0.16	0.14
Tubería 12	29.7	38.1	0.12	0.10
Tubería 13	23.5	38.1	0.60	0.53
Tubería 14	52.7	38.1	0.47	0.41
Tubería 16	62.9	38.1	-0.19	0.17
Tubería 17	73.6	38.1	0.19	0.17
Tubería 18	80.9	105.0	11.22	1.30
Tubería 22	145	38.1	0.62	0.55
Tubería 23	24.5	38.1	-1.31	1.15
Tubería 24	45.9	38.1	-0.39	0.34
Tubería 25	67	66.9	-2.09	0.59
Tubería 26	80.6	38.1	0.39	0.34
Tubería 28	78.5	38.1	-0.37	0.33
Tubería 29	89.1	66.9	-3.22	0.92
Tubería 30	76.2	38.1	-0.37	0.33
Tubería 32	79.5	38.1	-0.43	0.38
Tubería 33	63	81.6	-4.47	0.85
Tubería 34	76.9	105.0	11.02	1.27
Tubería 36	78.5	38.1	-0.96	0.84
Tubería 37	100	38.1	0.62	0.55
Tubería 38	41	105.0	5.42	0.63
Tubería 39	60.1	81.6	4.06	0.78
Tubería 40	35.4	81.6	3.71	0.71
Tubería 42	58	38.1	0.37	0.33
Tubería 43	88.8	38.1	-0.64	0.56
Tubería 44	164	38.1	0.66	0.58
Tubería 46	57.3	66.9	2.75	0.78
Tubería 48	84.1	38.1	-0.35	0.31
Tubería 49	87.3	38.1	0.27	0.24
Tubería 51	87.9	38.1	-0.64	0.57
Tubería 52	79.5	38.9	0.57	0.48
Tubería 53	56	38.1	0.31	0.27
Tubería 55	45.3	38.1	0.33	0.29
Tubería 56	49.9	66.9	1.80	0.51
Tubería 57	123	105.0	15.88	1.83

Tabla 23. Datos de las tuberías, EPANET

## 5.8. Análisis y resultados

### 5.8.1. *Diseño de la red de distribución*

La red de distribución del corregimiento Las Palmas está conformada por 18 tramos de tubería de la red matriz y 25 tramos de tubería de la red secundaria. Las tuberías de la red de distribución serán construidas con PVC, ya que este material es resistente y posee un bajo costo, aspectos que, según la normativa del RAS-2000, son trascendentales a la hora de diseñar la red de distribución.

Dado que se trata de un nivel bajo de complejidad, se colocará una única válvula de sectorización para toda la red de distribución, ya que, aunque es necesario sectorizar la red de distribución, según la norma RAS-2000, para el caso del nivel bajo de complejidad es permitido no seguir este parámetro gracias a las características referentes a la población.

Por otro lado, debido a la topografía del corregimiento y la norma RAS-2000, no se colocaran válvulas de purgas ni válvulas extractoras de aire, ya que esto es necesario únicamente para los niveles medio y alto de complejidad del sistema y, además, las variaciones de profundidad en los nodos es pequeña, por lo que no se considera necesaria la instalación de estos accesorios. A continuación se presentan los datos necesarios para determinar los caudales de diseño de cada una de las tuberías de la red de distribución.

- a) Área: 13,06 ha
- b) Población: 2300 habitantes
- c) Densidad: 101,90 hab/ha

Se ha supuesto una densidad uniforme para toda la población (área del corregimiento), puesto que, actualmente, Las Palmas no presenta un desarrollo comercial y/o

industrial considerable; por otro lado, no es posible establecer con precisión la densidad de ciertas zonas del área.

En la tabla 24 describe la distribución de los caudales en cada uno de los nodos que conforman la red de distribución:

Tabla 24. Calculo de la demanda por nodo

<b>Nodo</b>	<b>Área afereente. (Ha)</b>	<b>Área afereente.(m2)</b>	<b>Hab*nodo</b>	<b>Factor de demanda.</b>	<b>Demanda por Nodo. (l/s)</b>
<b>5</b>	1,470	14700,000	149,754	0,065	1,036
<b>6</b>	0,998	9980,000	101,720	0,044	0,704
<b>7</b>	0,333	3330,000	33,907	0,015	0,235
<b>8</b>	0,693	6930,000	70,639	0,031	0,489
<b>9</b>	0,139	1390,000	14,128	0,006	0,098
<b>10</b>	0,194	1940,000	19,779	0,009	0,137
<b>11</b>	0,471	4710,000	48,034	0,021	0,332
<b>12</b>	0,277	2770,000	28,256	0,012	0,195
<b>13</b>	0,388	3880,000	39,558	0,017	0,274
<b>14</b>	0,194	1940,000	19,779	0,009	0,137
<b>15</b>	0,666	6660,000	67,813	0,029	0,469
<b>16</b>	0,277	2770,000	28,256	0,012	0,195
<b>17</b>	0,139	1390,000	14,128	0,006	0,098
<b>18</b>	0,222	2220,000	22,604	0,010	0,156
<b>19</b>	0,166	1660,000	16,953	0,007	0,117
<b>20</b>	0,277	2770,000	28,256	0,012	0,195
<b>21</b>	0,471	4710,000	48,034	0,021	0,332
<b>22</b>	0,887	8870,000	90,418	0,039	0,626
<b>23</b>	0,388	3880,000	39,558	0,017	0,274
<b>24</b>	0,527	5270,000	53,686	0,023	0,371
<b>25</b>	0,527	5270,000	53,686	0,023	0,371
<b>26</b>	0,555	5550,000	56,511	0,025	0,391
<b>27</b>	0,971	9710,000	98,894	0,043	0,684
<b>28</b>	0,887	8870,000	90,418	0,039	0,626
<b>29</b>	0,555	5550,000	56,511	0,025	0,391
<b>30</b>	0,555	5550,000	56,511	0,025	0,391

<b>31</b>	0,527	5270,000	53,686	0,023	0,371
<b>32</b>	0,638	6380,000	64,988	0,028	0,450
<b>33</b>	0,527	5270,000	53,686	0,023	0,371
<b>34</b>	0,610	6100,000	62,162	0,027	0,430
<b>35</b>	0,666	6660,000	67,813	0,029	0,469
<b>36</b>	0,582	5820,000	59,337	0,026	0,411
<b>37</b>	0,499	4990,000	50,860	0,022	0,352
<b>38</b>	0,444	4440,000	45,209	0,020	0,313
<b>39</b>	0,943	9430,000	96,069	0,042	0,665
<b>40</b>	0,499	4990,000	50,860	0,022	0,352
<b>41</b>	0,471	4710,000	48,034	0,021	0,332
<b>42</b>	0,388	3880,000	39,558	0,017	0,274
<b>43</b>	0,333	3330,000	33,907	0,015	0,235
<b>44</b>	0,471	4710,000	48,034	0,021	0,332
<b>45</b>	0,444	4440,000	45,209	0,020	0,313
<b>46</b>	0,388	3880,000	39,558	0,017	0,274
<b>47</b>	0,915	9150,000	93,243	0,041	0,645

Para determinar el caudal de cada uno de los nodos de la red, se subdividió el área total de Las Palmas en pequeñas áreas, las cuales correspondían a las áreas aferentes a cada nodo, luego, se calculó el número de habitantes por nodo multiplicando la densidad de la población por el área aferente a cada uno. Después, se calculó el factor de demanda, dividiendo el número de habitantes por nodo entre la población proyectada. Finalmente, se halló la demanda por nodo, multiplicando el factor de demanda por el caudal de diseño de la red de distribución.

Los datos hallados se introdujeron en el programa EPANET, permitiendo modelar la red de distribución, con el fin de obtener los valores permisibles para velocidades, presiones, etc.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el diseño de un Sistema de Agua Potable en una zona rural se requiere de una serie de normas y criterios que no necesariamente deben ser las normas del sector urbano, debido a que existen diferencias en ambos medios, considerando dentro de esas diferencias los factores culturales, económicos y sociales. La población a servir es el parámetro básico, para dimensionar los elementos que constituyen el sistema. La metodología generalmente aplicada, requiere la investigación de las tasas de crecimiento histórico, las que sirven de base para efectuar la proyección de población. (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados).

La poca cantidad de personas en el corregimiento afectó significativamente la recopilación de datos, las autoridades pertinentes no cuentan con censos ni con documentos que contengan las características de la zona para así poder estudiar las condiciones de ésta, por lo que fue necesario encontrar información directamente en la localidad la cual nos indicara como había sido el comportamiento y como procedía la densidad poblacional a lo largo de los años, es decir, dado que no se contaba con registros de censo de Las Palmas, fue necesario establecer una tasa de crecimiento para este corregimiento, correspondiente a la tasa de crecimiento de la cabecera municipal, San Jacinto. Así, se determinó que la población de diseño para el 2025 era igual a 126 habitantes, un número bastante reducido.

Junto con algunos integrantes de la casa de San Jacinto que apadrina Las Palmas y con el líder comunitario Fidel Serpa se recurrió a realizar entrevistas a los Palmeros fundadores en busca de información, los cuales por su experiencia y por ser oriundos del corregimiento conocen ampliamente la historia y características de este, adquiriendo así relatos que ayudasen a la obtención de conceptos importantes, también fue necesario realizar varios recorridos por todo el área para encontrar un reporte topográfico y geográfico, un régimen de lluvias, vegetación, ubicación, tamaño de la población, entre otros; hallando de esta manera información útil para el

diseño. Por tal razón se afirma que el estudio y conceptualización de Las Palmas fue una tarea muy difícil debido a la escasa información de las fuentes.

Desde el inicio del estudio de la zona la población en el corregimiento era muy poca por esta razón se fue modelando con estos datos, al igual que con el último censo realizado por el DANE (2005), los resultados obtenidos fueron desfavorables para la cobertura del sistema; afortunadamente a lo largo de los meses al corregimiento han ido reinsertando muchos de los habitantes, mostrando de esta manera un comportamiento viable refiriéndose al mejoramiento de las condiciones de vida con la implementación del sistema y por ende la facilidad de volver a la localidad, de esta manera se espera que los resultados sean aún más satisfactorios en el futuro.

Por otra parte se busco solucionar la gran incertidumbre del caudal de diseño el cual abastecería la modelación; los caudales de diseño de cada una de las estructuras especialmente la de la red de distribución resultaron ser muy pequeños, por ello, no se pudo diseñar con los datos existentes en ese momento un sistema de tuberías que satisficiera el rango de valores permitidos para distintas variables como la velocidad, el diámetro, etc.

En este proceso de búsqueda del caudal óptimo fue necesario la variación de todos los parámetros que hay que tener en cuenta a la hora de realizar la modelación de una red tipo prueba y error llegando a la importante conclusión que el parámetro sensible el cual debía ser modificado y ajustado para que el modelo arrojara datos confiables fue la población. Por lo que se necesitó variar este componente estudiando las posibilidades de reinsertación; en este momento se plantea la idea de volver a habitar las 460 viviendas que actualmente se encuentran en buen estado, por familias conformadas por 5 personas obteniendo una población de diseño de 2300 habitantes. También fue necesario hacer trabajo en campo recorriendo el sector para encontrar una fuente de abastecimiento cercana de donde se haría la captación el recurso, se encontraron unas lagunas y jagüeyes que cuentan con gran oferta hídrica pero analizando el comportamiento de estos cuerpos en los diferentes periodos del año tanto de sequía como de invierno se escogió la laguna que mejores condiciones presentaba en cuanto a capacidad del líquido y a su elevación.

Después de la modelación del sistema de acueducto para la población de Las Palmas se concluye que se logró establecer una aproximación metodológica para la obtención de un diseño óptimo el cual acogiera las características que presentan aquellas zonas similares al corregimiento que cuentan con bajas poblaciones. Durante el estudio de la normatividad que rige a Colombia en el campo del agua potable y saneamiento básico se analizó que no se tiene en cuenta dentro de su metodología la baja densidad poblacional por lo cual fue necesario crear estrategias de diseño que alcanzaran el objetivo de abastecer la localidad y al mismo tiempo que se encontrase dentro de las especificaciones de las normas vigentes.

Dentro de la metodología de un diseño de acueducto este trabajo de investigación se basa netamente en la modelación y trazado de la red de distribución; por eso fue necesario la obtención de mapas los cuales permitieran visualizar la distribución de las casas y las zonas más pobladas, para así proceder con el trazado de redes primarias y secundarias por los sectores más habitados, de tal manera que este abasteciera los lugares de mayor influencia poblacional.

Posteriormente se fue modificando la red de abastecimiento, en varias ocasiones, con el fin de conseguir caudales suficientemente grandes como para satisfacer los parámetros de diseño. Por esta razón, se evaluó la posibilidad de la construcción de pilas comunitarias para que los habitantes pudiesen abastecerse del precioso líquido. Sin embargo, y a pesar de las medidas que se tomaron, no fue posible determinar diámetros que permitieran transportar el caudal de diseño de la red de distribución. De esta manera, fue necesario seguir llevando a cabo reducciones y modificaciones de tramos de tuberías en la red con el fin de hallar valores adecuados con los que se pueda transportar el caudal deseado.

Se necesitó realizar una serie de modelos los cuales al analizar y evaluar los resultados iban mostrando en donde se encontraban las falencias para de esta manera corregirlas, hasta que se llegó a la modelación número 7 en la cual se realizaron modificaciones en el cálculo de la

demanda base para cada nodo, verificando el cálculo mediante el -método de las áreas-arrojando resultados más contundentes y ventajosos para el trazado. De esta manera al correr el diseño se obtuvo que los valores aumentaron significativamente, todas las presiones cumplían al igual que todas las velocidades de las tuberías a excepción de unas cuantas pertenecientes a tubos secundarios. Por esta razón se afirma que la modelación presentaba debilidades en cuanto al cumplimiento de algunas velocidades mínimas para un nivel de complejidad Bajo, esto podría ajustarse disminuyendo el diámetro de la tubería pero de esta manera se estaría saliendo del rango permitido, se presentarían diámetros muy pequeños por los cuales se decidió no modificarlos. Afortunadamente después de varias correcciones se obtuvo un equilibrio en todos los componentes necesarios para crear el diseño de la red y que los resultados obtenidos cumplieran con los requerimientos establecidos por la normatividad vigente en Colombia.

Se concluye que después de la aplicación de varias estrategias y la evaluación de los resultados se llega a un modelo el cual es el más viable para el abastecimiento de la población. Este trazado está diseñado para un cumplir con un caudal de diseño de 15.912 l/s; consta de una red matriz de la cual desencadenan tuberías secundarias en los sitios más estratégicos y en los lugares más poblados por las viviendas, presentado forma de espina de pescado; la red de distribución está conformada por 43 conexiones, 18 tramos de red matriz y 25 tramos de red secundaria respectivamente.

Durante la búsqueda e investigación de las últimas tecnologías las cuales estudiaran el mismo problema se pudo observar que existen muchas entidades que se encargan de dar solución a la temática del abastecimiento del agua, este es un tema fundamental al cual las autoridades deberían dar prioridad, ya que encontrar soluciones a poblaciones que carezcan de este sistema significa mejorar sus condiciones de vida. Esta problemática ha venido mejorando con el tiempo ya que anteriormente los proyectos que se presentaban en el campo de acueducto, alcantarillado y saneamiento básico se basaban en diseñar un sin número de sistemas para ciudades o pueblos que presentasen un índice alto o normal de habitantes, por esto este proyecto se justifica en que no hay que dejar atrás la idea de que sitios con un alto índice de pobreza, los cuales presentan

condiciones precarias como es el caso Las Palmas al igual que todos los lugares con baja densidad poblacional también tiene derecho a contar con la prestación de los servicios públicos básicos los cuales son esenciales para vivir.

Después del análisis de los resultados y de las limitaciones observadas se recomienda para proyectos que guarden similitud con el presente, y que además busquen alcanzar el mismo objetivo, analizar cada uno de los aspectos que conforman el proceso de diseño del sistema con el fin de descubrir cuál de estos parámetros necesita ser estudiado, evaluado y modificado para la obtención de los resultados que se buscan y que a la vez cumplan con toda la normatividad.

Por último se puede concluir que la aplicación de un sistema convencional (metodología establecida por el RAS 2000) no es el más adecuado y ventajoso económicamente en los casos donde las localidades posean un bajo nivel poblacional.

Por esta razón se llega al análisis que para estas situaciones específicamente, es preciso proponer un sistema de abastecimiento de agua el cual se vaya desarrollando y ejecutando por etapas para suplir del recurso a la población que en ese momento habita la zona (nivel bajo); a medida que en el sector vaya creciendo el número de habitantes y en nuestro caso de estudio retornando las personas desplazadas, se irán implementando poco a poco nuevas etapas del sistema.

Para el diseño de un sistema de acueducto, en este caso se propone la creación de pilas comunitarias en puntos estratégicos donde exista la mayor concentración de viviendas, con el propósito de que la población no tenga que recorrer grandes distancias para abastecerse del recurso. Posteriormente se puede ir gestionando la implementación de una red matriz para que se preste el servicio en puntos estratégicos; luego ir mejorando el sistema si se llega a establecer una mayor densidad de personas en la localidad.

## REFERENCIAS

Alfonso, M. (Octubre, 2002). *Programa para el diseño y simulación de redes hidráulicas*. XXVIII congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Epared, Cancún, México. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/vii-002.pdf>

Carvajal, E., Espinoza, P. & García, R. (2011). *Sistema de transporte de fluidos*, Universidad Veracruzana. Recuperado el 16 de Mayo de 2012, de <http://www.slideshare.net/ElvisCarvajalFiguroa/tc3-11920813>

Corporación Transparencia por Colombia. (2009). Cap. Transparencia Internacional: *Riesgos en el proceso de conceptualización y diseño de acueductos y alcantarillados en Colombia*. Recuperado de [www.transparenciacolombia.org.co/Portals/0/.../Cuaderno%2017.pdf](http://www.transparenciacolombia.org.co/Portals/0/.../Cuaderno%2017.pdf)

EEPPM (2006). *Aspectos generales de los sistemas de acueducto (1ra Edición)*. Recuperado de [http://es.scribd.com/doc/35115401/Normas-Acueducto-Vesion-Final#outer\\_page\\_35](http://es.scribd.com/doc/35115401/Normas-Acueducto-Vesion-Final#outer_page_35)

Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola de ciudad real. *Hidráulica, generalidades*. (s.f.). Recuperado de [http://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Trans\\_hidr/Tema1.pdf](http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema1.pdf)

Geografía de Las palmas, San Jacinto. (s.f.). Recuperado el 17 de Abril de 2011, de [http://es.wikipedia.org/wiki/San\\_Jacinto\\_\(Colombia\)](http://es.wikipedia.org/wiki/San_Jacinto_(Colombia)), localización obtenida en Google Earth.

González F. & Parada C. (2008). *Proyecto de mejoramiento del sistema de agua potable rural de la localidad de Pahuil, provincia de Cauquenes*. (Tesis de grado). Universidad Católica del Maule, Chile. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/6465334/TESIS>

*Importancia de los sistemas de acueducto*, (s.f.). Recuperado el 10 de Mayo de 2011, de <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20110119152526AApgrp0>

INAA (Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados). (s.f.). Abastecimiento de agua. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/potabili3.pdf>

Izquierdo, J., Pérez, R., Fuertes, V., Iglesias, P. & López, A. (2003, 10 de Julio). Matemáticas para la industria del agua. *Ingeniería del agua*, vol. 11, (2). Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/1757/1/2.pdf>

López Cualla, R. (1995). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico; Sección II, Título B: Sistemas de acueducto*. Recuperado de [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4.\\_Sistemas\\_de\\_acueducto.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf)

Programa de Agua y Saneamiento (PAS) & Banco Mundial, Grupo Temático sobre Agua y Saneamiento Rural (GTASR). (2005). Pequeños Sistemas de Abastecimiento de Agua para Múltiples Localidades - Un Nuevo Reto. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd16/pequenos.pdf>

Programa de Desarrollo y Paz de los Montes de María - III laboratorio de paz, Universidad de Cartagena. (2005). *Observatorio de cultura política, paz, convivencia y desarrollo de los Montes de María*. Recuperado el 3 de Abril de 2011, <http://www.observatoriomontesdemaria.org/userimagesobservatorio/file/METODOLOGIA-PARA-LA-GERENCIA-DE-LA-INFORMACION.pdf>

Rocha, A. (1978). *Hidráulica de Tuberías y Canales - La resistencia de superficie en el movimiento uniforme- (cap.3)*. Perú: 1ra edición Universidad Nacional de Ingeniería.

Rodríguez, P. (2010, Octubre). *Cálculo de población y periodo de diseño – sistema de agua potable*. Recuperado el 3 de Mayo de 2012, del sitio Web de Google: <http://civilgeeks.com/2010/10/07/calculo-de-poblacion-y-periodo-de-diseno-sistema-de-agua-potable/>

Saldarriaga, J. (1988). *Hidráulica de tuberías*. Mc GRAW-HILL: Santafé de Bogotá, D. C. Colombia.

Sotelo, G. (1998) *Hidráulica General*. (Vol. I). México: Limusa

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2008). *Políticas colombiana para el saneamiento básico: experiencias logros y retos*. Recuperado de <http://www.eclac.cl/drni/noticias/noticias/0/34110/4SRAUribe.pdf>

United Nations (2002). *Johannesburg Summit Secretary-General Calls for Global Action on Water Issues*

Ven Te Chow. (1982). *Hidráulica de los canales abiertos*. McGRAW-HIL

## ANEXOS



Arroyo de Las Palmas; ubicado a las orillas de Las Palmas, a una distancia aproximadamente de 173 metros de la entrada principal , con una posición astronómica de latitud  $9^{\circ}51'26.30''N$  y longitud  $75^{\circ}1'32.50''O$ . En este sitio, específicamente, se almacena una gran cantidad de metros cúbicos del agua del arroyo durante todo el año. Su profundidad puede estar entre 1.5 y 2 metros aproximadamente.



Aguas del arroyo almacenadas durante los tiempos de lluvias, y que perdura durante gran parte de la temporada seca.



Trocha o camino hacia el arroyo.



Entrada principal al corregimiento Las Palmas. Al fondo se pueden observar algunas de las viviendas de la población que han sido abandonadas debido al conflicto armado del que fue víctima esta población.