

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**



**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN  
PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN  
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN PLAN DE MEJORAS  
DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE POR GRAVEDAD DE UNA PEQUEÑA  
COMUNIDAD DE EL LLANO DE ALAJUELITA**

**ELABORADO POR:**

**RICARDO BARBOZA SALAZAR**

**SAN JOSÉ, MAYO 2021**

## Tabla de contenido

<b>Resumen Ejecutivo.....</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo I: Introducción.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos .....	15
<b>1.3 Justificación .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Antecedentes.....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Limitaciones.....</b>	<b>33</b>
<b>1.6 Proyecciones.....</b>	<b>34</b>
<b>Capítulo II: Marco teórico.....</b>	<b>34</b>
<b>2.1 El agua y sistemas de abastecimiento .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2 Elementos que conforman un acueducto por gravedad .....</b>	<b>39</b>
2.2.1 Fuentes de abastecimiento .....	39
2.2.2 Captación de Agua .....	41
2.2.3 Conducción.....	45
2.2.4 Potabilización o desinfección del agua .....	46
2.2.5 Cloración .....	47
2.2.6 Tanques de almacenamiento .....	51
2.2.7 Redes de distribución.....	53
<b>2.3 Parámetros básicos de diseño.....</b>	<b>54</b>
2.3.1 Población de diseño .....	55
2.3.2 Período de diseño .....	56
<b>2.4 Consumo de agua.....</b>	<b>57</b>
2.4.1 Dotaciones.....	57
2.4.2 Consumo neto .....	59
2.4.3 Consumo bruto .....	59
<b>2.5 Caudal de diseño.....</b>	<b>60</b>
2.5.1 Factores de demanda máxima .....	60
2.5.2 Consumo promedio diario .....	60
2.5.3 Consumo Máximo Diario.....	61
2.5.4 Consumo máximo horario.....	61
2.5.5 Caudal de incendio .....	61
2.5.6 Caudal de diseño .....	62
<b>2.6 Tuberías de distribución .....</b>	<b>62</b>
2.6.1 Velocidades .....	63
2.6.2 Presiones .....	64
2.6.3 Dimensionamiento de tuberías.....	64
2.6.4 Diámetro mínimo .....	65
2.6.5 Pérdidas de carga en el sistema.....	66

2.6.6 Accesorios .....	68
2.6.7 Válvulas .....	70
2.6.8 Golpe de ariete.....	72
<b>2.7 Mantenimiento del sistema de abastecimiento.....</b>	<b>74</b>
2.7.1 Mantenimiento predictivo .....	74
2.7.2 Mantenimiento preventivo .....	75
2.7.3 Mantenimiento correctivo .....	81
<b>2.8 Trámites necesarios para el cumplimiento legal .....</b>	<b>81</b>
2.8.1 Dirección de Agua .....	82
2.8.2 Conformación legal de una ASADA .....	83
<b>Capítulo III: Marco metodológico .....</b>	<b>85</b>
<b>3.1 Enfoque de la investigación .....</b>	<b>85</b>
<b>3.2 Diseño de investigación .....</b>	<b>85</b>
<b>3.3 Fuentes de información .....</b>	<b>87</b>
<b>3.4 Muestreo Concurrente .....</b>	<b>88</b>
<b>3.5 Variables o unidades de diseño.....</b>	<b>88</b>
<b>3.5.1 Tabla de unidades cuantitativas.....</b>	<b>88</b>
<b>3.5.2 Tabla de unidades cualitativas .....</b>	<b>91</b>
<b>3.6 Instrumentos .....</b>	<b>92</b>
<b>Capítulo IV: Análisis de resultados.....</b>	<b>93</b>
<b>4.1 Recopilación de datos y análisis de sistema actual.....</b>	<b>93</b>
4.1.1 Análisis de infraestructura actual .....	93
4.1.2 Topografía del acueducto .....	95
4.1.3 Aforo de la fuente de abastecimiento .....	98
<b>4.2 Diseño hidráulico del sistema .....</b>	<b>101</b>
4.2.1 Población de diseño .....	101
4.2.2 Período de diseño .....	102
4.2.3 Caudal de diseño .....	102
4.2.4 Dimensionamiento del diámetro de tubería de distribución .....	104
4.2.5 Tanque de almacenamiento .....	105
4.2.6 Coeficiente de fricción (k) para accesorios .....	105
4.2.7 Análisis de ruta crítica .....	110
4.2.8 Cálculo de golpe de ariete.....	117
4.2.9 Dimensionamiento de la captación .....	119
<b>4.3 Sistema de desinfección .....</b>	<b>121</b>
4.3.1 Calidad del agua .....	121
4.3.2 Selección de sistema .....	126
4.3.2 Tanque de almacenamiento complementario.....	129
<b>4.5 Cumplimiento legal del acueducto .....</b>	<b>129</b>
4.5.1 Trámites en SETENA .....	129
4.5.2 Trámite en Dirección de Agua .....	131
4.5.3 Conformación legal de ASADA .....	132
<b>4.6 Mantenimiento del sistema.....</b>	<b>133</b>

4.6.1 Plan de mantenimiento para control de calidad del agua .....	133
4.6.2 Plan de mantenimiento para la Captación.....	135
4.6.3 Plan de mantenimiento para la Línea de Conducción .....	137
4.6.4 Plan de mantenimiento para Equipo de Desinfección.....	138
4.6.5 Plan de mantenimiento para el Tanque de Almacenamiento .....	138
4.6.6 Plan de mantenimiento para la Línea de Distribución .....	139
<b>4.7 Viabilidad del proyecto.....</b>	<b>140</b>
<b>4.8 Resumen de resultados obtenidos .....</b>	<b>143</b>
<b>Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>150</b>
5.1 Conclusiones .....	150
5.2 Recomendaciones .....	152
<b>Capítulo VI: Bibliografía .....</b>	<b>154</b>
<b>Capítulo VII: Anexos.....</b>	<b>159</b>
7.1 Anexo 1: tablas de inspección con metodología SERSA .....	159
7.2 Anexo 2: Fichas técnicas de tubería de agua potable marca Amanco.....	161
7.3 Anexo 3: Ficha técnica válvula de eliminación de aire marca Dorot .....	164
7.4 Anexo 4: Tabla de cálculo de ruta crítica .....	165
6.5 Anexo 5: Requisitos para trámite de viabilidad ambiental en SETENA para proyecto D1.....	166
7.6 Anexo 6: Solicitud de perforación y/o concesion para aprovechamiento de agua de la Dirección de Agua .....	167

### Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema de sistema propuesto para comunidad. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2009. ....	24
Ilustración 2. Sistema de captación de manantial de fondo. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2004.....	43
Ilustración 3. Gráfica para determinar coeficientes de K y C. Fuente: Golpe de ariete, 1987. ....	73
Ilustración 4. Diagrama de flujo de trabajo de investigación. Fuente: Propia .....	86
Ilustración 5. Obra actual de la Captación .....	94
Ilustración 6. Estado Actual de la línea de conducción .....	95
Ilustración 7. Trayecto del sistema de abastecimiento .....	96
Ilustración 8. Perfil de elevaciones del sistema. ....	96
Ilustración 9. Área de reserva de dominio del estado alrededor de la naciente .....	98
Ilustración 10. Medidas de recipiente utilizado para aforar.....	99
Ilustración 11. Probeta regulada utilizada.....	100
Ilustración 12. Método volumétrico en práctica .....	101

Ilustración 13. Medidas de canastilla para captación. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2004. ....	120
Ilustración 14. Sistema Accu-Tab 3012 con tambor de tabletas y flujómetro. Fuente: G&R Hidromedicación .....	127
Ilustración 15. Tambor de pastillas ACCUTAB 68% 25Kg 78 pastillas. ....	128
Ilustración 16. Pasos realizados por el dosificador por erosión Accu Tab 3012 ....	128

## Índice de tablas

Tabla 1. Nivel de complejidad del sistema según número de habitantes. Fuente: Sandoval, 2018. ....	18
Tabla 2. Valores de diseño de suministro de agua para beber. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Sociedad de Agricultores, 2002.....	21
Tabla 3. Dotación neta máxima por altura sobre el nivel del mar de zona atendida. Fuente: Arboleda, 2017. ....	23
Tabla 4. Factores para selección de opciones tecnología para el diseño del acueducto. Fuente: Barrios, 2009. ....	37
Tabla 5. Ventajas y desventajas de sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. Fuente: Barrios, 2009. ....	38
Tabla 6. Métodos comunes para el aforo de una fuente de abastecimiento. Fuente: Vividea, 2018.....	41
Tabla 7. Propiedades de los productos del cloro. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2007 .....	48
Tabla 8. Características del desinfectante. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2007 .....	49
Tabla 9. Clasificación de equipos de cloración. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2007. ....	50
Tabla 10. Cálculo del caudal de incendio. Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados(2017) .....	53
Tabla 11. Dotaciones mínimas diarias. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017. ....	58
Tabla 12. Dotaciones mínimas. Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) .....	60
Tabla 13. Velocidades máximas recomendadas. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017. ....	64
Tabla 14. Coeficientes máximos Hazen y Williams. Fuente: Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 2017. ....	65
Tabla 15. Rugosidades absolutas. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017. ....	68
Tabla 16. Coeficientes de resistencia (K) en válvulas y accesorios. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017. ....	69
Tabla 17. Continuación de coeficientes de resistencia (K) en válvulas y accesorios. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017. ....	69

Tabla 18. Mantenimiento preventivo en la captación de los manantiales. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001. ....	75
Tabla 19. Mantenimiento preventivo en las obras de conducción. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001. ....	76
Tabla 20. Mantenimiento Preventivo de dosificadores por solución. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001. ....	77
Tabla 21. Mantenimiento Preventivo de dosificadores en seco. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001. ....	78
Tabla 22. Mantenimiento Preventivo de sistemas de desinfección con hipoclorito de sodio. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001. ....	79
Tabla 23. Mantenimiento Preventivo de tanques de almacenamiento. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001. ....	80
Tabla 24. Mantenimiento Preventivo de redes de distribución. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001. ....	81
Tabla 25. Resultados de evaluación del acueducto con metodología SERSA .....	94
Tabla 26. Distancia total de la tubería de distribución .....	95
Tabla 27. Elevaciones de los distintos elementos del sistema de abastecimiento ....	97
Tabla 28. Volumen del recipiente para aforar .....	99
Tabla 29. Cálculo de caudal entregado por la fuente.....	100
Tabla 30. Población futura.....	102
Tabla 31. Período de diseño de los elementos del sistema de abastecimiento .....	102
Tabla 32. Dotación neta .....	103
Tabla 33. Consumo bruto del acueducto. ....	103
Tabla 34. Caudal de diseño para sistema de abastecimiento. ....	103
Tabla 35. Cálculo de diámetro interno estimado y diámetro interno real.....	104
Tabla 36. Volumen total del tanque de almacenamiento.....	105
Tabla 37. Coeficiente K tubería de 12mm pared gruesa ruta crítica punto de consumo de menor altitud.....	107
Tabla 38. Coeficiente K tubería de 12mm pared gruesa ruta crítica punto de consumo de mayor altitud.....	107
Tabla 39. Coeficiente K tubería de 12mm pared delgada ruta crítica punto de consumo de menor altitud.....	107
Tabla 40. Coeficiente K tubería de 12mm pared delgada ruta crítica punto de consumo de mayor altitud.....	108
Tabla 41. Coeficiente K tubería de 18mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de menor altitud.....	108
Tabla 42. Coeficiente K tubería de 18mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de mayor altitud.....	109

Tabla 43. Coeficiente K tubería de 75mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de menor altitud.....	109
Tabla 44. Coeficiente K tubería de 75mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de mayor altitud.....	109
Tabla 45. Distancias de los puntos de consumo del sistema de abastecimiento.....	110
Tabla 46. Propiedades físicas del agua a distintas temperaturas. ....	112
Tabla 47. Tabla de propiedades físicas del agua utilizadas según temperatura promedio.....	113
Tabla 48. Análisis de ruta crítica .....	116
Tabla 49. Análisis de ruta crítica para la tubería de 75 mm .....	117
Tabla 50. Análisis de ruta crítica para la tubería de 75 mm .....	117
Tabla 51. Tabla de condiciones iniciales y cálculo de coeficiente de elasticidad ..	117
Tabla 52. Datos de condiciones iniciales y calculo de pendiente hidráulica .....	118
Tabla 53. Cálculo de sobrepresión por golpe de ariete.....	119
Tabla 54. Cálculo de altura total de cámara húmeda .....	119
Tabla 55. Dimensionamiento de canastilla de cámara húmeda .....	120
Tabla 56. Cálculo de tubería de rebose para la captación.....	121
Tabla 57. Resultados de la calidad del agua de un punto de consumo del sistema	122
Tabla 58. Parámetros de calidad del agua del Control Operativo. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015. ....	123
Tabla 59. Parámetros de calidad del agua Nivel primero. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015. ....	123
Tabla 60. Clasificación del riesgo de la calidad del agua. Fuente: Interpretación de análisis de agua potable para la gestión comunitaria en las asadas. ....	124
Tabla 61. Puntaje de cada parámetro examinado para calculo del índice de riesgo de la calidad del agua. Fuente: Interpretación de análisis de agua potable para la gestión comunitaria en las asadas .....	125
Tabla 62. Ventaja y desventaja de los equipos dosificadores por erosión. Fuente: Guía para la Selección de sistema de desinfección, 2007. ....	127
Tabla 63. Tanque complementario para estanqueidad de 30 minutos .....	129
Tabla 64. Parámetros para la escogencia del número CIU por medio del DE-31849. Fuente: SETENA .....	131
Tabla 65. Niveles de control y parámetros de calidad del agua. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015. ....	133
Tabla 66. Frecuencia mínima de muestreo para el control operativo del acueducto. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015. ....	134
Tabla 67. Frecuencia mínima de muestreo para el control nivel primero del acueducto. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015. ....	134
Tabla 68. Frecuencia mínima de muestreo para el control de niveles N2 y N3 del acueducto. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015. ....	134
Tabla 69. Cantidad y tipos de análisis de calidad del agua en un periodo de seis meses. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015. ....	135
Tabla 70. Detalle de muestreo para mantener la calidad del agua potable. ....	135
Tabla 71. Detalle de actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para la captación basado en tabla 17. ....	136

Tabla 72. Detalle de actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para la obras de conducción basado en tabla 19.....	137
Tabla 73. Actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para el tanque de almacenamiento basado en tabla 23. ....	139
Tabla 74. Actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para el línea de distribución Detalle de basado en tabla 24. ....	140
Tabla 75. Costo total para construcción de Acueducto .....	141
Tabla 76. Cuota para construcción de acueducto .....	142
Tabla 77. Costo operacional del sistema de abastecimiento.....	142
Tabla 78. Tarifa mensual por punto de consumo.....	143

## **Resumen Ejecutivo**

Este trabajo de investigación consiste en realizar una inspección del sistema de abastecimiento actual para encontrar sus principales problemáticas y la recopilación de datos necesarios para realizar un diseño hidráulico que se adapte a las necesidades de los consumidores del poblado de El Llano de Alajuelita. Tomando en cuenta los aspectos de la inspección de sitio, los datos de ubicación y alturas de los distintos puntos se procederá a realizar el diseño hidráulico de dicho acueducto. Debido a lo anterior, se presenta una propuesta basada en una obra de captación de tipo manantial de fondo y concentrado con una tubería de limpia de 2 pulgadas, que se dirige mediante una tubería de 12mm al tanque de almacenamiento con una capacidad de 6000 litros. Al salir del tanque de almacenamiento se implementa una tubería de 12mm, SDR 13,5, ya que es la que se adapta a todas las condiciones de diseño por parte de las normas establecidas por el AyA y siendo la opción más económica. La propuesta toma en cuenta 12 previstas de tipo domiciliar y una prevista para el criadero porcino que se debe abastecer.

Por otra parte, el acueducto existente no posee ningún sistema de potabilización y esto se ve reflejado en el análisis de calidad del agua ya que presenta un valor por encima del admisible de coliformes fecales, por lo tanto se recomienda la implementación de uno con ayuda del análisis de calidad del agua potable y la comparación con los valores admisibles permitidos por la ley. Con la comparación de parámetros y el tamaño de nuestra población se decide utilizar un sistema dosificador por erosión, que utiliza pastillas de hipoclorito de calcio, siendo esta la mejor opción para las condiciones que se presentan en el sistema. A partir de tener el diseño hidráulico, se decide implementar un plan de mantenimiento de todos los elementos contemplados para controlar el funcionamiento del sistema, al igual de que se indaga todos los trámites necesarios para la realización de este tipo de sistema de abastecimiento. Para finalmente, obtener que la mejor propuesta tendría un costo total de ₡2.896.80, sujeto a variaciones en la cotización de la mano de obra impuesta y al monto requerido periódicamente para realizar el mantenimiento preventivo necesario.

## **Capítulo I: Introducción**

### **1.1 Planteamiento del problema**

¿Cuál debe ser el plan de mejoras y potabilización mediante la evaluación y análisis del sistema de abastecimiento de agua pura actual y el diseño hidráulico de un acueducto por gravedad para una pequeña comunidad de El Llano de Alajuelita, con el fin de garantizar el suministro y potabilidad de la misma?

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo general**

Establecer un plan de mejoras y potabilización mediante la evaluación y análisis del sistema de abastecimiento de agua pura actual y el diseño hidráulico de un acueducto por gravedad para una pequeña comunidad de El Llano de Alajuelita, con el fin de garantizar el suministro y potabilidad de la misma.

#### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a. Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.
- b. Realizar el respectivo diseño hidráulico del sistema siguiendo los parámetros establecidos por la normativa vigente para garantizar el funcionamiento eficiente al considerar las deficiencias y los problemas presentes en el sistema actual.
- c. Determinar un sistema de potabilización o desinfección del agua, que se ajuste a las necesidades del sistema por medio del estudio de los diferentes procesos de potabilización, para garantizar la potabilidad de la misma a todos los consumidores.
- d. Establecer un plan de mantenimiento preventivo al diseño propuesto con base en las condiciones del sitio y la normativa para asegurar que la calidad del agua sea la misma por el tiempo que el sistema se encuentre en funcionamiento.
- e. Definir las acciones para el cumplimiento legal del sistema propuesto a través de una revisión de la legislación nacional vigente para evitar sanciones.
- f. Determinar el costo del sistema propuesto mediante la cotización de los elementos faltantes para proyectar el costo de una eventual implementación.

### **1.3 Justificación**

Para comenzar, aunque Costa Rica se caracteriza por mantenerse a la vanguardia a nivel mundial en el abastecimiento de aguas para uso y consumo humano existe todavía alrededor del 0,4% de la población, 21.382 habitantes, que no tienen servicio y se abastecen directamente de pozos y nacientes artesanales, los cuáles la mayoría de estos sistemas son realizados de manera empírica y operan en condiciones vulnerables, debido a esto es que se busca obtener las mejores soluciones para mejorar la calidad de vida de toda la comunidad que se beneficia de este sistema de abastecimiento.

Este trabajo de investigación se desea realizar con el fin de brindar una alternativa de mejora a las diferentes deficiencias que presenta el sistema actual de una pequeña comunidad en el Llano de Alajuelita; se busca diseñar un sistema de suministro que satisfaga los requerimientos de todas las instalaciones o los puntos de consumo que tiene la misma, cumpliendo con los estándares de calidad y reglamento por las diferentes instituciones reguladoras, además del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, ya que presenta tuberías expuestas que provoca interrupciones en el servicio.

De igual manera, se busca la instalación de un sistema de potabilización del agua pura proveniente de la naciente garantizando la seguridad y bienestar de los consumidores, ya que el agua que actualmente consumen no es tratada con cloración o algún método de desinfección lo cuál es un riesgo para la salud de la comunidad. Todo esto sin dejar de lado el cumplimiento legal necesario del sistema de abastecimiento. Consecuentemente, se busca implementar un plan de mantenimiento periódico de la instalación ya que no cuenta con uno, además de que la implementación del sistema de desinfección provocaría una mayor implicación por parte de la comunidad en este tema para mantener la calidad del agua potable y la seguridad de todos los habitantes.

Por lo tanto, este trabajo brinda la posibilidad de aplicar todos los conocimientos adquiridos en beneficio social ya que nuestra meta es diseñar y ejecutar proyectos relacionados con infraestructura en este caso cómo lo son las obras hidráulicas para garantizar la eficiencia y calidad del recurso hídrico haciendo un manejo adecuado del mismo.

#### **1.4 Antecedentes**

INSTITUCIÓN: Universidad Católica, Colombia

TÍTULO: Optimización del diseño hidráulico del acueducto Veredal del Alto Ramo de Municipio de Chipaque Cundinamarca.

AUTOR: Misael Eduardo Sandoval Chaparro, Germán Alonso Parrado Rozo

FECHA: Mayo, 2018

En este trabajo de investigación se decidió abordar la problemática que tenía la comunidad de Chipaque ya que se establece que la vereda en estudio no cuenta con un sistema de acueducto óptimo, propiciando arreglos por parte de la comunidad de manera empírica sin tener en cuenta las especificaciones técnicas estipuladas en las diferentes normas existentes en este caso de Colombia para este tipo de estructuras. En esta evaluación se notó durante una visita técnica que las tuberías de la red de distribución y medidores de las casas se encuentran a la interperie sin ningún tipo de protección por lo que sugiere cajas de inspección y zanjas para la instalación de tuberías bajo tierra. También, evalúa la calidad del agua que se consumen en esta zonas rurales y a pesar de que cuenta con un sistema de tratamiento, esto no garantizan que la calidad del agua sea apta para el consumo humano, debido a que para garantizarla se requieren la realización de pruebas de laboratorio permanentes con las que se puede hacer el seguimiento a los resultados. Por otra parte, después de pasar por el sistema de potabilización utilizado en este proyecto se planteó hacer un análisis de la misma y después de pasar por todo este proceso, en el cuál se realiza un estudio de conductividad, turbiedad, color aparente, resistencia, sólidos totales, potencial de hidrógeno, dureza total, salinidad, temperatura, y % de oxígeno se determina si el agua tiene los estándares de calidad necesarios. Estas pruebas se tomaron de sitios diferentes del sistema, en la entrada de la planta, la segunda del tanque de almacenamiento después del tratamiento y por último desde una de las casas a las que llega el agua. La clasificación del proyecto en niveles de complejidad en Colombia son:

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

Tabla 1. Nivel de complejidad del sistema según número de habitantes. Fuente: Sandoval, 2018.

“ la proyección de la población del municipio por los diferentes métodos, muestra que este no tendrá un crecimiento poblacional muy significativo, por tanto, para hacer el cálculo de la población con proyecciones crecientes, se va a realizar una interpolación entre la población del municipio de Chipaque y dos municipios cercanos Choiqui y Fόμεque, que tiene las mismas condiciones climáticas, para que de este modo las proyecciones cumplan con lo exigido en la normativa, o sea un crecimiento en su población.” Mostrando una alternativa para el cálculo de las proyecciones de demandas con poblaciones muy pequeñas que no cumplirían en el crecimiento poblacional requerido por la norma de ese país.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua

TÍTULO: Diseño de un mini acueducto por gravedad en los barrios San Agustín, Gaspar García Laviana y Guadalupe del Cascourbano del Municipio de Dipilto, Departamento de Nueva Segovia

AUTOR: William David Canales Monzón, Marling Elieth Sánchez Blanco, Cristy Gisselle Valenzuela García

FECHA: Abril, 2019

Este proyecto busca hacer un censo de las 118 viviendas para conocer aspectos sociales y económicos de las familias a beneficiar para evaluar la viabilidad del proyecto el cuál se diseñaría este acueducto por gravedad para un período de diseño de 20 años. Además de que se construirá un sistema de tratamiento para la potabilización del agua que consta de

un desarenador, un sistema de mezcla rápida (coagulación), floculación, sedimentador, un filtro y desinfección con cloro ya que el agua que se consume actualmente no es tratada con cloro lo cuál genera que no sea segura ya que puede contener bacterias y se incrementa la problemática en las épocas de invierno donde la quebrada crece y el agua sale sucia.

La investigación toca temas de las diferentes etapas del sistema de tratamiento, en el aspecto de la desinfección del agua se propone la misma con hipoclorito de calcio, este se encuentra en forma de polvo blanco o en pastillas, este método ha sido el preferido para la desinfección del agua potable porque tiene la ventaja de ser efectivo, barato y disponible aún en los lugares rurales. También tiene la ventaja de dejar un residuo que continúa protegiendo el agua de la contaminación bacteriana que queda en los tubos de distribución. Se recomienda que el tiempo de contacto entre el cloro y el agua sea de 30 minutos antes de que llegue al primer consumidor y la concentración de cloro residual que debe permanecer en los puntos más alejados de la red de distribución deberá ser de 0.2-0.5mg/l después del período de contacto.

En el cálculo de la dosificación del cloro se obtiene a partir de la concentración de hipoclorito de calcio y la dosis que se utilice. Primeramente se obtiene el peso de cloro, luego el peso del hipoclorito de calcio, para obtener a partir de estos dos el volumen de agua de la disolución requerida,

$$\text{Peso del cloro} = \frac{Q \times \text{Dosis}}{1000} \text{ (Ecuación 1)}$$

$$\text{Peso hipoclorito de calcio} = \frac{\text{Peso del cloro}}{\text{Concentración comercial}} \text{ (Ecuación 2)}$$

$$\text{Volumen de agua de la disolución requerida} = \frac{\% \times \text{Peso hipocloritode calcio}}{\text{Concentración comercial}} \text{ (Ecuación 3)}$$

También explica que para las obras de captación se deberá tomar en cuenta la conversación de las condiciones naturales del afloramiento, evitando excavaciones, movimientos de tierra, rellenos que puedan afectar al flujo natural y original del agua. El tipo de obra a emplearse están en función de las características de la fuente cómo lo son la calidad del agua, de la localización y su magnitud. Según la calidad del agua la captación puede ser:

Directa: es cuando la calidad físico-química y bacteriológica adoptan la cloración como tratamiento mínimo

Indirecta: cuando la calidad del agua requiere el aprovechamiento de la filtración natural a través de estratos permeables conectados con el río.

Para finalizar nos menciona que las líneas de conducción por gravedad tienen la tendencia a acumular aire en los puntos altos, cuando se tienen presiones altas el aire tiende a disolverse y continúa en la tubería hasta que es expulsado, pero en los puntos altos de relativa baja presión, el aire no se disuelve creando bolsas que reducen el área útil de la tubería. Consecuentemente produce un aumento en las pérdidas, produce golpes repentinos en la tubería, a fin de prevenir estos fenómenos deben utilizarse válvulas automáticas (aire) ubicadas en los puntos más altos permitan la expulsión del aire acumulado. El diámetro seleccionado es igual a  $1-\frac{1}{2}$  del diámetro de la tubería principal.

INSTITUCIÓN: Universidad Libre, Colombia

TÍTULO: Diseño del sistema de suministro de agua para la Finca los Guadales, Vereda las Mercedes, Villacencio, Meta.

AUTOR: Jhony Alexander Franco Franco

FECHA: 08 de julio del 2015

Se desea diseñar el sistema de suministro para las diferentes actividades que presenta la finca como las actividades agropecuarias, recreativas y domésticas, planteando los sistemas de tratamiento y almacenamiento de agua para la finca. Primeramente, los análisis realizados evidenciaron características de agua cruda con coliformes fecales y totales en pequeñas cantidades así como sólidos disueltos, sedimentables y turbiedad por lo que se enfocó el tratamiento y desinfección para dar cumplimiento a estos parámetros; los cálculos del consumo de cloro para el proceso de desinfección se enfocaron para dar uso a un

dosificador de cloro en pastillas que se encontraba en buen estado y era utilizado para la desinfección de agua antes en el proyecto.

En la determinación del consumo de agua en la finca se deben considerar factores cómo las pérdidas a las cuáles se les considera a la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen de agua utilizado y se expresa cómo porcentaje cómo se puede ver en la siguiente ecuación:

$$P(\%) = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen consumido}}{\text{Volumen producido}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Lo ideal es siempre manejar una tendencia a la disminución del porcentaje hasta un nivel óptimo estipulado entre 10% y 15%. Para el diseño del sistema de agua se debe considerar los usos que se darán al recurso, tales cómo: uso doméstico que se emplea para la evacuación de desechos cómo para consumo dentro de las actividades del hogar. Al igual que el uso agropecuario que es un sector de gran importancia ya que el lugar en estudio cuenta con potreros. Al ser una actividad tan importante se extrajo una tabla del consumo de agua de la guía ambiental porcícola en donde obtenemos las recomendaciones de consumo de agua por animal.

PRODUCCION	ETAPA	NECESIDADES DE AGUA l/cerdo*día		
		Mínimo	Máximo	Promedio
<b>Gestación</b>	Reproductores	12	20	16
	Hembras en gestación	15	20	18
	Hembras vacías	15	20	18
<b>Maternidad</b>	Hembras lactantes	18	25	22
	Lechones	0.2	1	0.6
<b>Destete</b>	Pre cebo	2	4	3
<b>Finalización</b>	Levante	4	6	5
	Engorde	6	9	8

Tabla 2. Valores de diseño de suministro de agua para beber. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Sociedad de Agricultores, 2002.

El consumo de agua pecuario se calcula teniendo en cuenta las necesidades hídricas que presentan los cerdos de acuerdo a la Guía Ambiental para el Subsector Porcícola del ministerio de ambiente de ese país, estipulan que los consumos máximos de agua por animal y adicional a esto los gastos de lavado y limpieza de los animales e instalaciones.

INSTITUCIÓN: Universidad Católica, Colombia

TÍTULO: Diagnóstico y mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Mesitas del Colegio

AUTOR: Andrés Felipe Arboleda Triviño, Brayan Alejandro Ruiz Corredor.

FECHA: 10 de noviembre del 2017

En este trabajo de graduación se realizó un diagnóstico del funcionamiento actual del sistema de acueducto del municipio y generar un documento técnico de recomendaciones para el mejoramiento del sistema de acueductos. Este documento concluyó que actualmente el sistema se encontraba sobredimensionado y con los diseños y resultados obtenidos se tendrá una estructura que pueda ser capaz de soportar las condiciones actuales del consumo de la población; además de que se podrían reducir los costes de mantenimiento ya que el diseño presentó una reducción de la bocatoma.

De igual manera, se puede ver que el tanque desarenador ya no se encuentra en condiciones de realizar el proceso de tratamiento de agua cruda por lo que recomienda la construcción de otro tanque desarenador cuya función es la de sedimentar ciertas partículas que se encuentran en un estado de suspensión por medio de la gravedad y es considerado un tratamiento primario que se le hace al agua captada. Asimismo se encontró que la relación largo: ancho es muy alta, oscila entre 6.35:1 por lo que es recomendable ajustar las dimensiones del tanque a lo establecido por la norma RAS-2000 en la que se recomienda un valor máximo de esta relación de 5:1.

Por otra parte, se define que para establecer el período de diseño se debe ver la capacidad de la obra para atender la demanda futura. El período de diseño también depende de la curva de demanda y de la programación de las inversiones, así como de la factibilidad de ampliación, de la tasa de crecimiento de la población, etc. Se asignó en este proyecto el período de diseño en base al nivel de complejidad del sistema.

Consecuentemente, este trabajo de investigación establece la dotación neta máxima a usar como dato de diseño del acueducto de acuerdo a la altura a la que se encuentra la

población en estudio, que en su caso se utilizó de 140 L/hab\*día, según la siguiente tabla tomada de una resolución de dicho país:

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
>2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
<1000 m.s.n.m	140

Tabla 3. Dotación neta máxima por altura sobre el nivel del mar de zona atendida.  
Fuente: Arboleda, 2017.

Para finalizar, para el consumo total se debe tener en cuenta el consumo neto y el porcentaje de pérdidas del sistema cómo se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo total} \left( \frac{L}{\text{hab} \cdot \text{día}} \right) = \frac{\text{Consumo neto}}{1 - \% \text{pérdidas}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua

TÍTULO: Diseño de mini acueducto por gravedad de la Comunidad los Mollejones, Municipio de San José de Bocay, Departamento de Jinotega

AUTOR: Claudia Linett Hernández López

FECHA: Diciembre, 2019

En este proyecto se desea beneficiar alrededor de 47 familias que son los habitantes de la comunidad de Mollejones para que el 100% de la comunidad tengan acceso a agua potable ya que el agua que actualmente consumen no es tratada con cloro. Por otra parte, en este municipio las fuentes de agua son superficiales y no existen pozos cercanos, sólo existen manantiales y quebradas de las cuáles la población improvisa captaciones. En este trabajo se

encontró también otra forma de determinar los períodos de diseño de los elementos de un sistema de abastecimiento de agua potable.

Por lo tanto, se realiza un estudio de la población y los consumos para proponer un sistema de abastecimiento dimensionando la obra de captación, línea de conducción, tanque de almacenamiento y red de distribución. Se establece que los criterios para considerar un manantial cómo fuente de agua potable son los siguiente:

- El dato de aforo, deberá corresponder al final del período seco de la zona y se tomará cómo ase para el diseño, el mínimo valor obtenido.
- Además del caudal crítico de producción de la fuente.

Consecuentemente, se establece que la desinfección será un tratamiento suficiente para garantizar la pureza del agua y eliminar los gérmenes totales y coliformes, ya que los resultados de los análisis en la fuente de captación actual, la fuente es apta para el consumo humano. Para el análisis de las fuentes de agua cómo manantiales deberán cumplir con las normas de las aguas vigentes aprobadas por el INAA y MINSa, en las tablas extraídas se puede apreciar las concentraciones máximas permisibles de los parámetros establecidos por el INAA.

En el sistema donde la calidad físico-química del agua es satisfactoria la desinfección muchas veces es el único tratamiento previsto. El sistema propuesto para la comunidad es un esquema: Fuente- Línea de Conducción- desinfección-tanque- red de distribución. El tratamiento que se propone es de desinfección con hipocloroito de sodio, empleando un barril dosificador de cloro constante.

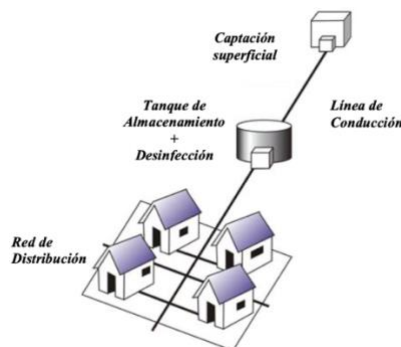


Ilustración 1. Esquema de sistema propuesto para comunidad. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2009.

Para concluir, se resalta que los tanques de almacenamiento pueden ser elevados o apoyados al suelo, esto dependiendo de la topografía del terreno y los propósitos fundamentales del tanque cómo son: mantener las presiones de servicio en la red de distribución, compensar las variaciones de consumo diario y atender situaciones de emergencia. Para el análisis y diseño de sistemas de distribución se utiliza el software EPANET el cuál tiene la gran ventaja de que es un modelo gratuito, que además resulta extremadamente fiable para la modelación de sistemas complejos. Al igual que se realizó la prueba de aforo de fuente propuesta por el método de volumen volumétrico, que consiste en llenar un balde de volumen conocido y medir y registrar el tiempo en segundos, según este método realizado en la fuente superficial tuvo un rendimiento de 0,8 L/s, lo cuál es mayor al parámetro requerido para la selección cómo fuente de abastecimiento de la comunidad. El cuál cómo dato de referencia, el consumo máximo día, que es el parámetro requerido es de 0,4 L/s.

INSTITUCIÓN: Universidad Católica, Colombia

TÍTULO: Optimización del sistema de acueducto del Municipio de Tena

AUTOR: Edison Fernando Rivera López, Víctor Manuel Suarez Rodríguez.

FECHA: Noviembre, 2018

Se busca realizar el diagnóstico del estado actual del sistema evaluando la infraestructura y elementos que lo conforman, determinar la capacidad, funcionamiento y operación de las obras hidráulicas de la red de distribución actual para así diseñar una propuesta de optimización del sistema que garantice la adecuada captación, suministro y distribución del agua.

Este trabajo determinó que falta un sistema de relevo que permita realizar el mantenimiento periódico sin afectar el suministro del servicio, al igual que se encontró fallas en el diseño de los elementos de la bocatoma y el desarenador, que no cumplen con las condiciones de diseño para su correcto funcionamiento. Además de que en el diseño

propuesto para las obras de captación y conducción del agua, se haga una mejor retención de sedimentos evitando que estos lleguen a la planta mejorando el tratamiento y potabilización y se garantice de esta manera que el agua que llegue a los hogares de la población del municipio esté en óptimas condiciones para su consumo. Cabe destacar que el desarrollo del diseño del desarenador el adoptó como procedimiento el descrito por López Cualla en su libro “elementos de diseño para acueductos y alcantarillados”, explicado en el capítulo 9, desarenadores, teniendo en cuenta los valores suministrados por el cálculo anterior al sedimentador y las propiedades físicas del agua como viscosidad cinemática, así como, se adoptan los valores generales de la arena que se pretende separar en el arenador. Por otro lado, indica que el desarenador debe tener una capacidad igual al caudal máximo diario, la profundidad efectiva para el almacenamiento de arena debe estar comprendida entre 0,75 y 1,5 metros; la velocidad máxima horizontal para un sistema sin tratamiento posterior debe ser de 0,17 m/s. Para el nivel bajo de complejidad no se requiere verificar la eficiencia y la capacidad de remoción de sedimentos.

Por todo lo anterior, se planteó una propuesta de diseño del nuevo acueducto, la cuál partió del análisis de la demanda y la proyección de la población, dando como resultado que la población del acueducto de 25 años y un caudal máximo de 2.8 l/seg, que cumplirá la demanda durante los períodos de mayor consumo, los cuáles se presentan entre las 7 y 9 de la mañana; la 1 y las 2 de la tarde y, las 8 y 9 de la noche.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico, Costa Rica

TÍTULO: Diagnóstico y diseño de un plan de mejoras del sistema de abastecimiento de agua de la ASADA de San Antonio de León Cortés.

AUTOR: Ivannia Garro Ureña.

FECHA: Septiembre, 2017

Esta investigación se planteó partiendo de que en Costa Rica parte de la población es abastecida por acueductos rurales; no obstante muchos de estos trabajan en condiciones de

vulnerabilidad por esta razón la finalidad de este proyecto es evaluar y diseñar un plan de mejoras de cada uno de los componentes de la asada de San Antonio. Aplicando la metodología SERSA en las captaciones y tanques de almacenamiento.

Al igual que mediante la curva de la demanda de cloro, se determinó la dosis óptima de cloro para la totalidad de las nacientes del acueducto, su metodología fue aforar una probeta de 100ml, realizados en 10 beakers, al cuál se les añadió una dosis de solución estándar de Ácido Tricloisocianurico de 0,1 a 1,0mL respectivamente. Demostrando por otra parte que la oferta del acueducto solo el 13% de lo producido es demandado por la población usuaria, además se menciona que la dotación promedio residencial es de 72 L/hab\*día , por lo tanto la estimación de la demanda futura no evidencia problemas por faltante de agua durante la proyección realizada durante los 25 años.

Sin embargo, la estimación de disponibilidad del recurso hídrico utilizando la metodología del AYA evidenció un faltante de agua para satisfacer el caudal máximo horario a partir del año 2022 utilizando el promedio de crecimiento poblacional entre el modelo geométrico, exponencial y aritmético. Se menciona que cuando el acueducto tiene fuentes de agua de nacientes o manantiales los principales componentes hidráulicos son: zona de captación, línea de conducción (bombeo o gravedad), tanques quiebra gradientes, desinfección, almacenamiento (PVC o concreto) y redes de distribución. Todo acueducto debe contar con hidrantes y sistemas de micro y macro medición.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico, Costa Rica

TÍTULO: Evaluación y propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable de la Asada Paquera de Puntarenas

AUTOR: María Mónica Chavarría Villalobos.

FECHA: Diciembre, 2019

En este proyecto se planteó evaluar la infraestructura de los componentes del acueducto y la gestión que se ejecuta utilizando herramientas de diagnóstico como las fichas SERSA, así como el formulario Unificado del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Para la clasificación del riesgo según la guía SERSA se completan 10

preguntas que viene en las fichas adjuntadas en los anexos del trabajo, una vez evaluado se cuenta la sumatoria de “si” y de esta forma se clasificó el riesgo. Identificando los principales riesgos en el sistema de saneamiento de la comunidad para proponer las principales opciones de mejora para fortalecer la gestión de la ASADA.

Se menciona que una manera de potabilizar el agua es mediante la tecnología de filtración en múltiples etapas (FiME), la cual combina la filtración gruesa Dinámica (FGDi) y la filtración lenta en arena (FLA); esta siendo una tecnología confiable, de fácil manejo, además es más sostenible que la potabilización convencional que requiere la aplicación de sustancias químicas al agua. Por lo anterior, la tecnología FiME permite un mayor acceso para las comunidades rurales y se realizaron los análisis de turbiedad y coliformes fecales y color, ya que son estos los que orientan para la selección de la opción FiME. Para la selección de las opciones FiME, el agua cruda se puede clasificar en tres ámbitos de calidad superficial explicados en el cuadro mostrado en el documento. Demostrando que según el ámbito de calidad bajo, para estas características, el tratamiento de agua por filtración de etapas múltiples, debe incluir las unidades de filtro grueso dinámico y filtro lento de arena.

Se determinó que la dosis de cloro requerida para el sistema diseñado para obtener un cloro residual de 0,6 mg/l a la salida del tanque de almacenamiento para el agua de la naciente El Tigre, Pozo Laberinto, Pozo Paquera y Pozo Cuchillo es de 0,72mg/l, 0,72mg/l, 0,63mg/l y 0,66mg/l respectivamente. Presenta dosis diferentes debido a que cómo menciona la literatura, cada agua tiene sus propias características. También destaca que el consumo actual varía según la comunidad establecida, yendo desde los 188,84 L/p/d a sectores con 856,18 L/p/d, estando por debajo de la dotación de diseño que estima el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, la cual es de 375 L/p/d para este tipo de comunidades.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico, Costa Rica

TÍTULO: Propuesta para el abastecimiento de agua potable mediante el diseño de un acueducto por gravedad en las comunidades de San Isidro de Tierra Grande, Isletas y Colinas, Guácimo, Limón

AUTOR: Jonathan Sanabria Pérez.

FECHA: 2017

Se desea realizar una propuesta del diseño hidráulico para el abastecimiento de un conjunto de comunidades siguiendo los lineamientos establecidos por el AYA. Al igual que se desea proponer un sistema de desinfección de agua potable, debidamente calibrado a las necesidades del acueducto y determinar la viabilidad del proyecto en función de los beneficios que se obtendrán. Para el volumen del tanque de almacenamiento se determina a través de la suma del volumen de regulación, el cuál es el requerido para compensar las fluctuaciones horarias del consumo, volumen de incendios el cuál se indica que si el acueducto abastece una población menor a los 5000 habitantes, no se considera el volumen de incendio y se acepta que el de incendio se atienda con el volumen de regulación y por último es el volumen de reserva el cuál busca suplir agua en caso de una interrupción, siendo este volumen correspondiente a 4 horas del caudal promedio dado. También se indica que para el diseño hidráulico para un manantial de fondo y concentrado, conociendo que el caudal de diseño será el caudal máximo, se procede a asumir una velocidad teórica para la conducción entre 0,6- 3,0 m/s que es el rango indicado por el AYA. Una vez con el diámetro teórico se procede a recalcular con un diámetro comercial.

En este proyecto se realizan dos propuestas para el sistema variando el diámetro de la tubería de distribución viendo que una no cumple con las presiones requeridas en los nodos siendo una buena referencia si este trabajo de investigación presenta complicaciones en este aspecto. En cuanto a costos el sistema de desinfección de tipo artesanal presenta un costo de construcción e implementación notoriamente menor, sin disminuir la eficiencia cuando este se encuentra operando. Además de que la construcción, mantenimiento y reparación del mismo no conlleva un proceso de alta dificultad. Para el plan de mantenimiento se establece que en análisis económico se estimó la contratación de un fontanero, el cuál se hará cargo del mantenimiento de la red, así cómo la atención y corregimiento de las fallas que se presentan, además de capacitarlo para llevar a cabo la dosificación de cloro en el tanque de almacenamiento y con esto la desinfección del agua lo cuál es muy necesario en la implementación de un mantenimiento correcto.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico, Costa Rica

TÍTULO: Propuesta para el abastecimiento de agua potable para la comunidad indígena de Amubri del cantón de Talamanca – Costa Rica

AUTOR: Enderson Jafet Vividea Castro.

FECHA: Marzo, 2018

Este estudio busca proponer mejoras a los siguientes componentes: sistemas de captación, conducción, almacenamiento, potabilización y desinfección del acueducto de esta comunidad. La falta de mantenimiento preventivo, el aumento de la población, condiciones ambientales y la ausencia de desinfección del agua para su distribución, han contribuido al deterioro y la necesidad imperante de cumplir con las condiciones básicas solicitadas por la ley para abastecimiento de agua a una población. Se determina que el acueducto funciona en su totalidad por gravedad, lo que significa que la ubicación de los componentes debe ser en las partes más altas para garantizar que la columna de agua genera la presión suficiente para llevar agua hasta la última casa. Además de que la falta de infraestructura le genera vulnerabilidad al sistema.

Se planteó el diseño de un desarenador compuesto de dos unidades en paralelo, ya que el abastecimiento del acueducto depende de fuente de agua superficial, las cuáles acarrearán gran cantidad de grava, hoja y arena. Para esta propuesta se realizó en un período de diseño de 15 años, el cuál requiere un caudal máximo diario (QMD) de 24,75 L/s, realizando los supuestos de una densidad de 120 Kg/ m<sup>3</sup>, con un diámetro de 0,1mm o mayor a una temperatura de 20 C. Se empleó la relación de largo/ancho de 7 y se utilizó un caudal de diseño de 33,06 L/s. En el anexo de este documento se describen las fórmulas empleadas para determinar las dimensiones del desarenador.

Por otra parte, se obtuvo que la dosis óptima de cloro para las características de agua de Amubri es de 2,10 mg/L de hipoclorito de sodio para un caudal de cloración igual a 8,16 L/s para ello se recomienda el uso de pastillas de cloro que tiene un 90% de pureza y según el mercado son las más económicas. También se evidenció mediante el análisis del perfil del

terreno que este acueducto puede funcionar en su totalidad bajo el principio de gravedad en el suministro de agua, por lo que la escasez de agua puede mejorarse mediante el cambio de la captación, desarenador, conducción y almacenamiento que se propone en el estudio.

Se recomienda el seguimiento y medición de la calidad del agua mediante el acatamiento del reglamento de agua potable en Costa Rica. Además de que se recomienda a la ASADA solucione los permisos de concesión del agua con el MINAE y procurar un acuerdo de compra o permisos con el dueño del terreno en el que está ubicada la captación, el desarenador y los tanques de almacenamiento actuales para que la ASADA pueda tomar decisiones más libres en el mejoramiento del acueducto, así como el mantenimiento. Por último, también se recomienda la realización de un mayor número de aforos de caudales de la quebrada de abastecimiento en época seca para mantener un registro y vigilancia de las variaciones haciendo énfasis en el control de esta ASADA, lo cual es de suma importancia.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico, Costa Rica

TÍTULO: Elaboración de un estudio técnico de diseño para la creación de un nuevo tramo de acueducto y análisis de la situación actual del sistema con el objetivo de realizar propuestas de mejoras para el acueducto ubicado en Pénjamo de Florencia.

AUTOR: Leonardo Corella Blanco

FECHA: 2020

En este proyecto se desea generar un informe técnico de evaluación y rediseño del acueducto rural del Pénjamo de Florencia, San Carlos. Esto a partir de la evaluación hidráulica del sistema para la condición actual y rediseñar el sistema bajo dos propuestas de mejora, esto siempre manteniendo en cuenta la viabilidad económica, social y ambiental del proyecto. Analizando el comportamiento actual, existen tramos con presiones superiores a las permitidas por el AyA en la norma técnica de diseño, rango permitido (15,00m.c.a.-70,00m.c.a). En la primera propuesta se reducen las acometidas que presentaban una presión

superior a 70,00m.c.a de un 23% a un 5,8% y manteniendo las acometidas con una presión inferior a 15,00m.c.a, obteniendo un 90,8% de las acometidas con rangos de presión adecuados. Para la segunda propuesta se redujo de un 23% a un 0% las acometidas con presiones altas y dejando las que están por debajo del mínimo, da cómo resultado un 96,7% de acometidas con rangos de presión adecuados. Al igual que se diseñó un tanque de almacenamiento para la naciente con una capacidad de 100 m<sup>3</sup>.

Se recomienda instalar de una manera los registros de aforo así cómo prestar atención al comportamiento de la naciente en época de estilaje. Una vez contando con los registros de aforo permitan evidenciar el comportamiento de las fuentes. Por otra parte, se recomienda instalar macro medidores en tuberías de aducción, para poder cuantificar el porcentaje de agua no contabilizada.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico, Costa Rica

TÍTULO: Propuesta de diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de agua potable para el poblado de Capellades, Alvarado, Cartago

AUTOR: Dilan Calvo Pereira.

FECHA: 2019

Se busca una propuesta de diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de agua potable de la comunidad ya que el actual debido a la localización sufre daños y averías frecuentemente. La propuesta de diseño abastece las 473 previstas de tipo domicial y además 55 adicionales de tipo productivo, comercial, entre otras. También comenta que las válvulas de aire son indispensables en los puntos más altos de la red pero si los trayectos tienen una pendiente baja y prolongada, se deben colocar cada 400 a 800 metros. Se propuso un diseño del sistema apegado a las normas establecidas por el AyA. El funcionamiento del sistema de desinfección utilizado es automático, sin la utilización de energía eléctrica u algún accesorio móvil, este funciona con el paso de agua a través de las pastillas de cloro que tienen un 65% de ingrediente activo y es una estructura de 30cm de diámetro y 90cm de altura el cuál se ubica en la tapa de ingreso de tanque y graduarse el flujo de agua que ingresa asegurando las cantidades de cloro según la recomendación del AYA.

Se propuso el diseño realizado para los 844 metros de conducción con el diámetro de 100mm, según se apega a las normas de diseño establecidas satisfaciendo los parámetros de velocidad y presión de trabajo para un óptimo uso. Se destacó que en Costa Rica, los tanques prefabricados de mayor volumen de almacenamiento alcanzan los 75 m<sup>3</sup>, lo cuál implica que para este proyecto se deberían instalar dos tanques de esta capacidad, debido a esto se decidió construir el tanque para almacenar todo el volumen en el mismo lugar, este tanque se construyó tipo rectangular con las dimensiones de 7x6x4,6m de ancho, largo y altura respectivamente.

Por otra parte, los costos mostrados y al tratarse de un proyecto de bien social, se determina que la propuesta de diseño es rentable ya que el impacto económico no es tan elevado y el mismo pago de los servicios puede cubrir los gastos. También se aprecia que el sistema de desinfección tradicional utilizado en el diseño, representa un ahorro económico muy alto y este además brinda mayor facilidad de manipulación para los encargados y es fácil de reparar.

### **1.5 Limitaciones**

Para comenzar, las limitaciones que se pueden presentar en este proyecto pueden venir de distintas razones. La limitación principal es el tema económico ya que la población que se va a ver beneficiada por este sistema de abastecimiento son un número limitado de casas lo cual provoca que las soluciones que se deban tomar deben ser lo más económicas posibles, al igual que el sistema de desinfección del agua debe ajustarse a las características de la comunidad. Al igual, que se tiene la limitación de solo realizar el control de calidad N1 necesario para la selección del sistema de desinfección debido al elevado costo de los tres niveles de control de calidad.

Por otra parte, si es necesario alguna obra en la captación o el tanque de almacenamiento, básicamente en el sitio donde se encuentra la fuente, se debe pedir permisos al dueño de la propiedad ya que los vecinos beneficiados las usan a través de un convenio con el propietario. También, hay que tomar en cuenta que la recopilación de datos se hará a través de un software y si se logra implementación habrá que evaluar la posibilidad de comprar un altímetro. Además, si fuera posible su implementación se deben solucionar los

permisos con las instituciones pertinentes para el funcionamiento de este acueducto según las normas de Costa Rica.

### **1.6 Proyecciones**

En este tema la finalidad del mismo es establecer todas las metas esperadas a alcanzar y estas responden al planteamiento del problema, los objetivos, para dar a entender los beneficios que queremos alcanzar con este trabajo de investigación. Las proyecciones para este proyecto son las siguientes:

- Primeramente se desea conocer y modelar la situación del sistema de abastecimiento ya que este sistema no tiene registros y nunca ha tenido ningún tipo de mantenimiento desde su implementación para ver cuales son sus necesidades básicas.
- También, se realizará los diseños hidráulicos siguiendo todas las normativas pertinentes para lograr un correcto funcionamiento del mismo.
- Se espera determinar el sistema de desinfección que mejor se adapte a las características del sistema al igual que a la capacidad económica de la población con el objetivo principal es garantizar el bienestar de los consumidores y la calidad del agua que consumen para evitar cualquier tipo de enfermedad transmitidas por la misma.
- Posteriormente, se desea proyectar la viabilidad económica de poder implementar las soluciones en un corto plazo analizando la relación costo contra el beneficio.
- Se definirán las acciones y documentos necesarios para el cumplimiento legal del sistema propuesto.
- Ante la posible implementación, se propone un control periódico de la calidad del agua y mantenimientos preventivos para los elementos del sistema de abastecimiento para mantener la calidad del agua ante cualquier cambio que pueda ocurrir.

## **Capítulo II: Marco teórico**

## 2.1 El agua y sistemas de abastecimiento

Para comenzar, se debe mencionar que:

El agua es un recurso muy necesario del cuál requerimos para realizar todas nuestras necesidades básicas y para el desarrollo de multitud de actividades cotidianas. Además, cabe recalcar que el agua para consumo humano, desde el punto de vista sanitario, debe tomar en cuenta tres aspectos:

1. La calidad del agua que se consumirá debe ser apropiada y no entrañar ningún tipo de riesgo para la salud.
2. La cantidad de agua para las necesidades higiénicas y para consumo deben ser suficientes
3. La accesibilidad de recurso hídrico para el consumo debe ser fácil

Consecuentemente, cabe destacar que Costa Rica tiene un Reglamento para la Calidad del Agua Potable, publicado en La Gaceta N<sup>o</sup> 170 para establecer los límites máximos permisibles de parámetros físico, químicos y microbiológicos para el agua potable; además de establecer los cuatro niveles de control de calidad de agua y los parámetros de análisis obligatorios mencionados en el Artículo 8 (Poder Ejecutivo, 2015), teniendo en cuenta además la modificación de los cuadros 1 y 2 del Anexo 1 del decreto anteriormente mencionado los cuales son de importancia ya que son las tablas de párametros para calidad del agua del control operativo y calidad del agua nivel primero (N1), citados en el decreto N<sup>o</sup> 42332-S.

El control más básico corresponde la determinación de los siguientes parámetros:

1. Color aparente: el color del agua se debe a la presencia de materia orgánica o ciertos metales los cuales se encuentran disueltas o en suspensión en el fluido.
2. Conductividad: Según Marín (2018), en su artículo “Características físicas, químicas y biológicas de las aguas”, es producida por los electrolitos disueltos en agua y en ella influye: terreno drenado, composición mineralógica, tiempo de contacto, gases disueltos, pH y todo lo que afecte a la solubilidad de sales.
3. pH: Este se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los seres acuáticos. Es una medida de nivel de concentración de hidrógeno, lo que quiere decir es que tan ácida o alcalina es el agua. El valor de pH de aguas superficiales está entre 6-8,5 siendo las aguas subterráneas más ácidas que las superficiales. (Marín, 2018)

4. Olor-Sabor: Los organismos potencialmente productores de olor/sabor en el agua son prácticamente todos los que pueden vivir en ella, ejemplo, hongos, bacterias, cianofíceas, en otras palabras, todos los que llevan a cabo la putrefacción de materias orgánicas y su descomposición. Esta incidencia viene marcada por dos aspectos: pH y temperatura
5. Temperatura: La temperatura del agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan la solubilidad de las sales y los gases del agua y en general a todas sus propiedades. (Marín, 2018, pp.10-11)
6. Turbiedad: Citando a Marín (2018), menciona que la presencia de materias en suspensión, arcilla, limos, coloides, orgánicos y organismos microscópicos da lugar a la turbidez del agua. Por otra parte, menciona que en aguas naturales la turbidez evoluciona pareja a la del aporte de aguas al medio, a su vez provocada por las lluvias, especialmente torrenciales o se produce en terrenos de fácil erosión. La turbidez se reduce con la sedimentación natural.
7. Coliformes fecales: Estas se definen según Garro (2017) citando a La Organización Panamericana de la Salud, 1988), como bacilos Gram (-) aerobios o anaerobios facultativos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35-37°, este grupo de bacterias son los indicadores más comunes para determinar la calidad del agua.
8. Cloro residual libre o combinado: El cloro es el agente más utilizado en el mundo como desinfectante en el agua de consumo humano. El cloro residual se refiere al remanente del cloro en el agua desde las potabilizadoras hasta la acometida de los puntos de consumo.

También, las opciones tecnológicas de abastecimiento de agua son las diferentes soluciones de ingeniería que se adaptan a las características socioeconómicas de la población, provocando seleccionar de manera óptima de dotar servicios de calidad de agua potable a un costo compatible con la realidad local. Para las poblaciones rurales, en la mayoría de los casos es posible utilizar sistemas con tecnología simple, que no demandan personal calificado o costos operativos muy altos. En el siguiente recuadro, sacado de la guía de orientación en

saneamiento básico para pequeñas comunidades, se aprecian los factores a considerar para la selección de opciones tecnológicas, las cuales son las siguientes:

Fuentes de abastecimiento disponibles	Subterránea
	Superficial
Conducción del agua	Por gravedad
	Por bombeo
Caudal disponible	Cantidad
	Temporalidad
	Calidad
Tratamiento requerido	Desinfección
	Tratamiento simplificado + desinfección
	Tratamiento químico + desinfección
Mantenimiento requerido	Simple
	Intermedio
	Complejo
Características locales	Clima
	Topografía
	Accesibilidad
Niveles de ingreso	Bajo
	Medio
	Alto
Capacidades locales	Muy baja
	Regular
	Buena
Tipo de población	Concentrada
	Dispersa

Tabla 4. Factores para selección de opciones tecnológica para el diseño del acueducto. Fuente: Barrios, 2009.

Consecuentemente, Barrios (2009), en su guía de orientación en saneamiento básico para pequeñas comunidades, publicado por la Organización Panamericana de la salud, menciona que los sistemas convencionales de abastecimiento de agua son sistemas diseñados y construidos a partir de criterios de ingeniería claramente definidos y tradicionalmente aceptados, con un resultado preciso para el nivel de servicio establecido por el proyecto. Estos sistemas se dividen en:

- Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento (GST)
- Sistemas de abastecimiento por gravedad con tratamiento (GCT)
- Sistemas de abastecimiento por bombeo sin tratamiento (BST)
- Sistemas de abastecimiento por bombeo con tratamiento (BST)

Para este trabajo de investigación se explicará únicamente el sistema que trabaja por gravedad sin un tratamiento ya que se adapta más al sistema que se va diseñar. Teniendo en cuenta que este sistema contempla la cloración previo a su distribución

### **Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento (GST)**

Para comenzar, son sistemas donde la fuente de abastecimiento de agua es de buena calidad y no requiere tratamiento complementario previo a su distribución, salvo la cloración, además no requiere de ningún tipo de bombeo para que el agua llegue hasta los usuarios. Las fuentes utilizadas generalmente en estos sistemas son fuentes subterráneas como lo son los manantiales que afloran a la superficie. En estos sistemas la desinfección no es muy exigente, ya que el agua filtrada en los estratos porosos del subsuelo, presenta buena calidad bacteriológica. Estos sistemas tienen una operación bastante simple, sin embargo, requieren un mantenimiento mínimo para garantizar el buen funcionamiento. Sus componentes son: captación, línea de conducción, reservorio, línea de aducción, redes de distribución y conexiones domiciliarias. A continuación se adjunta una tabla de las ventajas y desventajas de este sistema:

<b>Ventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento.</li> <li>▪ Requerimientos de operación y mantenimiento reducidos.</li> <li>▪ No requiere operador especializado.</li> <li>▪ Baja o nula contaminación.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Por su origen el agua puede contener un alto contenido de sales disueltas.</li> </ul>

Tabla 5. Ventajas y desventajas de sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. Fuente: Barrios, 2009.

Para finalizar, para el sistema rural de saneamiento se recomienda en la guía de orientación en saneamiento básico para pequeñas comunidades, publicado por la Organización Panamericana de la salud que en poblaciones menores a 100 familias (450 personas) no se usa alcantarillado, solo debe considerarse sistemas de recolección sin uso de red de tuberías. Estos sistemas pueden ser contruidos por los usuarios de cada casa sin mayor dificultad técnica y otros donde se incluyen equipos fabricados por empresas privadas. En estos sistema se encuentran los tanques sépticos y tipos de letrinas que pueden instalar los consumidores.

## **2.2 Elementos que conforman un acueducto por gravedad**

Primeramente, Vividea (2018) citando a Barahona (2010), define un acueducto como aquel que recolecta el agua desde la fuente de captación, que puede ser naciente, pozo o un río y la lleva a través de tuberías a cada una de las viviendas. El sistema lo conforman diferentes elementos y componentes de la obra física así como las actividades que se realizan para el adecuado tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de manera que sea eficiente y segura para los consumidores.

Consecuentemente, Vividea (2018) mencionando a Rivera (2013) explica los tipos de acueductos, haciendo mayor referencia al tipo de acueducto por gravedad, el cual se caracteriza por tener la fuente de captación en la parte más alta de la comunidad a abastecer y se conoce de esa manera ya que el agua baja por efecto de la gravedad, o sea, su propio peso. El sistema generalmente requiere el uso de válvulas para controlar el agua y garantizar que el servicio llegue adecuadamente a los puntos de consumo.

### **2.2.1 Fuentes de abastecimiento**

Calvo (2019) citando a Comisión Nacional del Agua (2007), la fuente de agua que se elija será aquella que puede abastecer las necesidades futuras de gasto máximo diario para un período de diseño del acueducto en cuestión o al menos satisfacer las necesidades actuales de la población. Por otra parte, Sanabria (2017) menciona a López (2003), que define que estas fuentes se pueden categorizar como superficiales o subterráneas, el uso de estas estará condicionada por factores como localización, calidad y cantidad. Además, independientemente de la fuente que se utilice, se deben tener los estudios correspondientes que permitan conocer la calidad y caudal que ésta pueda dar.

Según Canales, Sánchez y Valenzuela (2019) los tipos de fuente se clasifican en:

1. Aguas atmosféricas: Son las aguas de lluvia, están menos expuestas a la contaminación con bacterias y parásitos, pero no constituye una fuente de aprovechamiento constante.
2. Aguas superficiales: Están presentes corrientes (ríos, arroyos y quebradas) y estancadas (lagos, lagunas y quebradas). Proviene en gran parte de los manantiales y están sometidas a la acción del calor, la luz y pueden llegar a ser contaminadas fácilmente por agentes externos.

3. Aguas subsuperficiales: Se encuentran los manantiales y afloramientos que son puntos localizados en la corteza terrestre por donde aflora el agua subterránea. Generalmente este tipo de fuentes sufre variaciones en su producción. En la mayoría de los casos, es de esperar que el caudal mínimo del manantial coincida con el final del período seco en la zona. También se explica que los criterios para considerar un manantial como fuente de suministro de agua potable son:
- El dato de aforo deberá corresponder al final del período seco de la zona y se tomará como base para el diseño, el mínimo valor obtenido.
  - El caudal crítico de producción de la fuente deberá ser mayor o igual al consumo máximo diario de la población al final del período de diseño.
4. Aguas subterráneas: son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia abajo por los poros del suelo a través de la gravedad, hasta que alcanzan un estrato permanente, como por ejemplo pozos profundos o excavados.

Basán (2010) mencionado por Vividea (2018) cita los métodos comunes para el aforo de una fuente de abastecimiento, este término se refiere básicamente a determinar el valor del caudal para un momento determinado, este caudal depende directamente de la velocidad media del agua y de la sección transversal que atraviesa la corriente de agua. En el siguiente cuadro se muestran el tipo de método y característica:

Método	Características
Aforo volumétrico	Se emplea para la determinación de caudales muy pequeños y consiste básicamente en determinar el tiempo que tarda un flujo de agua en llenar un recipiente de condiciones conocidas. Siendo este método relativamente simple debido a que no requiere equipo especializado.
Aforo utilizando estructuras	Su fin es determinar la cantidad de agua que pasa por una sección definida, por unidad de

hidráulicas	tiempo. Las estructuras más utilizadas son orificios, vertederos y secciones críticas.
Aforo de fuente superficiales Mediante instrumentos (molinete)	El instrumento llamado molinete es utilizado para medir la velocidad del agua en un canal o corriente, contabilizando las revoluciones que la hélice al ser sumergida en una corriente y basados en el principio de que esta velocidad es directamente proporcional.

Tabla 6. Métodos comunes para el aforo de una fuente de abastecimiento. Fuente: Vividea, 2018.

Para finalizar, cabe destacar que el más utilizados en proyectos rurales es el método de aforo volumétrico para calcular caudales hasta un máximo de 10 L/s y después de tener los datos de cuanto tiempo duró en llenar un determinado recipiente se divide el volumen en litros del recipiente entre el tiempo promedio en segundos, obteniendo el caudal en L/s.

El aforo volumétrico consiste en determinar el tiempo que tarda una corriente de agua en llenar un recipiente de volumen conocido. Este método es el más sencillo, exige poco equipo y es muy preciso al aplicarse con un cuidado razonable. Cuanto más grande sea el depósito, mayor será el tiempo necesario para llenarse y será mas precisa la medición. Este método de aforo responde a la fórmula:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} \quad \text{Ecuación 6}$$

### 2.2.2 Captación de Agua

Primeramente, la captación es la forma mediante la cual se obtiene el agua para ser utilizada por el acueducto y debe tener al menos los siguientes elementos básicos: orificios de toma de agua, vertedero de control de excedentes, rejillas para limpieza, compuertas de control y dispositivos de aforo (Calvo, 2019,pp.8).

Por otra parte se hace mención de las principales maneras de hacer la toma de agua ya sea superficial o subterránea:

- Toma de agua superficial: se encuentra la toma directa o de fondo, presas derivadoras y presas de almacenamiento.

- Tomas de agua subterránea: pozos profundos, pozos excavados, manantiales y galerías de filtración

También, Canales (2019) recalca que se debe tomar en cuenta la conservación de las condiciones naturales del afloramiento, evitando excavaciones, movimientos bruscos de tierra o rellenos que afecten el flujo natural y original del agua. De igual manera, procurar dar protección física a la fuente de abastecimiento contra posibles causas de contaminación del agua. Según la calidad del agua la captación puede ser:

- Directa: cuando la calidad física, química y bacteriológica adoptan cloración como tratamiento mínimo
- Indirecta: cuando la calidad bacteriológica o la turbidez ocasional de la misma, requiere el aprovechamiento de la filtración natural.

Por otra parte, cuando la fuente es un manantial de ladera y concentrado, la captación constará de tres partes: la primera corresponde a la protección del afloramiento; la segunda una cámara húmeda para regular el gasto a utilizarse; y la tercera, a una cámara seca que sirve para proteger la válvula de control. Al contrario, si la fuente de agua es un manantial de fondo y concentrado, la estructura de captación podrá reducirse a una cámara sin fondo que rodee el punto donde el agua brota. Constará de dos partes: la primera, la cámara húmeda que sirve para almacenar el agua y reducir el gasto a utilizarse; la segunda, una cámara seca que sirve para proteger las válvulas de control de salida y desagüe. (Organización Panamericana de la Salud, 2004).

### **Captación Manantial de fondo y concentrado**

Es importante conocer que en este documento se especifica las fórmulas para la captación de estos tipos de manantial. Por ejemplo, para el cálculo de un manantial de fondo primeramente se procede al cálculo del ancho de la pantalla el cuál se determina sobre la base característica del afloramiento, quedando con la condición que pueda captar todo el agua que aflore del subsuelo. Por otra parte, para el cálculo de la altura total ( $H_t$ ) de la cámara húmeda, se consideran los elementos identificados como:

$$H_t = A + B + C + H \leq \text{Altura natural que alcanza el agua (Ecuación 7)}$$

Donde:

- A= altura del filtro( se recomienda de 10cm)
- B= diámetro de la tubería de salida
- H= altura de agua sobre la canastilla
- E= Borde libre (se recomienda mínimo 30cm)

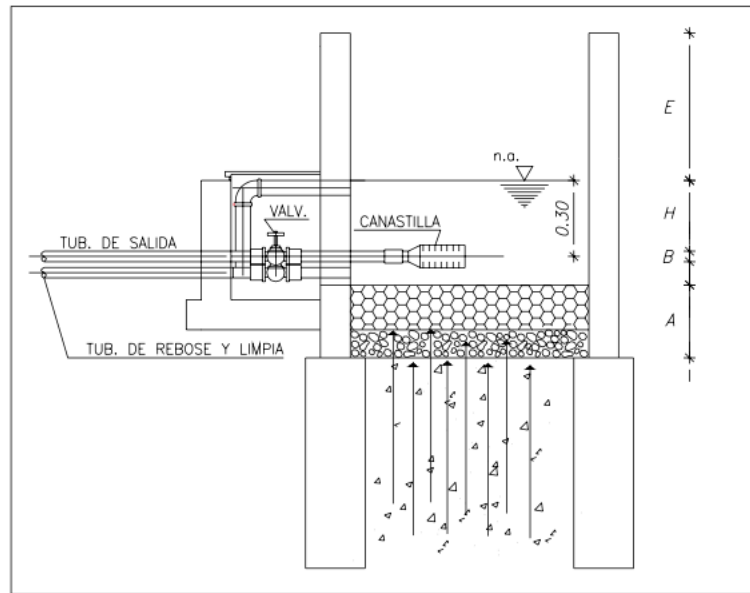


Ilustración 2. Sistema de captación de manantial de fondo. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2004.

Con referencia a lo anterior, para determinar la altura de la captación, se necesita conocer la carga requerida para que el gasto de salida de la captación pueda fluir por la tubería de conducción. La carga requerida es determinada mediante la siguiente ecuación:

$$H = 1,56 \frac{V^2}{2g} \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde:

- H = carga requerida en m
- V = Velocidad promedio en la salida de la tubería de la línea de conducción en m/s. Se debe considerar la velocidad mínima recomendada para las líneas de conducción.
- g = Aceleración de la gravedad igual a 9,81 m/s<sup>2</sup>

Se recomienda una altura mínima de  $H= 5\text{cm}$ , sobre la canastilla. Para esta canastilla se dimensiona de tal manera de que se considera el diámetro de la canastilla 2 veces el diámetro de la tubería de salida a la línea de conducción ( $D_c$ ); que el área total de ranuras ( $A_t$ ) sea el doble del área de la tubería de la línea de conducción; y que la longitud de la canastilla ( $L$ ) sea mayor a  $3 D_c$  y menor de  $6 D_c$ .

Sabiendo que  $A_t = 2 A_c$ :

$$A_c = \frac{\pi D_c^2}{4} \text{ (Ecuación 9)}$$

Conociendo los valores del área total de ranuras y el área de cada ranura se determina el número de ranuras:

$$N^{\circ} \text{ ranuras} = \frac{\text{Área total de ranuras}}{\text{Área de ranuras}} \text{ (Ecuación 10)}$$

Para concluir, se debe calcular la tubería de rebose y de limpia, en la cuál se recomiendan pendientes de 1 a 1,5% y considerando el caudal máximo aforo, se determina el diámetro mediante la ecuación de Hazen y Williams:

$$D = \frac{0.71 Q^{0.38}}{S^{0.21}} \text{ (Ecuación 11)}$$

Donde:

- $D$ = Diámetro en pulgadas
- $Q$ = gasto máximo de la fuente en lps
- $S$ = pérdida de carga unitaria en m/m

### **Área libre alrededor de la obra de captación**

Al utilizar la naciente para consumo humano, se define a través del artículo 31 de la Ley de Aguas N°276 un área no menor a 200 metros de radio alrededor de la misma captación la cual se considera como reserva de dominio a favor de la nación. Igualmente, es factible que la entidad que ostenta la concesión de la captación solicite al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados delimitar con criterio técnico el área de protección mas adecuada para la naciente. También, el área delimitada debe tener un uso de acuerdo a su capacidad manteniendo los árboles existentes en pie, se restringe totalmente el

uso de agroquímicos de etiqueta roja y se debe aplicar técnicas de conservación de suelo. Lo anterior quiere decir que es posible realizar actividades adyacentes a una naciente con la condiciones mencionadas anteriormente, aunque no se puede tener certeza de si estas actividades afectarán la misma. Por esta razón, se constituye que el propietario de la finca debe conservar el bosque o regenerar una franja de 30 metros de radio alrededor de la naciente.

### **2.2.3 Conducción**

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 se trasladará el agua desde la captación hasta el tanque de almacenamiento para su posterior distribución. Está diseñado para satisfacer el gasto máximo día en el período de diseño (Hernández, 2019, pp.17).

#### **Conducción por gravedad**

Canales (2019) menciona que en estos diseños por gravedad se dispone para transportar el caudal requerido de agua debajo de una carga potencial entre sus extremos que pueden utilizarse para vencer las pérdidas por fricción originadas en el conducto al producirse el flujo.

Asimismo, la conducción de este diseño será por gravedad, por lo tanto, Calvo (2019) citando a la Comisión Nacional del Agua (2007), hace referencia a los aspectos básicos que se deben tomar en cuenta en el diseño de este sistema:

- Las tuberías deben de tratar de seguir el perfil del terreno por motivos de disponibilidad de acceso y para estar cerca del gradiente hidráulico, para el cuál se podrán mantener presiones no muy altas que generen una ruptura del sistema. Si la línea de conducción se aleja de la línea de gradiente las presiones altas que se generan se pueden eliminar con elementos auxiliares.

- Esta tubería se debe instalar paralela a una vía pública que permita el acceso abierto para facilitar la inspección de la conducción y poder detectar y corregir los daños que puedan ocurrir.
- En las líneas de conducción donde la topografía es muy irregular, en los sitios más elevados se debe de colocar válvulas para el ingreso y salida de aire. Al contrario, al tener un tramo muy regular, se deben colocar válvulas según la norma que indique cada país.
- En los puntos más bajos del proyecto se deben colocar válvulas de purga para vaciar la tubería en caso de falla en el tramo superior, también para realizar la limpieza.

#### **2.2.4 Potabilización o desinfección del agua**

Primeramente, López (2003) citado por Sanabria (2017), resalta que no siempre es necesario el diseño y construcción de una planta de tratamiento ya que las fuentes de agua subterránea, por ejemplo manantiales que son aguas subterráneas, proporcionan agua natural y de buena calidad, pero como mínimo se debe dar un proceso de desinfección al agua, que garantice la no existencia de patógenos. Dentro de los métodos de desinfección se mencionan:

- Desinfección por cloro: este corresponde al método más económico y para lograr una correcta desinfección el tiempo de contacto entre las dos partes no debe ser menor a 15 minutos.
- Desinfección por rayos ultravioleta: este método consiste en hacer pasar en capas delgadas de agua por lámparas que irradian este tipo de rayos, la limitación fundamental es la turbiedad del líquido.
- Desinfección por ozono: consiste en la elevación de voltaje que al ocasionar chispas, éstas entran en contacto con el oxígeno, produciendo ozono. Es muy efectivo y de gran utilización en Europa.

La Organización Panamericana de la Salud (2007) menciona que la desinfección es importante, pero es crítica en las comunidades pequeñas y zonas rurales, donde puede ser la única forma de tratamiento accesible. La importancia de la desinfección radica en eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua.

Además, las características que deben tener los métodos de desinfección para ser aplicables en el ámbito rural son los siguientes: rápido y efectivo, fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas y capaz de proveer una acción residual, que no afecte el sabor, olor o color del agua y que sea fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar. Bajo estas características, el cloro es uno de los métodos que más se aplica en el área rural.

### **2.2.5 Cloración**

Por su parte, la Organización Panamericana de la Salud (2007) establece una serie de consideraciones para la cloración como método de desinfección. En primer lugar, la familia del cloro disponible en el mercado para la desinfección del agua son:

- Cloro gaseoso: este no aplica en el ámbito rural, el uso de cloro de gas no es recomendado para caudales menores a  $500m_3/\text{día}$ , significa que el cloro gas solo es recomendable para poblaciones mayores de 5000 habitantes.
- Cal clorada hipoclorito de sodio
- Hipoclorito de calcio

Para continuar, se debe considerar que para la cantidad de producto necesario, está en función del caudal de agua a tratar, mientras que la dosis requerida está en función de la calidad de agua y las normas de calidad de agua del país. Otro elemento para definir la selección de producto son las posibilidades de abastecimiento debido a que en muchos casos las zonas rurales se encuentran muy alejadas de las ciudades y son de difícil acceso, lo cual podría sugerir emplear otro desinfectante; además de la capacidad técnica que requiera. Las propiedades de los productos del cloro se representan a continuación:

Nombre y fórmula	Nombre comercial o común	Aspecto	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
<b>Cal clorada</b> $\text{CaO} \cdot 2\text{CaCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Cal clorada, Polvo blanqueador, hipoclorito de calcio, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 45 - 135 kg Bolsas plásticas o de papel de 25 - 40 kg, otros.
<b>Hipoclorito de sodio</b> $\text{NaClO}$	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% son inestables.	Baja. Pérdida de 2- 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0.1 - 0.6 %	Baja	Oxidante	Volumen variable
<b>Hipoclorito de calcio</b> $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 - 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 - 70%	Buena. Pérdida de 2- 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores 45 - 135 kg, baldes de plástico

Tabla 7. Propiedades de los productos del cloro. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2007

Por otra parte, los sistemas de desinfección de agua potable para comunidades pequeñas varían considerablemente en cuanto a complejidad técnica y requisitos de operación y mantenimiento. Los sistemas más complejos requieren personal más calificado que los sencillos, aunque estos últimos pueden requerir atención más frecuente. En la siguiente tabla se resumen las características, comportamiento y eficacia de los desinfectantes comúnmente utilizados en los sistemas de abastecimiento comunitarios de agua, facilitando la selección inicial de desinfectantes y el sistema de desinfección necesario.

Factores y consideraciones especiales	Características del desinfectante	
	Hipoclorito	Cloraminas
CLASE DE USO	Primario y secundario	Secundario solamente
EFICACIA DEL DESINFECTANTE:		
Bacterias	Muy bueno como HOCl	Deficiente
Virus	Muy bueno como HOCl	Deficiente
Protozoos	Regular	Muy deficiente
Helmintos	Bueno	-----
INFLUENCIA DE:		
pH	El aumento reduce la eficiencia	pH > 7; monoclóraminas pH < 5; dicloraminas
Alta turbiedad o sólidos suspendidos	Protege a los microorganismos contra el desinfectante	Protege a los microorganismos contra el desinfectante
Disminución de temperatura	Reduce la eficiencia	Reduce la eficiencia
Amoniaco/productos orgánicos	Se forman compuestos organoclorados	Poco efecto
EFFECTOS DEL DESINFECTANTE:		
Sobre la salud	Ninguno a la dosis normal	Ninguno a la dosis normal
Sobre el sabor y olor	Insignificante en ausencia de productos orgánicos	Insignificante
DERIVADOS IMPORTANTES:		
Sabores/olores	De la reacción con productos orgánicos y fenoles	Ninguno para monoclóraminas Moderado para dicloraminas Alto para tricloraminas
Subproductos indeseables	Trihalometanos, ácido acético clorado, haloácido nitrilos y otros.	Se forma cloruro de cianógeno
TIEMPO DE CONTACTO	30 minutos	Muy largo

Tabla 8. Características del desinfectante. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2007

Consecuentemente, la selección del equipo dosificador o alimentador de cloro, tal como se había mencionado, depende de tres factores: las características del producto clorado, la dosis de cloro en el agua y el caudal del agua a desinfectar. En base a esto, la Organización Panamericana de la Salud en su guía de selección del sistema de desinfección clasifica algunos de los equipos más utilizados de la siguiente manera:

Clasificación	Equipo dosificador	Producto	Rango de servicio (habitantes)
Cloro gaseoso (No aplicable a sistemas rurales por su costo)	A presión (directo)	Gas Cloro	5.000 habitantes a grandes ciudades
	Al vacío (Venturi o eyector)	Gas Cloro	
Solución	<b>Bajo presión atmosférica, de carga constante</b>		
	Tanque con válvula de flotador	Hipoclorito de Na o Ca	< 5.000
	Tubo con orificio en flotador	Hipoclorito de Na o Ca	
	Sistema vaso /botella	Hipoclorito de Na o Ca	
	<b>Bajo presión positiva o negativa</b>		
Bomba de diafragma(positiva)	Hipoclorito de Na o Ca	[2.000 – 300.000]	
Dosificador por succión(negativa)	Hipoclorito de Na o Ca		
<b>Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i></b>			< 5.000 hab.
Sólido	Dosificador de erosión	Hipoclorito de Calcio	[2.000 – 50.000]
	Otros dosificadores (flujo difusión)	Cal clorada	< 2.000

Tabla 9. Clasificación de equipos de cloración. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2007.

Los sistemas bajo presión atmosférica, todos los productos basados en el cloro son líquidos o siendo sólidos pueden ser disueltos y usados como una solución. Ésta es la manera más popular de desinfectar en el medio rural como se mencionó anteriormente. Es sencilla, económica y pueden usarse muchos dispositivos de tecnología apropiada. Los sistemas más utilizados son los que operan bajo el principio de carga constante por su mayor precisión y confiabilidad. Estos sistemas básicamente están compuestos de dos elementos: un tanque de carga constante que contiene una solución stock a ser dosificada y un mecanismo de regulación. A continuación se van a mencionar los tres sistemas más recomendados bajo este principio, siendo el sistema de tubo con orificio en dispositivo flotante el más utilizado en numerosos países:

- Tanque con válvula flotador: es una válvula del mismo estilo que la que utilizan los tanques de inodoros. Uno o dos tanques contienen la solución stock a ser alimentada y se coloca en un tanque pequeño. Cabe destacar que aunque el sistema es sencillo y económico, es bastante exacto.
- Tubo con orificio en flotador: su elemento básico es el PVC con uno o más orificios. Este tubo se fija a un dispositivo flotante y el orificio debe colocarse algunos centímetros debajo del nivel de la solución. La solución ingresa al tubo y fluye hacia abajo a la tasa deseada de alimentación. Una ventaja de este

sistema es que al ser una estructura plástica no corroe y se limpia fácilmente las obstrucciones producidas por depósitos de calcio o magnesio.

- Sistema vaso/botella: consta de un tanque con una solución stock, un elemento de dosificación, conexiones y una válvula de regulación.

También, cabe destacar otro sistema dosificador de carga constante o por goteo el cuál permite dosificar hasta un caudal de 125 ml/s para una concentración de cloro del 0,5%. Este dispositivo tiene la capacidad de tratar caudales hasta de 8 L/s. Por otra parte, si se toma la decisión de utilizar un tipo de cloro sólido se pueden utilizar los métodos de:

**Erosión:** los equipos de dosificación que trabajan bajo el sistema de erosión utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimiento de agua para comunidades pequeñas e individuales. Los equipos son muy fáciles de manejar y mantener, además son baratos y duraderos, con la ventaja de que las tabletas son más seguras que las soluciones de hipoclorito y el cloro gaseoso; y más fáciles de manejar y almacenar. Estos dosificadores disuelven gradualmente las tabletas de hipoclorito a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua alrededor de ellas. Al ir disolviéndose, la tableta se reemplaza con otras nuevas, las cuales van cayendo por gravedad en la cámara.

**Difusión:** denominado hipoclorador de flujo por difusión, construido con PVC y tiene una altura máxima de 60cm. La altura efectiva del hipoclorador y la distancia entre los agujeros se determina a partir de la dosis a aplicar, el cloro residual deseado, el caudal y el número de días de operación del dispositivo.

### 2.2.6 Tanques de almacenamiento

En primer lugar, el almacenamiento es un elemento del sistema de distribución que desempeña una función importante en el suministro ya que de este depende el buen funcionamiento de abastecimiento ya que brinda presiones adecuadas en la red de distribución y dispone de reserva ante eventualidades e interrupciones en el suministro (Canales, 2019, pp.25).

Para continuar, en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Saneamiento y Pluvial, publicada en el 2017, se menciona que para los tanques de almacenamiento deben tener al menos la capacidad requerida para:

compensar las fluctuaciones horarias de la demanda, combatir incendios cuando el diseño propuesto así lo contemple y reserva por interrupciones.

Los diseños de los tanques de almacenamiento deben estar sujetos a tres volúmenes primordiales los cuales son:

### **Volumen de regulación del consumo**

Este es el volumen requerido para compensar las fluctuaciones horarias del consumo. Debe ser determinado para cada diseño en particular, utilizando curvas de consumo reales, en caso de no disponer de lo anterior y si el caudal que alimenta el tanque es constante e igual al caudal promedio diario requerido por la zona abastecida por el depósito, se aplicará un volumen equivalente al 14% del volumen promedio diario (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

### **Volumen de reserva para incendios**

Según el Instituto de Acueductos y Alcantarillados (2017), este volumen corresponde a la cantidad de agua necesaria para suministrar el caudal de incendio. Existen distintas clasificaciones de tanques, una de ellas es la disposición de ellos los cuales pueden ser elevado, enterrado o semienterrado y la otra clasificación trata más de la ubicación de la estructura como tal; esto se refiere como a los tanques de compensación situado al extremo opuesto de la entrada de la red, acumulando un volumen de agua cuando la demanda es muy pequeña, que se emplea cuando la demanda supera el suministro.

En la norma N°2001-248, publicada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y reafirmada mediante el acuerdo N° 281-2017, menciona que el caudal se calcula de acuerdo a la siguiente tabla:

Población (habitantes)	Número de hidrantes operando simultáneamente	Caudal adicional para incendio (l/s)
0 a 5000	0	0
De 5000 a 15.000	1	8
De 15.000 a 30.000	2	16
De 30.000 a 60.000	3	24
De 60.000 a 120.000	5	40
De 120.000 a 200.000	6	48
De 200.000 a 300.000	8	64

Tabla 10. Cálculo del caudal de incendio. Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados(2017)

Para concluir, se establece a partir de este cuadro en el reglamento que en poblaciones rurales dispersas, no se considerará la demanda por incendio.

### **Volumen de reserva por interrupciones**

“Este se establece como el volumen de reserva por interrupciones en las prestación de servicio, que debe ser como mínimo el volumen correspondiente a un período de cuatro horas del caudal promedio diario”( Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, pp.18).

### **Volumen total de almacenamiento**

Este volumen se determina por la sumatoria de los volúmenes indicados anteriormente.

## **2.2.7 Redes de distribución**

Una red de distribución consiste en un conjunto de elementos tales como tuberías, accesorios y estructuras que se encargan de transportar el agua potable desde el tanque de almacenamiento a todos los puntos de consumo que tiene la red.

Para continuar, la norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, señala varios aspectos a tener en cuenta a la hora de realizar el diseño de estas redes de distribución:

- **Velocidad:** la velocidad máxima en redes de distribución es de 3,0 m/s. Por otra parte la velocidad máxima en líneas de conducción y de aducción es de 5,0 m/s y la mínima de 0,60 m/s. Tener en cuenta que si se obtienen valores de velocidad inferiores al mínimo establecido, prevalecerá el criterio de diámetro mínimo de la tubería.
- **Presión:** La presión estática máxima será de 50 metros de columna de agua (mca) en el punto más bajo de la red. Se permitirán en los puntos aislados presiones hasta de 70 mca cuando el área de servicio sea muy quebrada. Por último, la presión dinámica de servicio no será menor de 15 mca en la interconexión con la red de distribución, en el punto crítico de la red.

#### **Tipo de redes:**

- **Red de distribución abierta:** son redes constituidas por ramales, uno principal y una serie de ramificaciones que pueden terminar en puntos ciegos, en otras palabras, no se logran interconexiones entre ramales, esto cuando la topografía dificulta o no permite estas interconexiones.
- **Red de distribución cerrada:** estas tuberías se conectan formando un tipo de malla, siendo este tipo de red el más conveniente y se tratará siempre de generar estas interconexiones ya que permiten crear circuitos cerrados que permiten un servicio más eficiente y permanente, al poder desplazarse el fluido constantemente.

### **2.3 Parámetros básicos de diseño**

### 2.3.1 Población de diseño

Para comenzar, citando al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), la población mínima de diseño se debe calcular a partir del número de unidades habitacionales que contempla el proyecto multiplicado por el factor de hacinamiento, este último corresponde al valor que se obtiene del último censo de la población del distrito.

Por otra parte, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2001), N°2001-248, indica que la población futura se estimará para el período de diseño que corresponda, se indica que si se dispone de censos de población, la estimación se realizará de acuerdo con la tendencia que muestren. Si no se dispone de censos, se admitirá un crecimiento geométrico de la población, siendo las tasas de crecimiento anual recomendadas:

- Crecimiento de población rural: 3,5%
- Crecimiento de población urbana: 3,0%

De no existir planes reguladores o censos, se considerarán cinco habitantes por vivienda unifamiliar en acueductos urbanos y 6 habitantes por vivienda en acueductos rurales.

Los métodos para obtener el cálculo de población futura se pueden obtener por medio del método de comparación gráfica, método de crecimiento lineal, método de crecimiento geométrico y el método de crecimiento logarítmico; siendo los más confiables los dos últimos métodos citados.

- Método de crecimiento logarítmico

Es un método utilizado cuando el crecimiento de la población es de tipo exponencial, se requiere información de habitantes de al menos dos censos y se calculan mediante la ecuación:

$$P_f = P_{ci} * e^{r(T_f - T_{ci})} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$r = \frac{\ln P_{uc} - \ln P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

- $P_{ci}$  = Población censo inicial (habitantes)
- $P_{uc}$  = Población último censo (habitantes)
- $P_f$  = Población final (habitantes)

- $r$  = Tasa de crecimiento exponencial anual (%)
- $T_f$  = Año de la proyección (año)
- $T_{ci}$  = Año de censo inicial (año)
- $T_{uc}$  = Año de último censo
- Método de crecimiento geométrico

Este método se aplica cuando el aumento de la población es proporcional al tamaño de esta y para el cálculo se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{(T_f - T_{uc})} \text{ (Ecuación 14)}$$

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}}} \text{ (Ecuación 15)}$$

Para estas ecuaciones aplica la misma simbología de las ecuaciones del método de crecimiento logarítmico.

### 2.3.2 Período de diseño

Este término se refiere al número de años durante una obra determinada la cuál prestará con eficiencia el servicio para el cuál fue diseñada. También, el Ing. López Cualla (1995), en su libro “Elementos de diseño para Acueductos y Alcantarillados”. Resalta los factores que intervienen en la selección del período de diseño, los cuales son:

- Tomar en cuenta la vida útil de las estructuras y equipo tomando en cuenta la obsolescencia, desgaste y daños.
- Amplificaciones futuras y planeación de las etapas de la construcción del proyecto.
- Cambios en el desarrollo socioeconómico de la población
- Comportamiento hidráulico de las obras cuando no estén funcionando a su plena capacidad.

En la norma publicada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2003, menciona los períodos establecidos para las diferentes partes del acueducto:

**Obras de captación y toma:** Para el cálculo del caudal a extraer de una toma de río o quebrada, incluyendo el desarenador y para el caudal de una captación tipo naciente: 25 a 50 años. Este valor va a depender del caudal del cuerpo del agua versus el caudal de diseño al plazo mayor posible según la capacidad del cuerpo de agua en la época de estilaje.

**Tubería de aducción:** para la tubería donde fluya agua cruda o agua que solo necesita del proceso de desinfección: de 25 a 50 años; este valor debe ser el mismo utilizado para la captación.

**Planta potabilizadora:** es de acuerdo a las tendencias del crecimiento poblacional, se debe elegir períodos de diseño largos para crecimientos lentos y viceversa. Crecimiento bajo, que sería menos del 3% anual, de 20 a 25 años. Para un crecimiento alto, mayor al 3% de 15 a 20 años.

**Tanque de almacenamiento:** estos tienen un período de diseño de 25 años, cuando estos proyectos no son de desarrollo urbanístico, se debe dejar previsto en el terreno el espacio para construir otro tanque de dimensiones similares. Los tanques se pueden diseñar por etapas cuando estos tienen el volumen mayor a  $2000 m^3$ .

**Tubería de conducción:** para las líneas de conducción de agua tratada, el período es de 25 años.

**Tubería de distribución:** Para las líneas de distribución el período de diseño será de 20 años.

## 2.4 Consumo de agua

Para comenzar, para establecer el caudal de diseño es necesario determinar el consumo de agua; el cuál es el volumen de agua utilizado por una persona en un día y se expresa por lo general en litros por habitante por día (L/hab/día).

### 2.4.1 Dotaciones

Primeramente, hay que tener en cuenta el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (2017), que menciona las dotaciones mínimas de agua para uso doméstico, comercial, industrial, jardín y otros fines especificados en el artículo 4. A

continuación, se muestra la tabla con todas las dotaciones mínimas, incluyendo la de criaderos de animales, los cuales en nuestro caso nos sirve los de tipo porcino:

<b>Clase de edificación</b>	<b>Dotación (Litros/persona/día)</b>
Casas de interés social	150
Casas unifamiliares	250
Apartamentos y condominios	250
Hoteles y alojamientos <sup>(1)</sup>	200
Hospitales <sup>(2)</sup>	1250
Escuelas	
Alumnado externo	50
Alumnado interno	150
Restaurantes, bares y similares <sup>(3)</sup>	25
	50 <sup>(4)</sup>
Instalaciones deportivas y baños públicos	50
Locales comerciales y edificios para oficina	50
	6 <sup>(4)</sup>
Salas de baile y similares	30 <sup>(4)</sup>
Cines, teatros, auditorios y templos	8
Estadios, gimnasios y similares	4
Orfanatos, asilos y similares	150
Fábricas en general (uso personal)	60
Carnicerías y pescaderías	20 <sup>(4)</sup>
Mercados	5 <sup>(5)</sup>
Lecherías	120
Mataderos	
Animales grandes	300
Animales pequeños	150
Aves de corral	16
Jardines	1,5
Balneario	50
Piscinas	
Con recirculación	10 <sup>(4)</sup>
Sin recirculación	25 <sup>(4)</sup>
Cárceles	200
Estacionamientos	2 <sup>(4)</sup>
Lavanderías	
Al seco, tintorería	30 <sup>(6)</sup>
Ropas en general	40 <sup>(6)</sup>
Estaciones de lavado de autos	8000 <sup>(7)</sup>
Criaderos de animales	(L/día/animal)
Ganado lechero	120
Bovinos	40
Ovinos	10
Equino	40
Porcino	10-30
Aves de corral	20 <sup>(8)</sup>

Tabla 11. Dotaciones mínimas diarias. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017.

### 2.4.2 Consumo neto

Corresponde a la cantidad de agua potable usada efectivamente en todas las actividades realizadas en la comunidad.

### 2.4.3 Consumo bruto

López (2000) citado por Sanabria (2017) establece que el consumo total de la población se determina a partir de la ecuación:

$$C_b = \frac{C_n}{1-\%P} \text{ (Ecuación 16)}$$

Siendo:

C<sub>b</sub> = consumo bruto (l/p/d)

C<sub>n</sub> = consumo neto (l/p/d)

% = porcentaje de pérdidas

Sanabria mencionando al AyA, resalta que el porcentaje de pérdidas es muy importante en el diseño y análisis de acueductos, lo ideal es que sea lo más bajo posible. En Costa Rica se pueden estimar en un 5% del caudal máximo diario.

Según la norma técnica de diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable y pluvial, para el diseño del sistema de abastecimiento se deben aplicar las siguientes dotaciones brutas:

- Datos de los patrones de consumo y demandas de la localidad en estudio, según datos reales si estos se encuentran a disposición del diseñador.
- Cuando no existan datos reales de estos patrones, se deben utilizar los siguientes valores mínimos:

Tipo de población	Dotación mínima (l/p/d)
Poblaciones rurales	200 l/p/d
Poblaciones urbanas	300 l/p/d
Poblaciones costeras	375 l/p/d
Área Metropolitana	375 l/p/d

Tabla 12. Dotaciones mínimas. Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017)

Tener en cuenta que las dotaciones rurales no aplican para este tipo de poblaciones costeras ya que se aplicará la dotación establecida para estos casos. Además, estas dotaciones corresponden a consumo de agua poblacional, por lo que no aplican para calcular la demanda de agua requerida como materia prima o insumo a procesos industriales, agroindustriales u otros.

## 2.5 Caudal de diseño

Con el fin de diseñar las estructuras del acueducto, es necesario calcular el caudal apropiado, que debe contemplar las necesidades de la población de diseño y los costos de construcción de un acueducto para un caudal excesivo. Normalmente se trabaja con tres tipos de caudales: caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario (López, 1995).

### 2.5.1 Factores de demanda máxima

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), establece los siguientes factores de demanda:

- El caudal máximo diario será igual a 1,2 veces el caudal promedio diario, es decir el factor máximo diario (FMD) es 1,2.
- El caudal máximo horario será igual a 1,80 veces el caudal máximo diario, es decir el factor máximo horario (FMH) es 1,8.

### 2.5.2 Consumo promedio diario

Se refiere al caudal promedio obtenido de un año de registros y es la base de la estimación del caudal máximo diario y del máximo horario. Expresado en litros por segundos, se obtiene de la siguiente manera (López, 1995):

$$Q_{promedio} = \frac{C_b \times Población}{86400} \quad (Ecuación 17)$$

Siendo:

$Q_{promedio}$  = Caudal promedio diario (l/s)

$C_b$  = Consumo bruto (l/p/d)

Población = población proyectada (hab)

### 2.5.3 Consumo Máximo Diario

Representa el día de mayor consumo en el año y se calcula con la siguiente ecuación (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017):

$$QMD = QPD \times FMD \text{ (Ecuación 18)}$$

En donde:

QMD: caudal máximo diario

QPD: caudal promedio diario

FMD: factor máximo diario

### 2.5.4 Consumo máximo horario

Corresponde a la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo, y en general se determina como:

$$Q_{m\acute{a}ximo\ horario} = FMH \times Q_{Promedio} \text{ (Ecuación 19)}$$

Donde:

FMH: factor máximo horario (1,8)

$Q_{promedio}$ : caudal promedio diario

### 2.5.5 Caudal de incendio

Como se mencionó en el volumen del caudal de incendio, la norma N°2001-248, publicada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y reafirmada mediante el acuerdo N° 281-2017, menciona que el caudal de incendio para poblaciones menores a 5000 habitantes será de 0 l/s. Además, cabe mencionar que el Instituto de

Acueductos y Alcantarillados (2017), establece que este caudal, la ubicación y los tipos de hidrantes para los sistemas que necesiten de estos tiene que cumplir con los requerimientos técnicos que establece el Benemérito Cuerpo de Bomberos, de conformidad con la ley N° 8641 y la N° 8228.

### **2.5.6 Caudal de diseño**

Este caudal se calculará a partir de la suma del caudal máximo diario y el caudal de incendio (Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

$$Q_{diseño} = Q_{máximo\ diario} + Q_{incendio} \quad (\text{Ecuación 20})$$

### **2.6 Tuberías de distribución**

En las obras para el abastecimiento y distribución de agua deberán utilizarse únicamente tuberías y accesorios de los siguientes materiales en base al Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (2017):

- PVC
- Hierro galvanizado
- Cobre
- Polietileno de alta densidad
- CPVC
- Polipropileno
- Hierro negro

El mismo código señala que las tuberías deberán cumplir con los siguientes requisitos generales: material homogéneo, sección transversal circular de dimensiones normalizadas, espesor de pared uniforme, dimensiones y espesores de acuerdo a las condiciones operativas y carecer de defectos como grietas, abolladuras y deformaciones. Para todos los tipos de tuberías se consideran de calidad satisfactoria si cumplen con las especificaciones más recientes de entidades calificadas como, American Society for Testing and Materials (ASTM), la American Water Works Association (AWWA) o la International Organization for Standardization (ISO).

Por otra parte, en los casos de tuberías de PVC y CPVC, las tuberías y sus accesorios deberán cumplir con las siguientes normas:

- ASTM D – 2241 para tuberías de agua potable
- ASTM D – 1785 para tuberías de agua potable
- ASTM D – 2466 accesorios para tuberías de agua potable
- ASTM D – 2464 accesorios para tuberías de agua potable
- ASTM D – 2846 para tuberías y accesorios CPVC para agua caliente

### 2.6.1 Velocidades

Como se mencionó anteriormente, la velocidad mínima para las tuberías de distribución debe ser 0,60 m/s para evitar la sedimentación de partículas y una velocidad máxima de 3,0 m/s aunque el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CIHSE) menciona que la máxima es de 2,0 m/s para evitar ruido excesivo en las tuberías. El CIHSE publicado por el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (2017), menciona que para evitar pérdidas de carga excesiva se recomienda mantener las velocidades máximas según:

$$V = 10\sqrt{D} \text{ (Ecuación 21)}$$

Donde V representa la velocidad en metros por segundo y  $\sqrt{D}$  es la raíz cuadrada del diámetro interno de la tubería en metros. Las velocidades máximas recomendadas resultan en pérdidas por fricción entre 0,10 y 0,20 mca por metro lineal de tubería. La siguiente tabla muestra las velocidades y caudales máximos recomendados de acuerdo al criterio explicado anteriormente para tuberías de hierro galvanizado, CPCV y de PVC:

Diámetro nominal (mm)	Velocidad Máxima (m/s)			Caudal Máximo (Litros/s)			Gradiente Hidráulico <sup>(3)</sup> (mca/m)	
	PVC <sup>(1)</sup>	H.G <sup>(2)</sup>	CPVC	PVC	H.G	CPVC	PVC	H.G
12	1,34	1,30		0,35	0,30		0,138	0,173
18	1,53	1,47	1,11	0,67	0,55	0,13	0,130	0,163
25	1,71	1,67	1,35	1,17	1,04	0,35	0,123	0,153
32	1,92	1,91		2,09	2,04		0,116	0,143
38	2,00	2,00		2,85	2,80		0,106	0,132
50	2,00	2,00		4,45	4,58		0,082	0,099
62	2,00	2,00		6,52	6,29		0,065	0,082
75	2,00	2,00		9,66	10,48		0,052	0,061
100	2,00	2,00		15,97	17,65		0,039	0,045

Tabla 13. Velocidades máximas recomendadas. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017.

### 2.6.2 Presiones

Como se mencionó al explicar las redes de distribución:

- la presión estática máxima será de 50 metros de columna de agua (mca) en el punto más bajo de la red.
- Se permitirán en los puntos aislados presiones hasta de 70 mca cuando el área de servicio sea muy quebrada.
- Por último, la presión dinámica de servicio no será menor de 15 mca en la interconexión con la red de distribución, en el punto crítico de la red.

### 2.6.3 Dimensionamiento de tuberías

Primeramente, las tuberías se deben dimensionar aplicando las fórmulas de Hazen y Williams u otras. Se acepta la aplicación de otras fórmulas, la cuál tiene que aportar la debida justificación y documentación técnica lo cuál queda sujeto a la aprobación del AyA. (Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 2017). Los coeficientes máximos para las fórmulas de Hazen y Williams (C), según el tipo de material son:

Material	Valor máximo de C (Adimensional)
Poliétileno de Alta Densidad (PEAD)	130
Cloruro de Polivinilo (PVC)	130
Concreto	120 - 140
Hierro galvanizado	120
Hierro dúctil	120
Hierro fundido *	130
Hierro fundido (10 años de edad)	107 - 113
Hierro fundido (20 años de edad)	89 - 100
Hierro fundido (30 años de edad)	75 - 90
Hierro fundido (40 años de edad)	64 - 83
Acero	130
Acero *	140 - 150
Acero rolado	110
Cobre	130 - 140

(a) Se refiere al material utilizado en productos fabricados durante los últimos 10 años.

Tabla 14. Coeficientes máximos Hazen y Williams. Fuente: Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 2017.

La fórmula de Hazen y Williams se representa en la siguiente ecuación:

$$h_f = 10.648 * \left(\frac{1}{C}\right)^{1.852} * \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} * L \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde:

$h_f$ : Pérdidas totales

D: diámetro de la tubería (m)

Q: caudal ( $m^3/s$ )

C: Coeficiente de fricción de la tubería

L: longitud de la tubería (m)

#### 2.6.4 Diámetro mínimo

En este apartado, la norma técnica para diseño y construcción de sistemas de agua potable, señala que en las líneas de conducción y de aducción, el diámetro mínimo de la tubería será el que determine el cálculo hidráulico. Además, se indica que el diámetro interno

de la tubería corresponderá al que se indique en la norma de fabricación del tubo según el diámetro nominal seleccionado.

También se puede establecer para el dimensionamiento del diámetro, resaltar las siguientes ecuaciones, las cuáles ayudan a establecer un diámetro teórico para luego adaptarlo a uno comercial y encontrar la velocidad real:

$$Q = V * A \rightarrow D_{teórico} = \sqrt{\frac{4 * Q_{diseño}}{\pi * V_{asumida}}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$V_{real} = \frac{4 * Q_{diseño}}{\pi * D_{real}^2} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

Q: caudal de diseño ( $m^3/s$ )

V: velocidad

A: área

D: Diámetro teórico(m)

Aunque es importante tomar en cuenta que la Norma Técnica de Diseño y Construcción de Sistemas de abastecimiento potable en el apartado 4.13, acepta un diámetro mínimo de 75mm en sitios de desarrollos limitados, únicamente cuando en ese tramo no se instale un hidrante, como es nuestro caso.

### 2.6.5 Pérdidas de carga en el sistema

Para el cálculo de pérdidas de carga originadas por fricción en las tuberías de distribución y los ramales de alimentación, se recomienda utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach, ya que presenta la mayor precisión para calcular las pérdidas de carga en la tubería. El método de Darcy-Weisbach se expresa de la siguiente manera (Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017):

$$\frac{h_f}{L} = \frac{f}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

D: diámetro interno de la tubería (m)

f:factor de fricción

g: aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

h<sub>f</sub>: pérdidas de energía (m)

L: longitud de la tubería (m)

V: velocidad del líquido en la tubería (m/s)

Siguiendo con este tema, el coeficiente de fricción “f” se calcula a partir de la fórmula de Colebrook White o su equivalente gráfico, el diagrama de Moody. La ecuación de Haaland, que se mostrará a continuación, es explícita y aproxima la ecuación de Colebrook, con un error menor del 2% en el cálculo del factor de fricción:

$$f = \frac{1}{\left[-1,8 \log_{10} \left( \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right)\right]^2} \quad (\text{Ecuación 26})$$

donde:

Re: número de Reynolds en el conducto

D: diámetro interno de la tubería (mm)

e: rugosidad absoluta del material de la tubería en mm

Esta ecuación es válida bajo las siguientes ecuaciones:

- $4000 < Re < 1 \times 10^8$
- $1 \times 10^6 < \varepsilon/D < 0,05$

Por último, la norma recomienda para tuberías lisas utilizar la ecuación de Blasius:

$$f = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \text{ en el rango } Re \leq 2 \times 10^4 \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$f = \frac{0,184}{Re^{1/5}} \text{ en el rango } 2 \times 10^4 < Re \leq 2 \times 10^6 \quad (\text{Ecuación 28})$$

A continuación, se mostrará las rugosidades absolutas para la ecuación de Colebrook White:

Tipo de Tubería	Rugosidad $\mathcal{E}$ (mm)	
	Rango	Diseño
PVC, PE		0,0015
Cobre		0,0015
Hierro fundido		
nuevo		0,26
Con revestimiento de asfalto	0,06-0,20	0,12
oxidado	1,00-1,50	
Con incrustaciones	1,50-3,00	
centrifugado		0,05
Hierro galvanizado	0,06-0,25	0,15
Acero soldado		
nuevo	0,03-0,10	0,046
Con revestimiento de asfalto	0,01-0,02	0,015
con corrosión ligera	0,10-0,20	
con corrosión fuerte	1,00-3,00	
Acero remachado	0,90-9,10	1,83

Tabla 15. Rugosidades absolutas. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017.

### 2.6.6 Accesorios

Para comenzar, los accesorios presentes en los sistemas de abastecimiento son un conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas. Estos accesorios pueden ser de rosca, bridados y soldados al necesitar conexiones permanentes. Hay diferentes tipos de accesorios como: codos de 90°, codos de 45 °, codos de 180°, unión en T y además de diferentes tipos de válvulas. Estos accesorios generan más resistencia conforme utiliza mayor cantidad y en el CIHSE se menciona que se deben considerar las pérdidas menores provocadas por cambios de dirección, válvulas, reducciones, medidores de caudal y otros accesorios. La siguiente tabla contiene los coeficientes de pérdidas locales necesarios para estimar las pérdidas en metros de columna de agua:

Accesorio	Diámetro nominal (mm)						
	12	18	25	32	38	50	62
	Coeficiente K						
Codo roscado 90°	2,10	1,69	1,44	1,28	1,16	0,99	0,88
Codo roscado 90° (R.L.)	1,29	0,92	0,73	0,61	0,52	0,41	0,35
Codo bridado 90°	-	-	0,43	0,41	0,39	0,38	0,35
Codo bridado 90° (R.L.)	-	-	0,41	0,37	0,34	0,30	0,26
Codo roscado 45°	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
Codo bridado 45°	-	-	0,25	0,24	0,22	0,20	0,19
Codo roscado 180°	2,10	1,69	1,45	1,29	1,17	1,00	0,89
Codo bridado 180°	-	-	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33
Unión en T roscada (F.L.)	0,93	0,93	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93
Unión en T roscada (F.T.)	2,69	2,49	2,23	2,05	1,92	1,72	1,58
Unión en T bridada (F.L.)	-	-	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
Unión en T bridada (F.T.)	-	-	0,96	0,92	0,88	0,81	0,77
Válvula globo roscada (A)	13,09	10,67	9,23	8,25	7,52	6,50	5,61
Válvula globo bridada (A)	-	-	12,40	11,14	10,20	6,89	7,96
Válvula compuerta roscada (A)	0,34	0,26	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11
Válvula compuerta bridada (A)	-	-	0,74	0,58	0,47	0,34	0,27
Válvula antirretorno roscada	7,11	6,84	6,08	4,56	4,17	3,63	3,25
Válvula antirretorno bridada	-	-	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula angular roscada	9,72	6,23	4,54	3,55	2,91	2,12	1,66
Válvula angular bridada	-	-	3,84	3,43	3,13	2,71	2,42
Válvula de pie con colador	-	-	2,75	2,46	2,25	1,95	1,75
Acoples o Uniones	0,12	0,09	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06

Tabla 16. Coeficientes de resistencia (K) en válvulas y accesorios. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017.

Accesorio	Diámetro nominal (mm)						
	75	100	150	200	250	300	350
	Coeficiente K						
Codo roscado 90°	0,79	0,66	0,55	-	-	-	-
Codo roscado 90° (RL)	0,30	0,23	0,17	-	-	-	-
Codo bridado 90°	0,33	0,31	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23
Codo bridado 90° (RL)	0,24	0,21	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
Codo roscado 45°	0,29	0,28	0,26	-	-	-	-
Codo bridado 45°	0,17	0,16	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10
Codo roscado 180°	0,80	0,69	0,56	-	-	-	-
Codo bridado 180°	0,32	0,30	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22
Unión en T roscada (FL)	0,93	0,93	0,93	-	-	-	-
Unión en T roscada (FT)	1,46	1,33	1,14	-	-	-	-
Unión en T bridada (FL)	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08
Unión en T bridada (FT)	0,73	0,67	0,60	0,56	0,53	0,50	0,48
Válvula globo roscada (A)	5,30	4,59	3,74	-	-	-	-
Válvula globo bridada (A)	7,31	6,37	5,24	4,56	4,10	3,76	3,49
Válvula compuerta roscada (A)	0,10	0,08	0,60	-	-	-	-
Válvula compuerta bridada (A)	0,22	0,16	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04
Válvula antirretorno roscada	2,98	2,59	2,13	-	-	-	-
Válvula antirretorno bridada	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula angular roscada	1,36	0,99	0,83	-	-	-	-
Válvula angular bridada	2,21	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula de pie con colador	1,60	1,39	1,14	0,99	0,88	0,81	0,75
Acoples o Uniones	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01

Tabla 17. Continuación de coeficientes de resistencia (K) en válvulas y accesorios. Fuente: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, 2017.

### 2.6.7 Válvulas

Hablando específicamente de válvulas, estas deben cumplir con lo que se detalla en el anexo 4 de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Agua Potable, según el diseño propuesto. Las válvulas deben ser de vástago no ascendente y de compuerta sólida y preferiblemente de cubo de operación de 25mm de lado. Se aceptan válvulas fabricadas en hierro dúctil, hierro fundido o acero. A continuación se explicarán diferentes tipos de válvulas y sus requerimientos:

**Válvulas de aire:** según el uso se tienen tres tipos de estas válvulas:

- Eliminadora de aire: su función es expulsar automáticamente pequeñas cantidades de aire disuelto presentes en los puntos altos
- Doble propósito: como su nombre lo dice, se encarga de expulsar y admitir aire en tuberías pequeñas, según sea el caso de llenado o vaciado de la conducción, siendo el funcionamiento continuo y automático.
- Triple propósito: están diseñadas para la admisión y descarga de grandes bolsas de aire y burbujas atrapadas dentro de las líneas de tubería con fluidos. Por lo tanto su funcionamiento viene siendo cinético y automático, caracterizándose por las funciones de purgado de grandes bolsas de aire y su control automático para la expulsión de burbujas de aire.

La ubicación de estas válvulas de aire debe considerar las condiciones topográficas, su colocación debe ser en zonas altas tanto para la admisión como eliminación del aire. Estas deben instalarse dentro de una caja de concreto armado. Para las líneas de aducción, conducción e impulsión se colocarán válvulas de aire al inicio y final en:

- Trayectos horizontales
- Trayectos con pendiente continua y prolongada
- Trayectos de baja pendiente

Únicamente en los trayectos con estas características las válvulas de aire se deben separar cada 400 a 800m como máximo. También, en los tanques con macro medidores se deben colocar válvulas de aire aguas arriba para evitar imprecisiones de medición causadas por aire atrapado.

**Válvulas de purga:** también llamadas válvulas de compuerta, se deben ubicar en una tubería de derivación de la línea principal, en otras palabras, en una tubería lateral donde exista la posibilidad de obstrucciones por acumulación de sedimentos para facilitar la limpieza. Para diámetros iguales o menores a 100mm, el diámetro de purga será igual al diámetro de la tubería principal y para diámetros mayores a 100mm, será definido según los criterios de diseño ( Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

**Válvulas de corte:** consisten en una válvula de compuerta, que deben estar protegidas por un cubre válvulas. Su principal función es la de poder aislar tramos de tubería en caso de que pueda sufrir daños. Para el caso de redes de distribución cerradas o abiertas, se deben colocar en todas las tuberías que se unan en una intersección. También, en las obras de captación, se deben colocar este tipo de válvulas en la tubería de salida como en la limpieza. En el tanque de almacenamiento se deben colocar válvulas de compuerta en la tubería de ingreso y salida como en la limpieza (Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

**Válvulas especiales:** se clasifican de acuerdo a su función en:

- Válvulas reductoras de presión: su función es la de reducir y mantener la presión en la red aguas abajo del punto de instalación de esta válvula, con el fin de mantener el sistema bajo presión de operación adecuada.
- Válvulas sostenedoras de presión: se utiliza para impedir la caída de presión en sectores del sistema por debajo de un valor que permita un adecuado nivel de servicio.
- Válvulas de control de caudal: se utiliza para fijar un caudal máximo de operación aguas debajo de su punto de instalación.
- Válvulas de control de nivel: se utiliza para mantener el nivel de agua dentro de un depósito o tanque de almacenamiento, con el fin de evitar el rebose de agua, por tal motivo se requiere fijar los niveles de apertura y cierre.
- Válvulas de alivio: la selección y dimensionamiento de la válvula debe cumplir con las condiciones del caudal de agua una vez que se alcance un valor determinado de presión, con el fin de proteger las tuberías del efecto de

las sobrepresiones por transitorios hidráulicos provocados por cierres rápidos de válvulas.

### 2.6.8 Golpe de ariete

Se entiende como golpe de ariete las sobrepresiones que se puedan producir cuando se cierra rápidamente una válvula en conducciones a presión por gravedad. Cerrar la válvula conduce a un incremento en la energía cinética que pasa a convertirse en una onda que viaja de un lado a otro de la tubería a velocidad del sonido. El golpe de ariete dependerá de factores como la velocidad del agua, la longitud de la instalación, así como el material de la tubería.

Para definir el golpe de ariete se debe conocer ciertas características, la primera sería la frecuencia de propagación de la onda de sobrepresión, que si podemos notar la frecuencia es igual al inverso del periodo permitiendo conocer la variable de tiempo crítico que se define a través de la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{2 \cdot L}{a} \quad \text{Ecuación 29}$$

Siendo:

- $T_c$  : Tiempo crítico
- $L$  : longitud total en metros de la línea
- $a$  : celeridad de la conducción (m/s)

Como se ve en la ecuación anterior, es necesario encontrar la celeridad, que no es mas que la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua en el conducto. La misma se puede obtener por medio de la expresión propuesta por Allievi:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D_i}{e}}} \quad \text{Ecuación 30}$$

En donde:

- $K$  : es el coeficiente de elasticidad del material de la tubería. El mismo se obtiene a través de la siguiente fórmula, que utiliza el módulo de elasticidad del material de la conducción ( $\epsilon$ ). Que para el caso de tubería PVC es alrededor de  $3 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$ .

$$K = \frac{10^{10}}{\epsilon} \quad \text{Ecuación 31}$$

- $D_i$ : Diámetro interno (mm)
- $e$ : espesor de pared (mm)

La segunda característica necesaria, sería el tiempo de parada del agua. El cual consiste en el intervalo entre el inicio y final de la actividad en la válvula. Por lo que se puede determinar el mismo con ayuda de la fórmula realizada por Enrique Mendiluce la siguiente ecuación:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m} \text{ Ecuación 32}$$

Siendo L la longitud de la conducción en metros, la gravedad, la velocidad en m/s, la altura manométrica en metros de columna de agua. Los coeficientes de K que representa la inercia en función de la cinética del agua al instante del corte sobre la tubería y C que suple el efecto de otras energías en el cálculo, estos dos coeficientes responden a las siguientes gráficas propuestas por Mendiluce:

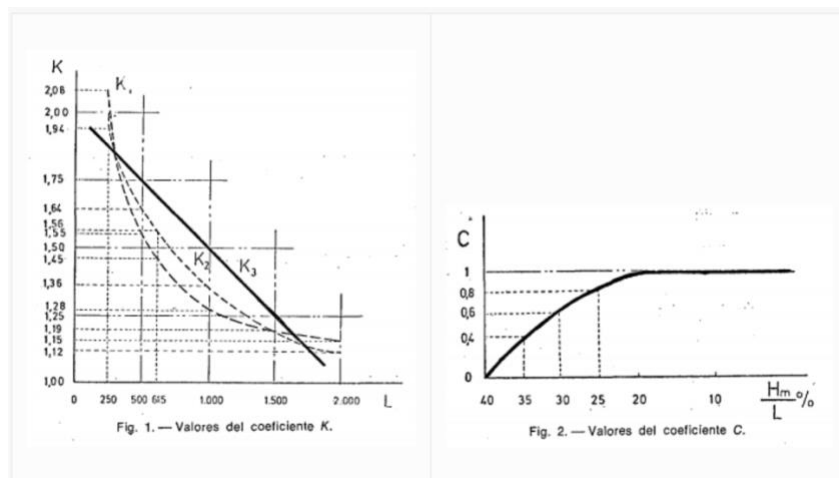


Ilustración 3. Gráfica para determinar coeficientes de K y C. Fuente: Golpe de ariete, 1987.

Finalmente, para obtener el golpe de ariete es necesario saber la longitud crítica de la instalación, con ayuda de la relación entre la celeridad y el tiempo de parada obtengo la siguiente ecuación para obtener esta característica:

$$L_c = \frac{aT}{2} \text{ Ecuación 33}$$

Por lo que al obtener los parámetros anteriores se escoge según la comparación de estas características la ecuación de golpe de ariete que se ajusta a las condiciones del sistema. Existen dos posibles formulas a utilizar, la de Michaud y la de Allievi.

- Ecuación de Michaud: es en las instalaciones donde el tiempo de parada es mayor al periodo de frecuencia de propagación de la onda lo que significa que tiene un cierre lento, o donde la longitud crítica es mayor a la longitud total de la línea que significa que es una instalación corta y la presión máxima solo se da en el válvula que haya generado el golpe.

$$\text{Si } L < L_c = \text{instalación corta} \rightarrow T > \frac{2 \cdot L}{a} (\text{cierre lento}) \rightarrow \text{Michaud} = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$$

*Ecuación 34*

- Ecuación de Allievi: se utiliza cuando el tiempo de parada es menor al periodo de frecuencia de propagación lo que genera que se considere como un cierre rápido. Además de que también cumple que la longitud crítica es menor a la longitud de la tubería por lo que se considera como una instalación larga.

$$\text{Si } L > L_c = \text{instalación larga} \rightarrow T < \frac{2 \cdot L}{a} (\text{cierre rápido}) \rightarrow \text{Allievi} = \frac{a \cdot v}{g}$$

*Ecuación 35*

## 2.7 Mantenimiento del sistema de abastecimiento

Primeramente, el mantenimiento es el conjunto de acciones internas que se ejecutan en forma permanente y sistemática en las instalaciones para mantenerlos en adecuado funcionamiento. Existen varios tipos de mantenimiento: preventivo, predictivo y correctivo.

### 2.7.1 Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento se encarga de monitorear el funcionamiento del sistema en estudio, en este caso al ser un sistema de abastecimiento se puede ver como mantenimiento

predictivo el análisis fisicoquímico que se le tiene que hacer al agua cada cierto tiempo según la normativa para garantizar la calidad del agua que consume la población.

### 2.7.2 Mantenimiento preventivo

Consiste en una serie de acciones de conservación que se realizan con determinada frecuencia en las instalaciones para evitar, en lo mayor posible, que se produzcan daños que se pueden ser de difícil y costosa reparación ocasionando interrupciones en el servicio. En el Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, publicado en la gaceta N°.154, se explica por diferentes grupos las partes de los sistemas de abastecimiento y sus correspondientes actividades a realizar para los mantenimientos preventivos de cada uno.

Primeramente, se establece en el artículo 44 el grupo 02, el cual sería Captación de manantiales y se establece las siguientes actividades a realizar para la misma:

Mant. Preventivo de Captación de manantiales		
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar
CM-1	1 mes	Aforo de captaciones
CM-2	2 meses	Remoción de sedimentos y desinfección de estructuras
CM-3	2 meses	Revisión de válvulas y obras accesorias
CM-4	3 meses	Limpieza de las captaciones
CM-5	3 meses	Limpieza de instalaciones e inspección de obras complementarias
CM-6	6 meses	Inspección de captación y área adyacente
CM-7	12 meses	Reacondicionamiento general de la obra
CM-8	60 meses	Reconstrucción de la estructura

Tabla 18. Mantenimiento preventivo en la captación de los manantiales. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001.

De esta tabla anterior, se puede profundizar en el Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, pero de cada una se destaca, lo más importante. En el aforo de las captaciones se determina el caudal que se produce, así como la cantidad aprovechada, dependiendo de las condiciones y facilidades, el aforo puede ser ejecutado en la misma caja de captación o bien utilizar un tanque de almacenamiento.

Por otra parte, en la remoción de sedimentos cerrando la válvula de salida de la captación y abrir la válvula de limpieza, hasta que el material depositado en el interior sea totalmente eliminado. Si el material sedimentado no se elimina por completo es necesario ingresar y remover el remanente al igual que se aprovecha para lavar las paredes interiores con una solución de hipoclorito de sodio. En la revisión de válvulas y obras accesorias de detectarse anomalías en el funcionamiento deberá revisarse el sistema de prensa-estopas, engrases, lubricación y la no existencia de sedimentos en el asiento. La CM-4 es complementaria al CM-2.

Continuando con el siguiente elemento del sistema, el artículo 53 establece como el grupo 05, las obras de conducción, las cuales incluyen todas las tuberías utilizado para la conducción de aguas crudas o tratadas hasta el tanque de almacenamiento o al inicio de la red de distribución. El mantenimiento para este tipo de obras es el siguiente:

Mantenimiento Preventivo de Obras de Conducción		
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar
OC-1	3 meses	Limpieza de la servidumbre de paso de las líneas de conducción
OC-2	3 meses	Mantenimiento de válvulas y limpieza de línea de conducción y tanques quiebra gradientes
OC-3	3 meses	Limpieza de instalaciones e inspección de obras complementarias
OC-4	12 meses	Inspección y mantenimiento general
OC-5	60 meses	Reposición de válvulas, y tuberías dañadas

Tabla 19. Mantenimiento preventivo en las obras de conducción. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001.

Cabe destacar, que el proceso de limpieza de la servidumbre de paso de las líneas de conducción consiste básicamente en la eliminación de la maleza, en una franja de un metro y medio de ancho a cada lado de la línea de conducción. También, en el OC-2 la disminución del caudal en las líneas se presenta por las obstrucciones producidas por la presencia de aire o sedimentos, por lo que se deberá verificarse la adecuada operación de las válvulas de admisión o expulsión de aire. Para concluir, en el OC-4 se deben detectar fallas potenciales comprendiendo los aspectos como sobre presiones en la tubería, fallas de anclaje, etc.

Por otra parte, en el artículo 55 se trata sobre procesos de tratamiento los cuales se deben llevar a cabo para realizar la potabilización del agua con el fin de eliminar todas las impurezas. Para efectos de este trabajo de investigación, el tratamiento del agua puede ser de algún dosificador o algún equipo de desinfección dependiendo de cual se ajusta más a las necesidades del sistema.

El artículo 71, establece el grupo 10-DO, para dosificadores por solución. Su función es la de adicionar al agua productos químicos, en cantidades establecidas bajo regulación y control de los mecanismos de dosificación de dichos equipos. Los dosificadores en seco agregan el producto en polvo o en forma granular al agua. Para los dosificadores en solución, la determinación y regulación de la dosis a aplicar se efectúa con el coagulante en solución, este se puede realizar por gravedad o con la utilización de una bomba dosificadora. Los procedimientos de dosificación por solución son:

Mantenimiento Preventivo de dosificadores por solución		
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar
DO-1	8 horas	Limpieza de tanques de solución y conductos
DO-2	1mes	Inspección general
DO-3	12 meses	Mantenimiento del dosificador

Tabla 20. Mantenimiento Preventivo de dosificadores por solución. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001.

Cabe destacar, que en la inspección general consiste en revisar la calibración del dispositivo para medición de descarga, sustitución de mangueras o válvulas deterioradas y

en el mantenimiento del dosificador, el cual si utiliza bomba se necesita realizar una inspección de la misma y incluye la limpieza y aplicación de pintura a todas las partes metálicas expuestas a la corrosión.

El artículo 73 establece el grupo 10, DS para dosificadores en seco y los procedimientos de mantenimiento para el mismo serían:

Mantenimiento Preventivo de dosificadores en seco		
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar
DS-1	8 horas	Lubricación de mecanismos.
DS-2	1mes	Revisión, ajuste y limpieza de mecanismos
DS-3	12 meses	Inspección y readecuación.

Tabla 21. Mantenimiento Preventivo de dosificadores en seco. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001.

En el caso de la lubricación de mecanismos, se hará en los elementos móviles de balanzas, apoyos de tornillo giratorio, mecanismos de disco giratorio o banda transportadora. Para la lubricación se aplicará grasa o aceite en roles, mecanismos de reducción y transmisión. Por su parte, el DS-2 se calibrará el mecanismo dosificador, el accionamiento de la válvula reguladora, el funcionamiento del motor que acciona el mecanismo dosificador y el de agitación.

Consecuentemente, en el caso de los sistemas de desinfección consiste en la eliminación de organismos, siendo la aplicación del cloro el método más utilizado en aguas para consumo humano, debido a su efectividad, bajo costo, fácil aplicación, efecto residual, entre otros. Los mantenimientos de estos sistemas aparte de las recomendaciones del reglamento debe complementarse con las indicaciones que establezca el fabricante. El artículo 76 establece el grupo 09 tipo a, los cuales son para productores de hipoclorito de sodio en sitio, y sus procedimientos son:

Mantenimiento Preventivo de sistemas de desinfección con hipoclorito de sodio		
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar

CL-1	variable	Dosificación
CL-2	diario	Inspección y limpieza del equipo
CL-3	1mes	Limpieza de rotámetro.
CL-4	6 meses	Limpieza del tanque de salmuera y tuberías.

Tabla 22. Mantenimiento Preventivo de sistemas de desinfección con hipoclorito de sodio. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001.

En el caso de la dosificación normalmente este tipo de equipos requiere de dos recipientes para la elaboración del cloro. Cada vez que el equipo se apaga automáticamente, después de que se ha producido el cloro, se procede a dosificar. Se debe sacar el cañón del recipiente con cloro y se lava con agua a presión, por las ranuras del cañón. Se introduce el cañón en el recipiente con vinagre blanco o ácido acético a un 51%, durante 30 minutos solamente. Cuando se vuelve a utilizar se saca el cañón del vinagre, se lava con agua a presión y se introduce el cañón en el recipiente con la salmuera (sal-agua preparada). En la inspección se limpia el filtro de entrada al ablandador de aguas, manteniendo una presión de entrada de 50 PSI, la limpieza del rotámetro se puede realizar con ácido clorhídrico al 10%.

Posteriormente, en el artículo 83 se establece el grupo 1 para tanques de almacenamiento y distribución. Su mantenimiento preventivo se divide en las siguientes actividades:

Mantenimiento Preventivo de tanques de almacenamiento		
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar
TA-1	3 meses	Limpieza de instalaciones e inspección de obras complementarias
TA-2	6 meses	Limpieza de sedimentos sin ingresar al interior
TA-3	12 meses	Limpieza, desinfección y revisión de válvulas.
TA-4	24 meses	Reacondicionamiento general

TA-5	60 meses	Reconstrucción de la estructura.
------	----------	----------------------------------

Tabla 23. Mantenimiento Preventivo de tanques de almacenamiento. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001.

Cabe destacar, que la limpieza, desinfección y revisión de válvulas requiere el ingreso de personal, con equipo de protección, al interior de la estructura para eliminar depósitos e incrustaciones en paredes y fondo del tanque para después se realizara una desinfección empleando compuestos de cloro cuyas concentraciones deben tomar en cuenta el tiempo posible de contacto ya que:

- Las concentraciones de 2g de cloro por m<sup>3</sup>de agua con una permanencia mínima de 10 horas
- Las concentraciones de 20g de cloro por m<sup>3</sup> de agua con una permanencia no mayor a 2 horas.

Para finalizar, el artículo 86 establece el grupo 13 el cual es para las redes de distribución. Los procedimientos para estas redes son:

Mantenimiento Preventivo de redes de distribución		
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar
RD-1	2 meses	Inspección del medidor y caja de protección
RD-2	3 meses	Inspección general de válvulas especiales
RD-3	12 meses	Limpieza externa de medidores y cajas de protección
RD-4	12 meses	Inspección general.
RD-5	60 meses	Sustitución del medidor.
RD-6	variable	Sustitución de tubería
RD-7	variable	Actualización de planos.

--	--	--

Tabla 24. Mantenimiento Preventivo de redes de distribución. Fuente: Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, 2001.

Cada mantenimiento o trabajo a realizar, se encuentra detallado en la norma que se explico al inicio, pero es importante mencionar que la sustitución del medidor se debe hacer cuando haya cumplido una lectura acumulada de 3500 m<sup>3</sup> o en su defecto a los cinco años. También, en la sustitución de las tuberías se deben priorizar las tuberías de hierro galvanizado y absbesto cemento, al igual que la actualización de planos es variable ya que se deben realizar un esquema indicando ubicación y la modificación efectuada mostrando accesorios, diámetros y materiales para ser incluidos en los planos.

### **2.7.3 Mantenimiento correctivo**

Consiste en las reparaciones que se ejecutan parra corregir cualquier daño que se produzca en el sistema de agua potable; lo cual se da por el deterioro normal de los diferentes elementos que tiene el sistema, incidiendo en la necesidad de efectuar reparaciones mayores o la reposición de algunas piezas o equipo determinado.

## **2.8 Trámites necesarios para el cumplimiento legal**

Para comenzar, en La Gaceta N°175 se decreta el Reglamento para la Perforación de Pozos y Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, el cual tiene como objetivo regular a nivel nacional la perforación del subsuelo con fines de investigación, exploración y/o aprovechamiento del agua subterránea. Se explica que la Dirección de Agua funcionará como ventanilla única, quien dará admisibilidad a la solicitud y resolverá el permiso en apego a la ciencia; brindando audiencia e integrando criterios del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarrillados, Servicio Nacional de Aguas Subterránea, Riego y Avenamiento (SENARA).

Roles de las instituciones:

- El AyA debe manifestarse con relación a si afecta fuentes destinadas para sus fines.

- La Dirección de Agua recomendará al jerarca del MINAE sobre el aprovechamiento del agua en concesión y sus condiciones.

Menciona los requisitos que necesitamos para optar por la concesión de aprovechamiento del agua, de los cuales el solicitante deberá cumplir con la viabilidad ambiental de la concesión conforme al artículo 17 de la Ley Orgánica del Ambiente N°7554, el cual explica que la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) le corresponde armonizar los procesos productivos con el ambiente mediante la aplicación de los diferentes instrumentos de evaluación de impacto ambiental, los cuales deben ser valorados por las Comisión Plenaria para su aprobación o rechazo, con lo anterior se entiende que el SETENA es la institución encargada de realizar los estudios de viabilidad ambiental. Además en el caso de que el agua sea para consumo humano poblacional o de autoabastecimiento en condominio, debe presentarse el análisis microbiológicos y físico-químicos de calidad de agua en concordancia con los parámetros establecidos en el Reglamentos para la Calidad del Agua Potable con los parámetros en nivel de control de calidad N1, N2 Y N3.

### **2.8.1 Dirección de Agua**

El primer paso para el cumplimiento legal del acueducto es conseguir el formulario de perforación de pozos y/o concesión para aprovechamiento de aguas. Hay que tener en cuenta que al presentar el formulario se deben tener los siguientes requisitos para que la solicitud sea recibida:

- Certificación literal de propiedad (regstral o notarial) del terreno en que se aprovechará el agua, con menos de tres meses de expedida. Excepciones son las Sociedades de Usuarios de Agua, Municipalidades y la ESPH, cuando la soliciten para abastecimiento poblacional.
- Si el solicitante es una persona jurídica deberá presentar el certificado de personería jurídica.
- Plano catastrado legible, en que se marque la toma.(Ley de Aguas, artículo 78 inciso h, Decreto 35884-MINAE)
- Viabilidad ambiental de SETENA. Si solicita Concesión, podrá presentar la constancia de que la tiene en trámite, pero deberá presentarse antes de dictarse la resolución final.

- Se deberá estar al día con las obligaciones fiscales ante el Ministerio de Hacienda.

Posteriormente, el procedimiento que seguirá su solicitud de concesión pasará por distintas fases para la resolución de la solicitud, las cuales son:

#### **Fase de admisibilidad**

Al presentarse la documentación se entregará la boleta de recibido de solicitudes y permisos, en el caso de tener que subsanar aspectos, se notificará con la boleta de solicitud no admitida. Al estar completa la solicitud, se le asignará un número de expediente y se notifica la boleta de solicitud admitida con edicto y deberá publicar el edicto en el diario oficial La Gaceta efectuándose presencialmente en la Imprenta Nacional o en línea. Posteriormente se da una audiencia a diversas instituciones relacionadas con la petición. Por último, se otorga 30 días, a partir de la publicación del edicto, para recibir oposiciones, las que se atenderán según el debido proceso y se resolverán en la resolución final.

#### **Fase técnica**

Según sea el caso, un funcionario técnico efectúa una inspección de campo que en la mayoría de los casos se realiza durante la época seca. El mismo elabora un informe técnico con las recomendaciones necesarias.

#### **Fase legal**

Primeramente, la asesoría legal redacta la resolución final del caso. Luego, el jerarca revisa la resolución y firma seguidamente de que se notifica la resolución al interesado.

### **2.8.2 Conformación legal de una ASADA**

Inicialmente, se debe mencionar que esta la necesidad legal de la creación de una Asociación Administradora del Acueducto Comunal (ASADA) para la realización de todos los trámites requeridos por la ley. Esta debe surgir entre varios vecinos que ponen en común y de manera permanente conocimientos o actividades para colaborar con todo lo respectivo del acueducto, lo que va a llegar a convertirse en una organización privada prestataria de un servicio público delegado por parte del AyA.

Cabe destacar que para la conformación legal de ASADAS nos apoyamos en lo estipulado en el Reglamento a la Ley de Asociaciones y del Reglamento de Asociaciones

Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales. Del Reglamento a la Ley de Asociaciones se puede tomar lo explicado en el artículo 1 el cual menciona que corresponde al Ministro de Justicia por medio del Departamento de Asociaciones del Registro de Personas Jurídicas del Registro Nacional autorizar el funcionamiento y la correspondiente inscripción de las asociaciones que se constituyan. Al igual que en el artículo 13, además de la necesidad de establecer los miembros del órgano directivo de la asociación, se establecen los requisitos necesarios para la inscripción. Siendo estos: domicilio exacto de la asociación, la forma de elegir e integrar el órgano directivo con un período definido de nombramiento, el procedimiento de desafiliación, etc. Al igual que indica los requerimientos contables en el capítulo 5 del mismo indicando la legalización de libros contables.

Enfocándose en el Reglamento de Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales, menciona que el AyA funcionará como rector técnico en la prestación de servicios públicos del acueducto encargándose de la evaluación, control, fiscalización y gestión realizada por parte de la ASADA. Además de que el mismo habla más a fondo de la constitución y requisitos de la ASADA en los artículos 10 y 11. En el menciona que se va a realizar conforme a La Ley de Asociaciones y su reglamento además de que debe contar con el proyecto de estatutos por parte del AyA facilitado por medio del sitio web en el cual se realiza un estudio técnico por parte del ente recto que considera aspectos territoriales, de necesidad, oferta hídrica, capacidad, técnicos que determinen la factibilidad del otorgamiento. Después la ASADA contará con un plazo de tres meses a partir de la inscripción en el Registro Nacional para la solicitud de firma de convenio de delegación para la prestación de servicios de acueductos y saneamientos. Luego, se cuenta con un plazo de quince días hábiles a partir de recibida la documentación completa, para que la Dirección Jurídica emita el visto bueno de los estatutos.

Un poco fuera de la parte legal, es importante mencionar que en la sección segunda y tercera explican a detalle las distintas directivas y departamentos que debe conformar una ASADA, así como menciona las obligaciones de todos los departamentos que lleva una asociación de este tipo.

Siguiendo con el Reglamento de Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales, es importante mencionar que en el artículo 33 se hace mención a que la junta directiva de la ASADA, para autorizar la inscripción de la

ASADA, tomará el acuerdo que autoriza a su presidente para que solicite, trámite y firme ante el AyA el convenio de delegación necesario con la solicitud del trámite, el acuerdo de la junta directiva protocolizado, certificación jurídica con no más de un mes de emitida y la fotocopia certificada del acta constitutiva de la asociación.

Finalmente, es importante destacar el artículo 58, en el cual menciona que las ASADAS que requieran solicitar algún tipo de préstamo en cualquier tipo de banco público o privado, podrán hacerlo pero deberán someterse a la autorización de la junta directiva del AyA.

### **Capítulo III: Marco metodológico**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

Para comenzar, en este trabajo de investigación se va a desarrollar un enfoque de tipo mixto, por medio de la evaluación del sistema de abastecimiento actual teniendo en cuenta las características físico-químicas que posee el agua, además de compararlo con el cálculo de diseño del abastecimiento a realizar, siguiendo todas las normas y códigos aplicables a la hora de hacer de hacer el cálculo de caudales y los dimensionamientos de las diferentes etapas del sistemas; como la cotización de los costos de inversión.

También, se examina el mejor sistema de desinfección aplicable según las características del agua cruda y se desea determinar un plan de mantenimiento periódicamente que se ajuste a la situación económica de la población. Además de que se busca saber la documentación necesaria para el cumplimiento legal del sistema de abastecimiento.

#### **3.2 Diseño de investigación**

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), este diseño de investigación se refiere al plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información necesaria en la investigación y poder responder al planteamiento generado. Inicialmente se decide escoger un diseño transformativo concurrente ya que se recolectan los datos al mismo momento y

esta recolección y análisis son guiados por teoría, ideología o perspectiva. En este caso, para poder responder nuestros planteamientos se debe iniciar realizando la evaluación del sistema actual a través de las metodologías SERSA y el análisis físicoquímico para comprobar la calidad del agua.

Consecuentemente, se debe realizar la estimación de la población de diseño para calcular el caudal de diseño que utilizará el sistema teniendo en cuenta las unidades habitacionales y la porqueriza que alimenta el mismo. Al tener estos datos se procede a realizar los dimensionamientos de la captación, la conducción así como el volumen del tanque necesario para el sistema de abastecimiento. También, se debe dimensionar el diámetro de la red de distribución y determinar los accesorios necesarios para mantener el sistema bajo parámetros de funcionamiento adecuados.

Para finalizar, ya con el caudal a manejar y el análisis de la calidad del agua se determina el sistema de desinfección a utilizar con los distintos parámetros y fórmulas necesarias para la potabilización del agua de una manera eficiente. Provocando, tener que implementar un plan de mantenimiento necesario acorde al sistema implementado. Además, de obtener la información necesaria para que el sistema cumpla todos los requisitos impuestos por la ley. Al igual que al tener todo el diseño se debe cotizar las distintas obras o mejoras a realizar y ver que la relación costo contra el beneficio que se generará.

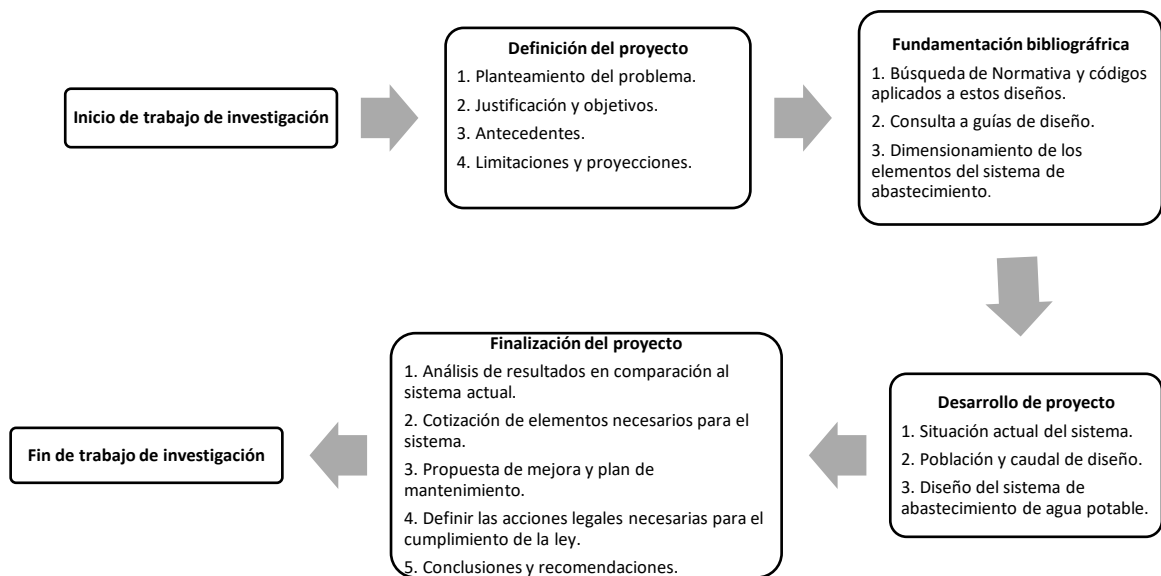


Ilustración 4. Diagrama de flujo de trabajo de investigación. Fuente: Propia

### 3.3 Fuentes de información

En general, las fuentes de información se refieren a la literatura o normas a las que se debieron recurrir, que serán parte fundamental para el desarrollo de nuestro sistema de abastecimiento, acatando todos los parámetros necesarios dictados por la ley. La literatura utilizada para la realización de este proyecto es:

- Norma técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial ( Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).
- Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2017).
- Libro de tratamiento y control de calidad de aguas (Marín, 2018).
- Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales (Organización Panamericana de la Salud, 2004).
- Decreto N° 2001-248, sobre Normas de diseño de agua potable y no autorización para el uso de tubería de PVC-SDR-41 (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001).
- Libro sobre Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados (López, 1995).
- Guía para la selección de sistema de desinfección (Organización Panamericana de la Salud, 2007).
- Decreto N° 42332-S Modificación Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Poder Ejecutivo, 2020).
- Guía de Inspección para la Calidad del Agua Potable conforme al Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud (SERSA), de acuerdo al decreto N° 38924-S (Poder Ejecutivo, 2015).
- Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2001).

### 3.4 Muestreo Concurrente

Para comenzar, el objetivo del muestreo es delimitar la población para generalizar resultados así como definir la unidad de muestreo. Se selecciona el muestreo concurrente ya que según Hernández (2014), implica utilizar muestras paralelas implicando muestras probabilísticas y una guiada por un propósito, definiéndose como la elección en la parte cualitativa, la cual sería las características del agua, debido a que según el diseño elegido cumplirá un propósito para el estudio. El mismo sería determinar el sistema de desinfección a utilizar.

### 3.5 Variables o unidades de diseño

#### 3.5.1 Tabla de unidades cuantitativas

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.	Altura de los distintos puntos de consumo y de la captación.	Metros sobre el nivel del mar	Es la unidad de medida estándar de altitud para describir elevaciones de un lugar con respecto del nivel medio del mar en ese lugar.	Se obtienen las latitudes y longitudes de los puntos de interés para obtener sus respectivas alturas por medio de una aplicación y tabular sus valores.	Con la ayuda de la aplicación Compass versión IOS 15 de apple obtengo la ubicación exacta de los puntos y utilizando el software Google Earth Pro versión 7.3 obtengo la altura de cada punto y distancia entre ellos.
Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.	Volumen del recipiente de medición para el caudal entregado por la fuente.	Litros	El volumen es una proporción métrica de tipo escalar que se define como el tamaño en tres dimensiones de una zona en el espacio.	Se calcula el volumen probable del recipiente utilizado, midiendo sus dimensiones para utilizar la fórmula adecuada según la figura y se comprueba con una probeta regulada para	Se mide el recipiente utilizado por medio de las fórmulas explicadas y por medio de la probeta 86-D1024 de 500mL.

				precisar más el cálculo en litros.	
Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.	Tiempo de llenado del recipiente para el caudal entregado por la fuente.	Segundos.	El tiempo es una magnitud física con la que se mide la duración de acontecimientos.	Se procede a cronometrar el tiempo que tarda el agua en llenar el recipiente conocido. Esto se realiza varias veces para obtener un resultado más preciso.	Con ayuda de la aplicación Clock versión 3.0.4 se realiza la medición de la duración del acontecimiento varias veces y se tabulan sus valores en el programa de Excel versión 16.54.
Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.	Caudal entregado por la fuente.	Litros entre segundos. (L/s)	Unidad utilizada para medir un determinado volumen de agua que pasa por una superficie en un tiempo determinado	Al tener mis valores de tiempo tabulados en Excel, se obtiene un promedio y con el volumen del recipiente pasado a litros. Obtengo el caudal por medio de la división entre el volumen y tiempo.	Por medio de la tabulación de los valores del tiempo en el programa de Excel versión 16.54 y el valor del volumen del recipiente, se utiliza la fórmula de caudal que sería el volumen entre el tiempo.
Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.	Dimensiones de los elementos presentes en el sistema.	Metros	Es la longitud total de la trayectoria entre dos puntos	Se procede a realizar la medición de el alto y ancho de la captación existente. Además de la medición del diámetro de tubería utilizado.	Por medio de una cinta métrica marca Knight de 8 metros se realiza la medición de la obra de captación y la determinación del diámetro de la tubería de distribución.
Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.	Temperatura	Celcius (C°)	Magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea objeto o un cuerpo.	Se realiza la medición de la temperatura del agua cada 3 horas por medio de un termómetro infrarrojo y se calcula la temperatura promedio.	Por medio de un termómetro infrarrojo marca microlife modelo NC-150 se realizan las mediciones y se tabulan los valores en Excel versión 16.54.

<p>Realizar el respectivo diseño hidráulico del sistema siguiendo los parámetros establecidos por la normativa vigente para garantizar el funcionamiento eficiente al considerar las deficiencias y los problemas presentes en el sistema actual</p>	<p>Número de personas beneficiadas con el sistema de abastecimiento.</p>	<p>Número de personas</p>	<p>Se refiere a la cantidad de personas que habitan en un lugar determinado en un momento dado.</p>	<p>Se define el número de personas o casas que abastece el sistema para luego sacar la proyección de la población utilizando la reglamentación correspondiente.</p>	<p>Se toman de las tablas del CIHSE versión 2017 las tasas de crecimiento dependiendo del tipo de población que en este caso es de tipo rural. Y se tabulan los valores en Excel versión 16.54.</p>
<p>Realizar el respectivo diseño hidráulico del sistema siguiendo los parámetros establecidos por el AYA para garantizar el funcionamiento eficiente considerando las deficiencias y los problemas presentes en el sistema actual.</p>	<p>Consumo de agua de la población.</p>	<p>Litros entre tiempo (L/s)</p>	<p>Se refiere al volumen de agua que pasa por una superficie en un determinado tiempo, el cual es el necesario para satisfacer las necesidades del sistema.</p>	<p>A partir de las dotaciones mínimas asignadas por el CIHSE se realiza el cálculo de los consumos netos y brutos para establecer posteriormente los consumos máximos posibles.</p>	<p>Se utilizan las tablas de dotaciones mínimas brindadas por el código y se calculan los diferentes consumos por medio de las ecuaciones de la 15 a la 19. Tabulando sus valores en Excel versión 16.54.</p>
<p>Realizar el respectivo diseño hidráulico del sistema siguiendo los parámetros establecidos por el AYA para garantizar el funcionamiento eficiente considerando las deficiencias y los problemas presentes en el sistema actual</p>	<p>Dimensionamiento de elementos del sistema.</p>	<p>Distancia, puede ser en pulgadas, metros para las tuberías y obra de captación y <math>m^3</math> para el tanque de almacenamiento.</p>	<p>Se refiere al dimensionamiento de la línea recta entre dos puntos que unen una circunferencia, además de la distancia de largo y ancho necesarias en la obra de captación. Al igual que el espacio que ocupara el tanque de almacenamiento.</p>	<p>Se utilizan las fórmulas detalladas en cada elemento para determinar la altura de las paredes de la captación, además tabular todos los cálculos necesarios en hojas de Excel para llegar a los diámetros necesarios y el volumen del tanque.</p>	<p>Se utilizan las fórmulas brindadas por el CIHSE versión 2017 y la Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de Agua Potable versión 2017, además de las propiedades del agua y las fórmulas explicadas anteriormente para la realización de la tabulación en Excel versión 16.54.</p>

Determinar el costo del sistema propuesto mediante la cotización de los elementos faltantes para proyectar el costo de una eventual implementación.	Costo total de la obra requerida y el costo por familia o punto de consumo.	Colones	Contabilizar y cotizar el total de elementos necesarios utilizados en el diseño hidráulicos, obteniendo el costo total de la obra y analizar la viabilidad entre las familias.	Al finalizar el diseño hidráulico se realiza la contabilización de los elementos necesarios y se tabulan los mismos en excel para obtener costo total y por punto de consumo.	Por medio de la cotización de válvulas, tuberías, construcción de estructura, sistema de desinfección o otros accesorios necesario. Tabulando sus valores en Excel versión 16.54.
Proponer un plan de mantenimiento periódicamente al diseño implementando.	Frecuencia en la realización de estos mantenimientos. Además el número de actividades a realizar.	Tiempo de realización de actividades y el número de actividades a realizar.	Se refiere a establecer una revisión sistemática y bajo ciertos criterios necesarios a los elementos para evitar averías ocasionadas por uso o paso del tiempo.	Realizar una lista de las actividades necesarias para el mantenimiento del sistema en general apegados al reglamento correspondiente, así como el de desinfección para el cambio de producto y la complejidad del mismo.	Hacer un control siguiendo los parámetros estipulados para sistemas de abastecimiento en el Reglamentos de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua versión 2001.

### 3.5.2 Tabla de unidades cualitativas

Objetivo	Categoría de Análisis	Subcategoría	Definición Conceptual	Instrumento	Ítem
Analizar el estado del sistema actual y determinar las deficiencias que presenta	Características del agua en la fuente de abastecimiento	Se medirán las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua.	Se miden los parámetros fisicoquímicos del agua para verificar que cumplen con los fijados por la reglamentación pertinente.	Se analiza la calidad del agua con pruebas de laboratorio se analiza en las tablas del reglamento los parámetros obligatorios y límites permisibles.	Se miden las variables de, color aparente, olor-sabor.

<p>Analizar el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema.</p>	<p>Estado actual de los distintos elementos comparados con los estándares fijados por la ley.</p>	<p>Se verifica si cada elemento del sistema posee sus respectivos accesorios mínimos estipulados por los reglamentos que lo rigen.</p>	<p>Se revisa el estado de los elementos y por medio de una escala de respuesta si o no, se contabilizar los si para generar una nota de riesgo del sistema.</p>	<p>Se realizar el análisis de los elementos del sistema por medio de la metodología SERSA administrada por el Ministerio de Salud de Costa Rica verificando los elementos estructuralmente y su estado actual.</p>	<p>Se analizan, características como fugas visibles, si carece de malla de protección la captación, etc. Mediante las tablas SERSA como principal instrumento.</p>
<p>Determinar un sistema de potabilización o desinfección del agua, que se ajuste a las necesidades del sistema por medio del estudio de los diferentes procesos de potabilización, para garantizar la potabilidad de la misma a todos los consumidores.</p>	<p>Tipo de equipo a utilizar y tipo de producto de cloro.</p>	<p>Se debe tomar en cuenta la ubicación de la fuente, población de diseño y calidad del agua.</p>	<p>A partir de la cantidad de personas beneficiadas, la accesibilidad que tenga la fuente y la calidad del agua que presente se debe tomar una decisión acerca de cuál equipo se ajusta más a las necesidades y cual tipo de cloro.</p>	<p>Se utilizan las tablas donde aparecen las recomendaciones para los diversos tipos de sistemas según la cantidad de personas beneficiadas. Además de tablas para la escogencia del producto de cloro que sea el indicado para la población de destino.</p>	<p>La escogencia se apoya en la Guía de Selección de Sistemas de Desinfección versión 2007, además del examen de calidad del agua nivel 1 realizado y de la cantidad de personas que consumen de acueducto.</p>
<p>Definir las acciones para el cumplimiento legal del sistema propuesto a través de una revisión de la legislación nacional vigente para evitar sanciones.</p>	<p>Leyes vigentes en Costa Rica correspondientes al sistema de abastecimiento utilizado.</p>	<p>Diferentes instituciones involucradas en el cumplimiento legal del acueducto. En este caso la Dirección del Agua y el SETENA.</p>	<p>Se investiga las diferentes instituciones que les corresponde velar por el cumplimiento de estos sistemas y identificar los documentos que son necesarios de presentar en cada una de ellas.</p>	<p>Se investiga en los decretos pertinentes a los sistemas de agua potable para analizar que instituciones son las encargadas de tramitar ese tipo de permisos y saber que documentos se deben presentar en cada una de ellas.</p>	<p>Es necesario los documentos como el análisis de viabilidad ambiental, plano catastrado, certificación de propiedad, etc.</p>

### 3.6 Instrumentos

Primeramente, el primer instrumento a utilizar sería una encuesta a la población beneficiada de la red de abastecimiento para identificar su posición acerca del servicio brindado, la calidad de agua y las deficiencias que presenta el sistema y que podrían estar generando disconformidades en la comunidad.

Por otra parte al realizar los cálculos para el diseño de los diferentes elementos de la captación se procede a realizar el dimensionamiento del mismo por medio del software Autocad con las respectivas cotas necesarias para poder realizar la cotización pertinente con una constructora. Al igual que se utiliza el software de Google Earth ya que presenta distintas opciones muy útiles para la recopilación de datos necesaria ya que me muestra las diferentes alturas en los distintos puntos del tramo, además de mostrarme el perfil de altura de todo el recorrido del sistema de abastecimiento.

## **Capítulo IV: Análisis de resultados**

### **4.1 Recopilación de datos y análisis de sistema actual**

Primeramente, se realiza una visita a sitio para realizar un diagnóstico del sistema actual y de los distintos elementos que conforman el acueducto. Además de tomar la ubicación exacta por medio del G.P.S de la captación para poder ubicar el trayecto que recorre el sistema por medio de un software.

#### **4.1.1 Análisis de infraestructura actual**

Para la realización de este análisis, nos apoyamos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, el cual dice en el artículo 14 que se debe aplicar la metodología de evaluación de riesgos sanitarios conforme a las Guías de Inspección del Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud (SERSA) en cada uno de los elementos del sistema de suministro de agua. Esta guía evaluó únicamente los elementos presentes, los cuales fueron la obra de captación y la línea de distribución. En el Anexo 1, se detalla cada punto que se inspeccionó para cada elemento.

<b>Sección evaluada</b>	<b>Resultados</b>
<b>Riesgo en la captación de naciente</b>	<b>Riesgo Alto</b>

Riesgo en la línea de distribución	Riesgo Alto
------------------------------------	-------------

Tabla 25. Resultados de evaluación del acueducto con metodología SERSA

Como muestran los resultados, el sistema de abastecimiento en su totalidad se encuentra en alto riesgo ya que no presenta las condiciones óptimas. Primeramente, cabe destacar de la inspección de la naciente que la captación aunque esta alejada de la población y es de difícil acceso, no tiene malla de protección que impida el acceso de personas y animales, además que la captación carece de tapa lo cual genera que le entren desechos de la naturaleza como hojas y podría afectar la calidad del agua. La tubería de rebalse se encuentra sellada por lo tanto esta fuera de servicio. Al igual que es muy notorio la existencia de aguas estancadas alrededor de la captación. Por lo tanto, se aconseja elaborar un plan de emergencia y sensibilizar a la comunidad sobre los riesgos.



Ilustración 5. Obra actual de la Captación

Por otra parte, analizando las líneas de distribución, al ser un sistema hecho por los habitantes, a la salida de la captación no hay ninguna válvula de compuerta para poder cortar el paso para hacer arreglos, por lo tanto se visualizan fugas en la línea de conducción que se intenta tapar con hules pero siguen habiendo fugas notorias ya que la tubería se encuentra

expuesta. Al igual que no existe ningún tipo de esquema del sistema de distribución y los mismos habitantes son los encargados de hacer cualquier mantenimiento correctivo que se presente con algún corte del agua. Al igual que no posee ningún tipo de sistema de desinfección.



Ilustración 6. Estado Actual de la línea de conducción

#### 4.1.2 Topografía del acueducto

Para comenzar, se realizó por medio del GPS la localización de los puntos importantes para lograr definir las distancias y el perfil de elevación para obtener los datos necesarios para diseñar el sistema de abastecimiento. Al no contar ni con un croquis del sistema se procede a utilizar el software Google Earth Pro para trazar el tramo que recorre la tubería actualmente. Obteniendo un recorrido total:

<b>Distancia de la tubería de distribución</b>		
Captación a punto más lejano y bajo del sistema	502,43	m

Tabla 26. Distancia total de la tubería de distribución

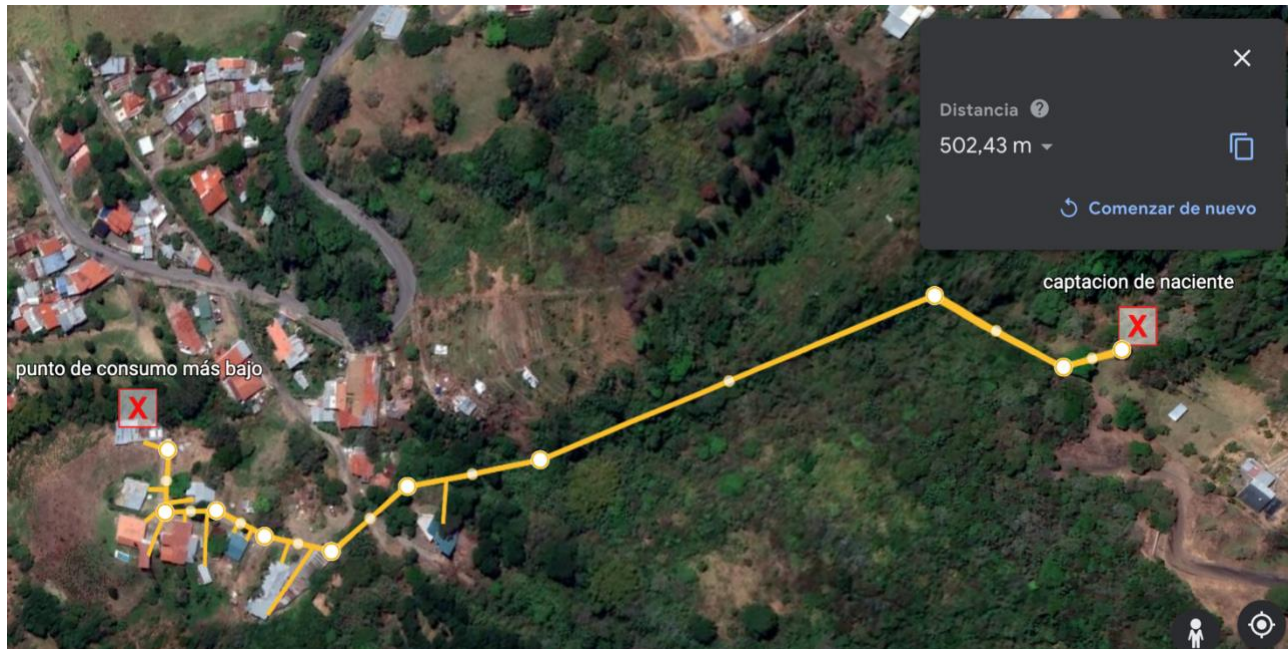


Ilustración 7. Trayecto del sistema de abastecimiento

Por otra parte, el software me permite observar las distintas elevaciones que tiene el sistema y los distintos puntos de consumo. Por lo tanto, se realizó un perfil de elevaciones del sistema en general. El cuál se muestra a continuación:



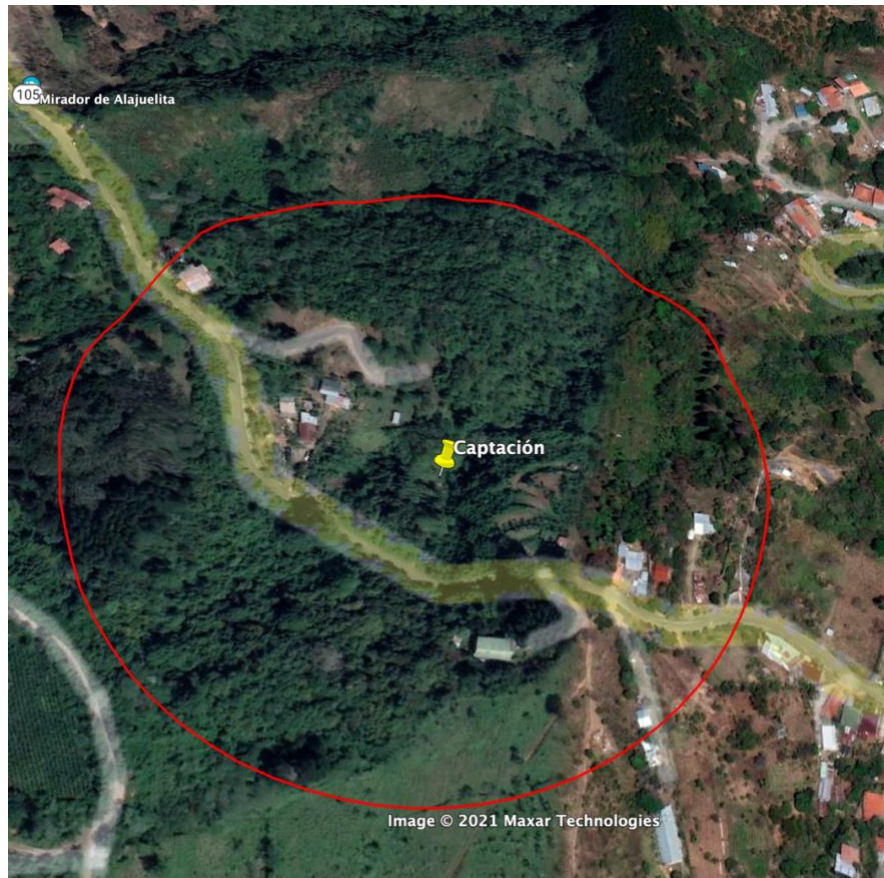
Ilustración 8. Perfil de elevaciones del sistema.

A partir del software y con el perfil de elevación podemos obtener las elevaciones de cada punto específico para obtener el diferencial de alturas que necesitamos para nuestros diseño hidráulico del sistema. El mismo se puede visualizar en la siguiente tabla:

<b>Elevaciones</b>		
Captación	1440	metros
Punto de consumo 1	1358	metros
Punto de consumo 2 y 3	1343	metros
Punto de consumo 4 y 5	1336	metros
Punto de consumo 6,7,8,9	1332	metros
Punto de consumo 10 y 11	1327	metros
Punto final de consumo	1320	metros
<b><math>\Delta</math> altura del sistema</b>	<b>120</b>	<b>metros</b>

Tabla 27. Elevaciones de los distintos elementos del sistema de abastecimiento

Para finalizar, analizando la ubicación de la obra de captación se procede a establecer el radio libre que debe tener la misma a los alrededores. El cual se determina por medio del artículo 31 de la Ley de Aguas N°276. Utilizando el software para trazar la zona cubierta como reserva de dominio del estado, se puede visualizar que existen ciertas construcciones dentro de la zona de protección, siendo estas casas domiciliarias, por lo tanto se permitiría que se encuentren dentro de la zona protegida siempre y cuando no talen ningún árbol o que utilicen algún agroquímico de etiqueta roja. En la siguiente ilustración se observa el área cubierta como reserva alrededor de la naciente aunque se puede establecer una zona más adecuada para la misma con la ayuda de un estudio técnico llevado a cabo por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.



*Ilustración 9. Área de reserva de dominio del estado alrededor de la naciente*

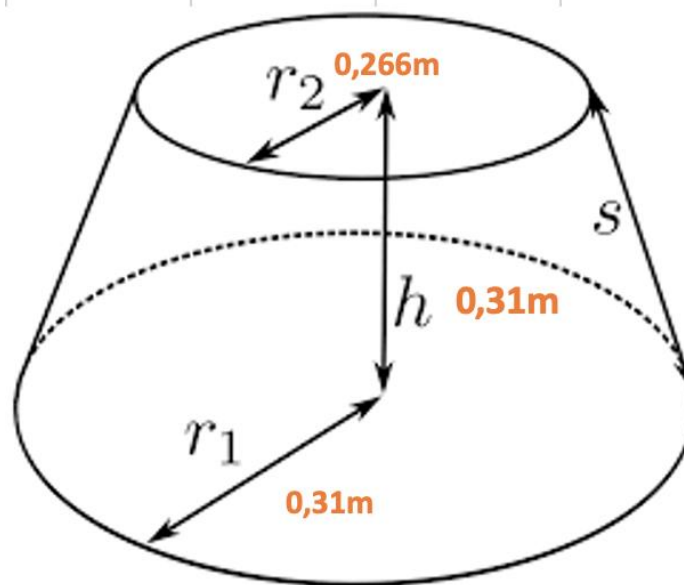
### 4.1.3 Aforo de la fuente de abastecimiento

Primeramente, se decide por realizar el aforo por medio del método volumétrico que se explica en la tabla 6, esto se logra mediante un recipiente con un volumen conocido además de tener los datos del tiempo tardado para poder llenar el mismo recipiente. Este método es el más sencillo, además de que requiere poco equipo pero sigue siendo muy preciso al utilizarse con cuidado razonable. Para verificar el volumen del recipiente a utilizar, se realizó la medición por medio de dos métodos.

El primer método para la medición de volumen del recipiente, fue por sus medidas de sus dos radios además de la altura del recipiente, que cabe destacar que tiene forma de un tronco de cono. Reconociendo lo anterior, se utiliza la siguiente fórmula para obtener el volumen:

$$V = \frac{h \pi}{3} * (R^2 + r^2 + (R * r)) \text{ Ecuación 36. Volumen de un tronco cónico}$$

A partir de esta ecuación y con los datos recolectados por medio de la cinta métrica se obtienen los siguientes parámetros de radios y altura necesarios para el cálculo:



*Ilustración 10. Medidas de recipiente utilizado para aforar*

Posteriormente, con los datos necesarios se procede a hacer la medición del volumen se dispone:

Volumen del recipiente utilizado		
Altura (h)	0,31	m
D	0,31	m
R	0,155	m
d	0,266	m
r	0,133	m
Volumen	20	L

*Tabla 28. Volumen del recipiente para aforar*

Por otra parte, el otro método que se utilizó para verificar el volumen del recipiente, fue por medio de la compra de una probeta de 500mL con una graduación de  $\pm 5\text{mL}$ . Por lo tanto, se procede a hacer el llenado del recipiente hasta los 20 litros requeridos y se hace una marca en el recipiente de donde se llenan los 20 litros exactos.



*Ilustración 11. Probeta regulada utilizada*

Después de obtener el volumen a llenar se procede a ir a la fuente y medir el tiempo que tarda en llenar el recipiente. Se realizan varias pruebas para tener un tiempo aproximado y tener un cálculo más preciso. Tomando en cuenta la ecuación 6 explicada en el marco teórico con las variables de volumen y tiempo conocidas se puede identificar el caudal entregado por parte de la fuente. Teniendo presente que si el caudal es mayor a 10 L/s el método de volumétrico quedaría descartado y se necesitaría recurrir a otro método. El caudal entregado sería el siguiente:

Medición de aforo por método volumétrico		
Número de pruebas	Volumen (Litros)	Tiempo (segundos)
1	20	5,57
2	20	5,87
3	20	5,47
4	20	5,65
5	20	5,59
Total		28,15
Tiempo promedio		5,63
Caudal entregado por la fuente (L/s)		3,59

*Tabla 29. Cálculo de caudal entregado por la fuente*

Por lo tanto, a partir de la tabla anterior, se comprueba que el caudal entregado por la fuente de abastecimiento es de 3,59 L/s, por medio del método volumétrico y se encuentra por debajo de los 10 L/s que es el límite para la aplicación de este método.



*Ilustración 12. Método volumétrico en práctica*

## **4.2 Diseño hidráulico del sistema**

### **4.2.1 Población de diseño**

Como se menciona en el marco teórico, en el decreto de la norma de diseño de agua potable se menciona que al no disponer de censos, se admitirá un crecimiento geométrico de la población, siendo las tasas de crecimiento anual recomendada para poblaciones rurales, que es el caso, de 3,5% . También se contabiliza un total de 11 previstas tipo domiciliar y una prevista para el criadero porcino. Al ser un sistema para un grupo muy pequeño de viviendas y no disponer de censos se realiza un conteo de los habitantes totales, el cuál da un resultado de 27 habitantes. Tomando en cuenta que la población futura se proyecta para un período de 20 años y la ecuación 14, se obtiene la proyección de la población futura por medio del método geométrico:

<b>Proyección de población por Método Geométrico</b>		
Población proyectada para población inicial de 27 habitantes	53,72429931	habitantes

*Tabla 30. Población futura*

#### **4.2.2 Período de diseño**

El período de diseño seleccionado para los distintos elementos será el que se muestra en la siguiente tabla. Para la elaboración de la misma se tomó en cuenta la norma de diseño de agua potable, la cuál aconseja un período de 5 años para los equipos de desinfección. Además que en la guía de diseño y construcción de captación de manantiales se aconseja utilizar un período de diseño de 20 años para la población tomando en cuenta que es una población tipo rural y siguiendo los períodos aconsejados para los otros elementos que se mencionan en la norma del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarrillados.

<b>Período de diseño</b>	
Población futura	20 años
Captación	25 años
Tubería de conducción (aducción)	25 años
Equipos de desinfección	5 años
Tanque de almacenamiento	25 años
Tubería de distribución	20 años

*Tabla 31. Período de diseño de los elementos del sistema de abastecimiento*

#### **4.2.3 Caudal de diseño**

El primer paso, para el cálculo del diseño es identificar el consumo por habitante, además del consumo por cerdo los cuales son los únicos gastos del sistema. Esto se logra a partir de la tabla 11, que muestra los consumos mínimos en este caso de los cerdos en el apartado de criaderos de animales. Al igual que la tabla 12, sacada de la norma técnica para el diseño de sistemas de abastecimiento, indica en el apartado 4.3 las dotaciones para las poblaciones rurales. Al obtener esto, es posible encontrar el consumo neto necesario del sistema. Se debe tomar en cuenta que las unidades en las que se obtienen las dotaciones se

encuentran en litros por persona por día para la población (L/p/d) y litros por animal por día (L/a/d) en el caso del criadero de cerdos.

Dotación neta		
Población futura	54	habitantes
Número de cerdos	200	cerdos
Dotación mínima población rural	200	L/p/d
Dotación mínima criadero porcino	30	L/a/d
Dotación neta población	10744,8599	L/día
Dotación neta cerdos	6000	L/día
<b>Dotación neta total</b>	<b>16744,8599</b>	<b>L/día</b>

*Tabla 32. Dotación neta*

Al obtener la dotación neta, se procede a utilizar la ecuación 16 para obtener el consumo bruto necesario para los cálculos del caudal de diseño. Cabe destacar que se toma en cuenta que Sanabria mencionando al AyA resalta que el porcentaje de pérdidas, lo ideal es que sea lo más bajo posible. Mencionando que en Costa Rica puede ser alrededor de 5% del caudal máximo diario.

Consumo bruto		
consumo neto	16744,8599	L/día
porcentaje de pérdidas	5%	
<b>consumo bruto</b>	<b>17626</b>	<b>L/día</b>

*Tabla 33. Consumo bruto del acueducto.*

Consecuentemente, obteniendo el consumo bruto se puede utilizar como el consumo promedio diario pasado a litros/segundos con ayuda de la ecuación 17 y con ayuda del apartado de factores de demanda máxima, se obtienen los valores del caudal máximo diario, caudal máximo horario y el caudal de diseño necesario para suplir las necesidades de todos los puntos de consumo. Además del uso de ecuaciones 18,19 y 20

Caudal de diseño		
Consumo promedio diario	0,20400658	L/s
Factor Máximo Diario	1,2	
Factor Máximo Horario	1,8	
Consumo Máximo Diario	0,24480789	L/s
Consumo Máximo Horario	0,36721184	L/s
Caudal de incendio	0	L/s
<b>Caudal de diseño</b>	<b>0,24480789</b>	<b>L/s</b>

*Tabla 34. Caudal de diseño para sistema de abastecimiento.*

Se puede apreciar que si se compara el caudal entregado por la fuente, que es de 3,59 L/s, y el caudal de diseño, se puede apreciar que la fuente puede suplir las necesidades del sistema de abastecimiento muy fácilmente.

#### 4.2.4 Dimensionamiento del diámetro de tubería de distribución

Para el dimensionamiento del diámetro de tubería, basándose en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, en el artículo 6.3.2-1 y la norma técnica en el artículo 4.10, se decide tomar una velocidad de diseño de 2,0 m/s siendo esta la máxima permitida más que todo porque evita los golpes de ariete aunque es posible llegar a velocidades de hasta 3 m/s. Al igual que se utiliza la fórmula 23 para obtener el diámetro teórico a partir del caudal de diseño y la velocidad asumida. Con el diámetro interno estimado se puede seleccionar la tubería que mejor se ajuste a lo necesario. También, como se adjunta en el anexo 2, se utilizan las fichas técnicas de las tuberías de 12mm y 18mm marca Amanco ya que son con las que se realizará el presupuesto, aunque el diámetro real se va a mantener igual debido a que las tuberías mantienen su diámetro interno y las diferencias en los diámetros se dan en los externos según el espesor de las mismas.

Tramo	Q diseño (l/s)	Vdiseño (m/s)	D interno estimado (mm)	Dreal (mm)	DN (pulg)
12mm pared gruesa (SCH-40)	0,245	2	12,48	12	1/2
12mm pared delgada (SDR-13.5)	0,245	2	12,48	12	1/2
18mm pared gruesa (SCH-40)	0,245	2	12,48	18	3/4

*Tabla 35. Cálculo de diámetro interno estimado y diámetro interno real*

A partir del diámetro interno estimado, el cual da 12,48 mm, se determina por medio del punto 4.13 de la Norma Técnica de Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable que la tubería a utilizar para la línea de distribución sería de 75mm como mínimo ya que debido a la demanda del sistema, el diámetro necesario para cumplir las demandas es mucho mas pequeño del recomendado por la normativa.

#### 4.2.5 Tanque de almacenamiento

Para el cálculo del volumen necesario para el tanque, se deben tomar en cuenta varios aspectos que aportan cierto caudal cada uno. Primeramente, como se explica en el marco teórico el primer aspecto que se toma en cuenta es el volumen de regulación del consumo, el cual es el equivalente al 14% del caudal promedio diario anteriormente calculado. Por otra parte, para el caudal de incendio se puede apreciar en la tabla 10, que al ser menos de 5000 habitantes no necesita caudal por incendio ya que se puede utilizar el de regulación de consumo. Finalmente, el último apartado de volumen de reserva por interrupciones, representa el volumen de un período de 4 horas del caudal promedio diario por lo que se divide por las 24 horas que tiene un día y se multiplican por las 4 horas en estudio. Los cálculos del volumen del tanque están representados en la siguiente tabla:

<b>Volumen del tanque de almacenamiento</b>		
Consumo promedio diario	17626,17	L/día
% volumen de regulación	14%	
Volumen de regulación	2467,66	L/día
Volumen para incendios	0	L/día
Volumen por interrupciones	2937,69	Litros
Volumen total	5405,36	Litros
	5,40535827	m <sup>3</sup>

*Tabla 36. Volumen total del tanque de almacenamiento*

#### 4.2.6 Coeficiente de fricción (k) para accesorios

Primeramente, para obtener los coeficientes de fricción es necesario identificar los accesorios que se irán a utilizar en el sistema de abastecimiento. El número de uniones se obtiene a partir de la longitud total del acueducto, entre la distancia que tiene cada tubo de las diferentes opciones. Se contabiliza además uniones T para cada punto de consumo que tiene la línea de distribución, agregando válvulas de corte antes de llegar a las uniones T para permitir cerrar por tramos cuando es necesario alguna reparación y no tener que cerrar la válvula de corte inicial, apoyándonos en el anexo 4 de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable Pluvial y Saneamiento, el cual

explica que estas válvulas se deben colocar en todas las tuberías que se unen con una intersección.

También se contabiliza una válvula de purga en la unión T en el punto final de consumo ya que se encuentra al frente de un río, que es un cuerpo natural de agua, lo que abarataría los costos de la infraestructura para la obra de disipación necesaria evitando la erosión en el punto de descarga. Las anteriores válvulas fueron instaladas con base al anexo cuatro y las mismas se contabilizan como válvulas de compuerta. Finalmente, apoyándose en la norma, se contabiliza una válvula eliminadora de aire considerando las condiciones topográficas y considerando que su colocación debe ser en las zonas altas del acueducto por lo tanto se instalaría en el inicio de la tubería de distribución siendo este el lugar de mayor altitud.

Al considerar todos los accesorios necesarios en la tubería de distribución, con la tabla 16 y 17 del CIHSE se procede a hacer la contabilización de la K total para las dos rutas críticas posibles, las cuales serían el primer y el último punto de consumo los cuales tienen diferentes diferenciales de altitud. Se toma en cuenta de esta tabla los diámetros nominales de 12mm, 18mm y 75 mm. Además como se aprecia en el anexo 3, las fichas técnicas de estas válvulas de aire no muestran el coeficiente k, pero se supone como si fuera el valor de una válvula de compuerta ya que estas válvulas por operatividad solo van a trabajar cierta cantidad de veces en la naturalidad de un sistema, además de que al encargarse de eliminar aire y estar conectada a una unión T se puede no tomar en cuenta en la tubería de distribución. También se cuenta con un codo de 90 para el último quiebre hacia los tres últimos puntos de consumo y 7 codos de 45 para acomodar la tubería por la ruta indicada. Se procede a hacer el cálculo de k para las distintas opciones de tubería disponible:

<b>Cálculo de K punto más bajo</b>						
<b>Tramo</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>k accesorio</b>	<b>Subtotal</b>	<b>K total</b>
Tubería de distribución	12	Unión	167	0,12	20,0972	41,6372
		Válvula de aire	1	0,34	0,34	
		válvula de purga	1	0,34	0,34	
		Válvula de corte	12	0,34	4,08	
		codo de 90	1	2,1	2,1	
		codo de 45	7	0,37	2,59	

		unión en T roscada F.L	13	0,93	12,09	
--	--	---------------------------	----	------	-------	--

Tabla 37. Coeficiente K tubería de 12mm pared gruesa ruta crítica punto de consumo de menor altitud

Calculo de K punto más alto						
Tramo	DN (mm)	Accesorio	Cantidad	k accesorio	Subtotal	K total
Tubería de distribución	12	Unión	104	0,12	12,448	16,098
		Válvula de aire	1	0,34	0,34	
		Válvula de purga	0	0	0	
		Válvula de corte	1	0,34	0,34	
		Codo de 90	0	0	0	
		Codo de 45	3	0,37	1,11	
		Unión en T roscada F.L	2	0,93	0,93	

Tabla 38. Coeficiente K tubería de 12mm pared gruesa ruta crítica punto de consumo de mayor altitud

Por otra parte, para la tubería de 12mm pero cédula 13.5 cambia la cantidad de uniones ya que al cotizar las tuberías, cambia la longitud del tubo, siendo de 3m el tubo de 12mm cédula 40 y de 6m el tubo de 12mm cédula 13.5. Al igual que se contabiliza que en el punto más alto esta más cerca de la fuente por lo tanto hay menos distancia y cambia la contabilización de los elementos que están implicados en las dos posibles rutas críticas. El coeficiente k para la tubería de 12mm sch 13.5 sería la siguiente:

Calculo de K punto más bajo						
Tramo	DN (mm)	Accesorio	Cantidad	k accesorio	Subtotal	K total
Tubería de distribución	12	Unión	84	0,12	10,0486	31,5886
		Válvula de aire	1	0,34	0,34	
		Válvula de purga	1	0,34	0,34	
		Válvula de corte	12	0,34	4,08	
		codo de 90	1	2,1	2,1	
		codo de 45	7	0,37	2,59	
		unión en T roscada F.L	12	0,93	11,16	

Tabla 39. Coeficiente K tubería de 12mm pared delgada ruta crítica punto de consumo de menor altitud

Calculo de K punto más alto						
Tramo	DN (mm)	Accesorio	Cantidad	k accesorio	Subtotal	K total
Tubería de distribución	12	Unión	52	0,12	6,224	9,874
		Válvula de aire	1	0,34	0,34	
		Válvula de purga	0	0	0	
		Válvula de corte	1	0,34	0,34	
		codo de 90	0	0	0	
		codo de 45	3	0,37	1,11	
		unión en T roscada F.L	1	0,93	0,93	

Tabla 40. Coeficiente K tubería de 12mm pared delgada ruta crítica punto de consumo de mayor altitud

También, se analiza la opción de 18mm cédula 40, pared gruesa, en caso de que al realizar el estudio de ruta crítica la altura total necesaria en el tramo, no sea suficiente en la tubería de 12mm ya que no genera la presión suficiente y se prefiera utilizar pared gruesa en vez de la pared delgada de la tubería de 12mm al estar en exterior. Tomando en cuenta que los valores de k accesorio cambian al ser de 18mm en la tabla 16.

Calculo de K punto más bajo						
Tramo	DN (mm)	Accesorio	Cantidad	k accesorio	Subtotal	total
Tubería de distribución	18	Unión	167	0,09	15,0729	34,9429
		Válvula de aire	1	0,26	0,26	
		Válvula de purga	1	0,26	0,26	
		Válvula de corte	12	0,26	3,12	
		codo de 90	1	1,69	1,69	
		codo de 45	7	0,35	2,45	
		unión en T roscada F.L	13	0,93	12,09	

Tabla 41. Coeficiente K tubería de 18mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de menor altitud

Calculo de K punto más alto						
Tramo	DN (mm)	Accesorio	Cantidad	k accesorio	Subtotal	total
Tubería de distribución	18	Unión	104	0,09	9,336	12,766
		Válvula de aire	1	0,26	0,26	
		Válvula de purga	0	0	0	
		Válvula de corte	1	0,26	0,26	

	codo de 90	0	0	0
	codo de 45	3	0,35	1,05
	unión en T roscada F.L	2	0,93	1,86

*Tabla 42. Coeficiente K tubería de 18mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de mayor altitud.*

Para finalizar se procede a realizar el análisis con la tubería de 75mm pared delgada, debido a que este diámetro es el mínimo establecido por la normativa para sitios de desarrollo limitados que carecen de hidrantes. Tomando en cuenta los valores de k de la tabla 17 y tomando en cuenta que la longitud por tubo sería de 6 metros obtengo el siguiente total de K:

<b>Calculo de K punto más bajo</b>						
<b>Tramo</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>k accesorio</b>	<b>Subtotal</b>	<b>K total</b>
Tubería de distribución	75	Unión	84	0,04	3,34953333	19,6595333
		Válvula de aire	1	0,1	0,1	
		Válvula de purga	1	0,1	0,1	
		Válvula de corte	12	0,1	1,2	
		codo de 90	1	0,79	0,79	
		codo de 45	7	0,29	2,03	
		unión en T roscada F.L	13	0,93	12,09	

*Tabla 43. Coeficiente K tubería de 75mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de menor altitud*

<b>Calculo de K punto más alto</b>						
<b>Tramo</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>k accesorio</b>	<b>Subtotal</b>	<b>K total</b>
Tubería de distribución	75	Unión	52	0,04	2,07466667	4,64466667
		Válvula de aire	1	0,1	0,1	
		Válvula de purga	0	0,1	0	
		Válvula de corte	1	0,1	0,1	
		codo de 90	0	0	0	
		codo de 45	3	0,17	0,51	
		unión en T roscada F.L	2	0,93	1,86	

*Tabla 44. Coeficiente K tubería de 75mm pared gruesa ruta crítica a punto de consumo de mayor altitud*

#### 4.2.7 Análisis de ruta crítica

Primeramente, para verificar el correcto funcionamiento del sistema se procede a analizar la presión residual que tendría la tubería de distribución con las distintas opciones de tubo PVC que se ajustan a las necesidades del mismo. Para el estudio de la ruta crítica, al ser un sistema con pendiente pronunciada se procede a analizar la presión que obtendría en el primer punto de consumo de mayor elevación y el punto de consumo de menor elevación ya que serían los dos puntos más críticos y los que se encuentran entre estos dos, estarían cubiertos. Los rubros necesarios para definir la ruta crítica son:

- El diámetro interno real para cada una de las opciones de tubo PVC estudiadas.
- Es necesario también el caudal de diseño calculado en la tabla 34 del sistema que queremos diseñar.
- Se debe tomar en cuenta el valor de la gravedad, además se debe calcular la longitud que se tiene entre los puntos de mayor y menor altitud con respecto al inicio de la captación ya que serían las posibles rutas críticas, esto con ayuda del software Google Earth Pro y tabulando los valores en la siguiente tabla. En los cuales se toma el valor de la captación que es la distancia total hasta el último punto de consumo y la diferencia entre la distancia final y el primer punto de consumo me dará la distancia para el punto de consumo de mayor altitud.

<b>Distancias</b>		
Captación	502,43	metros
Punto de consumo 1	191,23	metros
Punto de consumo 2 y 3	120,94	metros
Punto de consumo 4 y 5	74,4	metros
Punto de consumo 6,7,8,9	40,5	metros
Punto de consumo 10 y 11	24,5	metros
Punto final de consumo	0	metros

*Tabla 45. Distancias de los puntos de consumo del sistema de abastecimiento*

- Por medio de la tabla 6.6 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, la que se muestra en la tabla 15, se obtiene la rugosidad para una tubería tipo PVC.

Para el diseño, se deben tomar en cuenta las propiedades del fluido que se va a transportar, por lo tanto se toman los valores de densidad, viscosidad dinámica y viscosidad cinemática para nuestro fluido que es agua. Con lo anterior en mente, se procede a hacer una medición de temperatura cada 3 horas durante un día para obtener el promedio de temperatura a utilizar para diseñar con ayuda de un termómetro infrarrojo marca Microlife. Igualmente, es necesario la utilización de la siguiente tabla a continuación en la cual se muestran las propiedades de densidad, la viscosidad dinámica y cinemática para los distintos valores de temperatura tomando en cuenta que los valores están en las mismas unidades ya que  $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ , justo como esta en la tabla de ruta crítica:

**PROPIEDADES FÍSICAS DEL  
AGUA**

Tabla 4

Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad cinemática	Módulo de elasticidad volumétrica	Tensión Superficial	Presión de Vapor
$t$	$\rho$	$\mu$	$\nu$	$K$	$\sigma$	$p_v$
$^{\circ}\text{C}$	$\text{kg}/\text{m}^3$	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2\cdot 10^{-3}$	$\text{m}^2/\text{s}\cdot 10^6$	$\text{Pa}\cdot 10^7$	$\text{N}/\text{m}\cdot 10^{-2}$	$\text{Pa}$
0	999,9	1,792	1,792	204	7,62	588
1	999,9	1,732	1,732			
2	1000,0	1,674	1,674			
3	1000,0	1,619	1,619			
4	1000,0	1,568	1,568			
5	1000,0	1,519	1,519	206	7,54	882
6	1000,0	1,473	1,473			
7	999,9	1,429	1,429			
8	999,9	1,387	1,387			
9	999,8	1,348	1,348			
10	999,7	1,310	1,310	211	7,48	1.176
11	999,6	1,274	1,274			
12	999,5	1,239	1,240			
13	999,4	1,206	1,207			
14	999,3	1,175	1,176			
15	999,1	1,145	1,146	214	7,41	1.666
16	999,0	1,116	1,117			
17	998,8	1,088	1,089			
18	998,6	1,060	1,061			
19	998,4	1,034	1,036			
20	998,2	1,009	1,011	220	7,36	2.447
21	998,0	0,984	0,986			
22	997,8	0,961	0,963			
23	997,6	0,938	0,940			
24	997,5	0,916	0,918			
25	997,1	0,895	0,898	222	7,26	
26	996,8	0,875	0,878			
27	996,5	0,855	0,858			
28	996,3	0,836	0,839			
29	996,0	0,818	0,821			
30	995,7	0,800	0,803	223	7,18	4.297
35	994,1	0,723	0,727	224	7,10	
40	992,2	0,656	0,661	227	7,01	7.400
45	990,2	0,599	0,605	229	6,92	
50	988,1	0,549	0,556	230	6,82	12.22
55	985,7	0,506	0,513	231	6,74	
60	983,2	0,469	0,477	228	6,68	19.60
65	980,6	0,469	0,478	226	6,58	
70	977,8	0,406	0,415	225	6,50	30.70
75	974,9	0,380	0,390	223	6,40	
80	971,8	0,357	0,367	221	6,30	46.40
85	968,6	0,336	0,347	217	6,20	
90	965,3	0,317	0,328	216	6,12	68.20
95	961,9	0,299	0,311	211	6,12	
100	958,4	0,284	0,296	207	5,94	97.50

Tabla 46. Propiedades físicas del agua a distintas temperaturas.

Al obtener el valor promedio y la tabla de propiedades físicas del agua se puede hacer una interpolación entre las dos temperaturas más cercanas y los valores a conocer para encontrar sus respectivas propiedades a esa temperatura. Lo cual lleva a los siguientes resultados para las propiedades de densidad y viscosidades necesarias:

Temperatura promedio del agua	
Hora de toma de muestra	Temperatura (Celsius)
10:00 a. m.	20,2
1:00 p. m.	22,1
4:00 p.m	22,3
7:00 p. m.	21,2
10:00 p.m	21,1
Promedio de temperatura	21,38
Densidad a temperatura promedio	997,924 kg/ m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica ( $\mu$ )	0,0009753 Pa*s
Viscosidad cinemática $\nu$	9,77E-07 m <sup>2</sup> /s

Tabla 47. Tabla de propiedades físicas del agua utilizadas según temperatura promedio

Posteriormente, se procede a calcular la velocidad real que presenta la tubería mediante la ecuación 24, la cual toma en cuenta el caudal en metros cúbicos por segundo y el diámetro en metros. Luego, al tener las velocidades reales se procede a verificar en la tabla 13, si estas cumplen con las velocidades máximas recomendadas. Se puede ir apreciando que la tubería de PVC cédula 40 presenta una velocidad de 1,45m/s cuando la máxima recomendada es de 1,34m/s por lo tanto estaría arriba del máximo recomendado en este tipo de tubería, en cambio en la de 12mm pero cédula 13.5 se puede notar que su velocidad esta por debajo de la máxima recomendada. Al igual que para la tubería de 18mm cédula 40 esta por debajo del máximo y siguiendo el artículo 6.3.2-2 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, estamos arriba de la velocidad mínima requerida de 0,60 m/s siendo de 0,794m/s. Aunque para la tubería estipulada de 75mm a utilizar por normativa se va a encontrar por debajo de la mínima requerida, siendo esta de 0,1 m/s.

Al obtener la velocidad real para las tuberías y la viscosidad cinemática del agua, se procede a calcular el número de Reynolds por medio de la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \text{ Ecuación 37. Ecuación de Reynolds}$$

Siendo:

V= Velocidad (m/s)

D= Diámetro (m)

$\nu$ = Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

- Después de obtener Reynolds se necesita encontrar el valor de la rugosidad de la tubería entre el diámetro real de la misma ya que son necesarias para la ecuación del factor de fricción.

Al obtener los valores del número de Reynolds, se toman en cuenta las ecuaciones 26, 27 y 28 obtenidas del artículo 6.3.4, el cuál es sobre las pérdidas de carga. Se tiene que tomar una decisión a partir del valor que nos da la rugosidad entre el diámetro interno real y el número de Reynolds. Al tener un valor máximo del número de Reynolds de  $2 \times 10^4$  se descarta la ecuación 26 y se toma la ecuación 27 ya que el número de Reynolds concuerda con el permitido. Al utilizar la ecuación 27 se logra determinar el coeficiente de fricción esto para las tuberías de 12 y 18mm. Aunque para la tubería de 75mm es necesario utilizar una ecuación 26 debido a que el número de Reynolds es mayor a 4000.

Con el coeficiente de fricción se puede utilizar la ecuación 25 para encontrar las pérdidas de carga por tramo recto en la tubería de distribución, tomando en cuenta además la velocidad real, diámetro interno real y la gravedad. Teniendo las pérdidas de carga, se toma en consideración del Manual para la Elaboración de y Revisión de Proyectos Ejecutivos de Sistemas de Riego Parcelario, emitido por la Comisión Nacional del Agua, se toma de la sección 5.1.2, llamada pérdidas de cargas localizadas o pérdidas menores, la explicación realizada acerca de que en la práctica es común considerar un porcentaje de la suma total de las pérdidas de carga por fricción o tramo recto. Se considera de un 5 a un 10% dependiendo del tipo de sistema y de las velocidades de diseño. Si el promedio de la velocidad es cercana a 2 m/s se considera el 10% y si es menor de 1 m/s se considera un 5%. Al utilizar valores mayores a 1 m/s se decide utilizar un 10% por accesorios no contabilizados para el diseño hidráulico en las tuberías de 12mm y 18mm aunque se toma en cuenta un 5% para la tubería de 75mm debido a que presenta velocidades menores a 1 m/s.

Siguiendo con el cálculo, se toma en cuenta el valor K en las tablas 37,38,39,40,41,42,43, 44 para las distintas posibilidades de tubería. Con estos coeficientes de resistencia (k) se procede a utilizar la siguiente ecuación para calcular las pérdidas de carga en accesorios ( $h_f$ ), que involucra la velocidad real en la tubería ( $V_{real}$ ) y la gravedad (g):

$$h_{f \text{ accesorios}} = K \frac{V_{real}^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Ecuación 38})$$

Por otra parte, se necesita la altura geométrica para los dos puntos críticos, los cuales serían para el punto más bajo la diferencia de altura de la tabla 27 y la diferencia entre la captación y el punto más alto de consumo, sin olvidar que al tener esa altura a favor el valor sería negativo. Cabe destacar, que para el análisis de ruta crítica en el punto de consumo de mayor altura la diferencia de altura sería 82 mca a favor porque es la diferencia de alturas entre la captación y el primer punto de consumo. Además, se necesita determinar la presión requerida para los puntos de consumo. Para tomar la decisión de la presión necesaria en cada punto de consumo, se toma en cuenta el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones y la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento. Del primer mencionado se tomo en cuenta el artículo 6.3.1-2 mencionando que, “La presión de servicio después del medidor deberá ser mayor a diez metros de columna de agua(10mca)”. Por otra parte, la norma en el apartado 4.7 que trata sobre carga hidráulica menciona que para las distintas condiciones, los sistemas deben ser diseñados para que en todo punto de la red, la presión de servicio sea mayor o igual a 15mca. Debido a los puntos anteriores se decidió utilizar una presión requerida de 20mca y no de 15 mca para poder tener margen y no dejarlo muy ajustado a los 15 requeridos ni tampoco diseñarlo con una presión muy baja de 10mca y no tener suficiente presión a la hora del funcionamiento.

Con lo anterior, se puede obtener la presión estática, siendo la misma la suma de las pérdidas de carga por tramo recto, el 10% contabilizado por accesorios no contabilizados, pérdidas de carga por accesorios, la altura geométrica y la presión requerida en los puntos de consumo. Determinando con este valor cual ruta es la más crítica en el sistema, siendo en los puntos de consumo de mayor altitud. Continuando, la presión dinámica se determina a partir de la siguiente ecuación, la cuál toma en cuenta la velocidad, que en este caso se toma el valor más crítico que sería la velocidad de diseño, 2 m/s, y la gravedad.

$$P_{dinámica} = V^2/2g \quad \text{Ecuación 39. Presión dinámica}$$

Finalmente, contabilizando la presión estática y dinámica de cada punto y sumando las mismas se logró obtener la presión residual que tendría en los puntos con las distintas opciones de tubería presentados. A partir de estos datos y con la ayuda del artículo 4.11 de la Norma Técnica de Diseño de Sistemas de abastecimiento, que establece que las presiones estáticas máximas será de 50 mca en el punto más bajo de la red, en puntos aislados se permiten presiones de hasta 70mca cuando el área de servicio es muy inclinada y la presión

dinámica de servicio no debe ser menor de 15mca en el punto crítico de la red. Bajo esta normativa, se descarta la tubería de 12mm cédula 40 ya que su presión residual necesitaría 9,5 mca por lo tanto no se utiliza, ya que necesitaría una bomba y sería mucho más costoso que si fuera un sistema por gravedad. Por otra parte, la tubería de 12mm cédula 13.5, resulta más atractiva debido a su costo, además de que cumple con no sobrepasarse de la presión máxima en el punto más bajo y cuenta con 29mca en el punto más crítico siendo este mucho mayor a los 15 mca estipulados. La opción de la tubería de 18mm cédula 40, más que todo para mantener la tubería en pared gruesa, resultaría más costosa debido a que sus presiones se encuentran por arriba del máximo permitido, lo que generaría comprar una válvula reguladora de presión. En la siguiente página se muestra la tabla de Excel con todos los cálculos anteriormente explicados:

TABLA 46. PARTE 1							Tabla 6.6 propiedades del agua a 21,38 C y 1atm								
D nominal	SDR- SCH	Tubería de distribución	Q diseño (l/s)	diametro interno real(mm)	g (m/s <sup>2</sup> )	L (m)	ε (mm)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	μ (Pa*s)	v (m2/s)	Vreal (m/s)	Re	ε/D	f	hf (mca)
12mm	SCH-40	punto más bajo de consumo	0,245	14,67	9,81	502,43	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	1,448	2,174E+04	1,022E-04	0,026023	95,293
		punto más alto de consumo	0,245	14,67	9,81	311,20	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	1,448	2,174E+04	1,022E-04	0,026023	59,023
	SDR-13.5	punto más bajo de consumo	0,245	17,07	9,81	502,43	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	1,070	1,868E+04	8,787E-05	0,027028	46,397
		punto más alto de consumo	0,245	17,07	9,81	311,20	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	1,070	1,868E+04	8,787E-05	0,027028	28,738
18mm	SCH-40	punto más bajo de consumo	0,245	19,81	9,81	502,43	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	0,794	1,610E+04	7,572E-05	0,028053	22,877
		punto más alto de consumo	0,245	19,81	9,81	311,20	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	0,794	1,610E+04	7,572E-05	0,028053	14,170

TABLA 46. PARTE 2										
D nominal	SDR- SCH	Tubería de distribución	hf 10% accesorios (mca)	k	hf-accesorios por k (mca)	Hgeométrica (mca)	Prequerida (mca)	Pestática (mca)	Pdinamica (mca)	Htotal (mca)
12mm	SCH-40	punto más bajo de consumo	9,529	41,64	4,452	-120	20,0	9,274	0,204	9,478
		punto más alto de consumo	5,902	16,10	1,721	-82	20,0	4,647	0,204	4,851
	SDR-13.5	punto más bajo de consumo	4,640	31,59	1,842	-120	20,0	-47,120	0,204	-46,917
		punto más alto de consumo	2,874	9,87	0,576	-82	20,0	-29,812	0,204	-29,608
18mm	SCH-40	punto más bajo de consumo	2,288	34,94	1,124	-120	20,0	-73,712	0,204	-73,508
		punto más alto de consumo	1,417	12,77	0,410	-82	20,0	-46,003	0,000	-46,003

Tabla 48. Análisis de ruta crítica

Analizando la ruta crítica para la tubería impuesta por la normativa correspondiente, 75 mm, se puede observar en la siguiente tabla que este diseño presenta el inconveniente de que tendrá velocidades debajo del mínimo establecido pero cumpliría con el funcionamiento por gravedad ya que cumpliría con la presión mínima en el punto más crítico del sistema. Aunque se sobrepasa de la presión máxima establecida en el punto mas bajo de la red por 30

mca y en el punto más crítico tiene una presión 4 veces más grande a la mínima requerida. Por lo que sería prudente la instalación de una válvula reguladora de presión igualmente. En la siguiente tabla se puede apreciar lo explicado:

TABLA 48. PARTE 1							Tabla 6.6 propiedades del agua a 21,38 C y 1atm								
D nominal	SDR-SCH	Tubería de distribución	Q diseño (l/s)	díametro interno real(mm)	$g (m/s^2)$	L (m)	$\epsilon$ (mm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa*s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Vreal (m/s)	Re	$\epsilon/D$	f	hf (mca)
18mm	SCH-40	punto más bajo de consumo	0,245	75	9,81	502,43	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	0,055	4,253E+03	2,000E-05	0,039666	0,042
		punto más alto de consumo	0,245	75	9,81	311,20	0,0015	997,924	0,0009753	9,773E-07	0,055	4,253E+03	2,000E-05	0,039666	0,026

Tabla 49. Análisis de ruta crítica para la tubería de 75 mm

TABLA 48. PARTE 2										
D nominal	SDR-SCH	Tubería de distribución	hf5% accesorios (mca)	k	hf-accesorios por k (mca)	Hgeométrica (mca)	Prequerida (mca)	Pestática (mca)	Pdinámica (mca)	Htotal (mca)
18mm	SCH-40	punto más bajo de consumo	0,002	19,66	0,003	-120	20,0	-99,953	0,204	-99,749
		punto más alto de consumo	0,001	4,64	0,001	-82	20,0	-61,972	0,204	-61,768

Tabla 50. Análisis de ruta crítica para la tubería de 75 mm

#### 4.2.8 Cálculo de golpe de ariete

Al conocer la longitud total del acueducto, además de la velocidad que se va a manejar, así como el material tipo PVC que se utiliza, se utilizan las ecuaciones 29,30,31,32,33 para lograr la clasificación de sistema y interpretar con ayuda de las fórmulas 34 y 35 si utilizar la ecuación de Allievi o Michaud para encontrar la sobrepresión generada por el golpe de ariete. Para los datos de la conducción se establecieron con ayuda de la ficha técnica de la tubería que se va a instalar, en este caso sería la de 75mm, el diámetro externo y el espesor de pared, al igual que por el material PVC se establece el módulo de elasticidad. Esto se puede apreciar en la siguiente tabla en donde se establece el coeficiente de elasticidad:

$D_{ext}$ (mm)	88,90
Espesor (mm)	5,55
material	PVC
$\epsilon$	3,00E+08
Longitud (m)	504
<b>K</b>	<b>33,33</b>

Tabla 51. Tabla de condiciones iniciales y cálculo de coeficiente de elasticidad

Igualmente, se definen los datos de la instalación siendo estos la altura geométrica, contabilizando las pérdidas de carga por tramo recto y las pérdidas por accesorio, así como

el caudal de diseño. Obteniendo la altura manométrica, además de la pendiente hidráulica a partir de la altura manométrica y la longitud del acueducto. Esto se detalla en la siguiente tabla:

**Datos de la instalación**

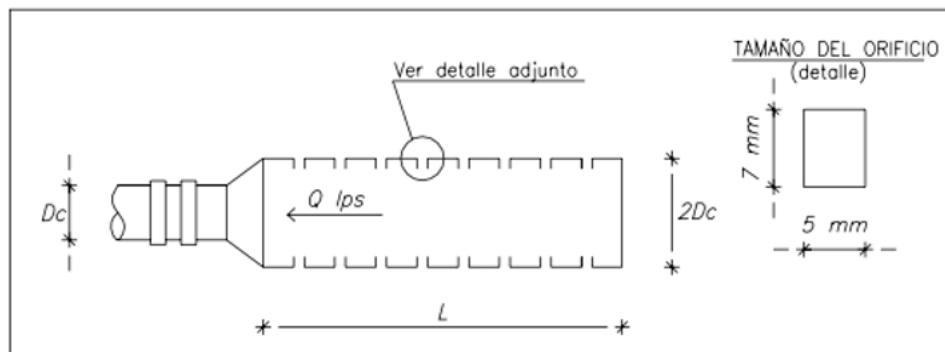
$H_g =$	120,00	mca
$\Delta H_L =$	0,04	mca
$\Delta H_f =$	0,003	mca
$\Delta H_m =$	120,05	mca
$Q =$	0,25	l/s
$v =$	0,05	m/s
$i =$	23,82	%

*Tabla 52. Datos de condiciones iniciales y calculo de pendiente hidráulica*

Al contar con los datos obtenidos anteriormente se puede realizar el calculo de celeridad y el tiempo critico pertenecientes a los cálculos de frecuencia de propagación de la onda. Al igual que a partir de la longitud del sistema se puede determinar la K a utilizar y la pendiente hidráulica determina el coeficiente C que se debe usar junto con las gráficas de la ilustración 3. A partir de acá se determina el tiempo de parada del agua en el diseño, el cual se aprecia que el mismo es menor al periodo de frecuencia de propagación de la onda por lo que se clasifica como un cierre rápido. Al igual que se puede obtener la longitud crítica de la instalación, dando como resultado que es menor a la longitud de la línea por lo que se catalogaría como una instalación larga. A partir de estas dos conclusiones se decide utilizar la ecuación de Allievi para obtener la sobrepresión generada por el golpe de ariete, dando un sobrepresión de 2,29 mca en el sistema, como se puede apreciar en las siguientes tablas:



Por otra parte se tiene que realizar el dimensionamiento de la canastilla que se encuentra dentro de la cámara húmeda como se puede apreciar en la ilustración 2. Las medidas de la canastilla, además del tamaño de los orificios se pueden apreciar en la siguiente ilustración:



*Ilustración 13. Medidas de canastilla para captación. Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2004.*

Esto se realiza a partir de las recomendaciones de la guía de diseño y construcción de captación de manantiales con sus respectivas fórmulas y recomendaciones explicadas en el marco teórico. Las ecuaciones utilizadas para el dimensionamiento del mismo serían la ecuación 9 y la ecuación 10 dando como resultados:

<b>Dimensionamiento de la canastilla</b>	
Diámetro tubería conducción	17,07
Área tubería de conducción	228,85
Longitud de la canastilla	68,28
Área total de ranuras	457,71
Área de ranuras	35
N° ranuras	14

*Tabla 55. Dimensionamiento de canastilla de cámara húmeda*

Para finalizar, por medio de la Guía para el diseño y construcción de manantiales en la cual se resalta la ecuación 11 del marco teórico, se calcula el diámetro necesario para la tubería de limpia para esta captación. Se debe tomar en cuenta que el gasto máximo de la fuente sale de la tabla de aforamiento en la cual se indica el caudal entregado por la misma. Además de que se utiliza la variable de pérdida de carga unitaria, la cual se obtiene en este caso por medio de la columna de agua que tiene la cámara húmeda contando a partir de la canastilla que es el lugar de succión entre la longitud efectiva de la tubería la cual descargará hacia la atmósfera contando la distancia de tubería efectiva y la longitud de la válvula de

compuerta. Al tener esto, se puede utilizar la ecuación 11 para determinar el diámetro necesario y con el resultado se escogió la tubería comercial que cumple o es mayor a la necesaria, en este caso de 2 pulgadas. En la siguiente tabla se muestra el cálculo de lo anteriormente explicado:

Tubería de rebose		
Altura de cámara húmeda	0,64	metros
Longitud de tubería de rebose	5	metros
Longitud de canastilla	0,06828	metros
Longitud de válvula de compuerta	0,03	metros
Longitud total de tubería	5,09828	metros
Gasto máximo de la fuente (Q)	3,59	L/s
Pérdida de carga unitaria (S)	0,12543109	m/m
Diámetro en pulgadas	1,78529771	in
Diámetro comercial utilizado	2	in

*Tabla 56. Cálculo de tubería de rebose para la captación*

### 4.3 Sistema de desinfección

#### 4.3.1 Calidad del agua

Primeramente, como se refirió en las limitaciones, por cuestiones presupuestarias solo se pudo hacer el examen básico, nivel primero, el cual proporciona las características más importantes a la hora de seleccionar un sistema de desinfección. La prueba llevada al laboratorio se decidió hacer desde un punto de consumo siendo este el más importante porque es el del cual consumen los habitantes. Los resultados del análisis dan los siguientes resultados:

RESULTADOS ANALITICOS						
Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	PNT	Lim Cuantif/ Detec (#)
<b>Parámetros Organolépticos</b>						
Olor	Aceptable		-		IT-397 SM 2150 B/2170 B Ed 23	0,00
<b>Parámetros Físico-Químicos</b>						
Cloro Residual Combinado	No Aplica	mg/L	-		PT-24 SM 4500 G Ed 23	0,10 mg/L
Cloro Residual Libre	< 0,10	mg/L	-		PT-24 SM 4500 G Ed 23	0,10 mg/L
Color Aparente	5,00	U Pt-Co	±0,22		PT-58 SM 2120 B Ed 23	0,00 U Pt-Co
Conductividad Eléctrica	173	µS/cm a 25 °C	±2,94		PT-07 SM 2510 B Ed 23	0,06 µS/cm a 25 °C
pH	7,76	Unidades de pH	±0,10		PT-08 SM 4500 B Ed 23	1,00 Unidades de pH
Temperatura	19,4	°C	±1,3		PT-15 SM 2550 B Ed 23	4,0 °C
Turbidez	0,95	NTU	±0,08		PT-20 SM 2130 B Ed 23	0,20 NTU
<b>Microbiología</b>						
Coliformes Fecales	1,00 x 10 <sup>1</sup>	NMP/100 mL	±5%		SM 9223 Ed 23 (Colilert-18 / Colisure)	1,00 NMP/100 mL
Escherichia Coli	< 1,00 x 10 <sup>1</sup>	NMP/100 mL	-		SM 9223 Ed 23 (Colilert-18 / Colisure)	1,00 x 10 <sup>1</sup> NMP/100 mL

*Tabla 57. Resultados de la calidad del agua de un punto de consumo del sistema*

Al obtener los resultados de los distintos parámetros se requieren comparar los mismos contra los valores admisibles que impone la normativa correspondiente. Estos valores admisibles se obtienen en las tablas que se encuentran en los anexos del Reglamento para la Calidad del Agua Potable, decreto 38924-S, y las tablas requeridas para hacer la comparación serían las siguientes:

Parámetros de aceptabilidad	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
pH <sup>(a)</sup>	Valor pH	6,0	8,0
Cloro residual libre <sup>(a)</sup>	mg/L	0,3	0,6 <sup>(b)(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Para los parámetros de pH y cloro residual libre, se establece rangos permisibles y no VA ni VMA.

<sup>(b)</sup> Se permitirá valor máximo de cloro residual libre de 0,8 mg / L en no más del 20 % de las muestras medidas.

<sup>(c)</sup> En situaciones de emergencia calificadas como tal por el Ministerio de Salud se permitirá una concentración de cloro residual libre de 0,8 mg/L en los puntos de muestreo medidos en la red de distribución.

Tabla 58. Parámetros de calidad del agua del Control Operativo. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015.

PARAMETRO	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Color aparente	U-Pt-Co	< 5	15 <sup>(c)</sup>
Conductividad	μS/cm	400	-
	UFC/100 ml		
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml o UFC/100 ml	No detectable <sup>(c)</sup>	No detectable <sup>(c)</sup>
Cloro residual libre <sup>(a)</sup>	mg/L	0,3	0,6 <sup>(d*)</sup>
Cloro residual combinado <sup>(a)(b)</sup>	mg/L	1,0	1,8

<sup>(a)</sup> Para los parámetros de pH, temperatura, cloro residual libre y cloro residual combinado, se establece rangos permisibles y no VA ni VMA.

<sup>(b)</sup> Sólo en el caso que el residual del cloro se encuentre en forma combinada o se esté dosificando cloro en la forma de cloramina (cloro-amoniaco).

<sup>(c)</sup> No detectable (N.D.): de acuerdo al limite de detección del Método.

<sup>(d)</sup> Se permitirá valor máximo de cloro residual libre de 0,8 mg / L en no más del 20 % de las muestras medidas.

<sup>(e)</sup> En situaciones de emergencia calificadas como tal por el Ministerio de Salud se permitirá una concentración de cloro residual libre de 0,8 mg/L en los puntos de muestreo medidos en la red de distribución

Tabla 59. Parámetros de calidad del agua Nivel primero. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015.

Al tener los parámetros y resultados es posible hacer la comparación para interpretar la calidad del recurso hídrico que actualmente se consume. Para empezar, se puede apreciar en el apartado de turbidez que al tener un resultado de 0,95 se encuentra por debajo del valor de alerta. Posteriormente, se cumple con el apartado del olor ya que este debe ser aceptable y es lo que se obtuvo como resultado. El pH tiene un valor de 7,76 situándose entre el rango de alerta y el valor máximo admisible. El cloro residual libre al ser agua cruda se encuentra por debajo del valor de alerta.

Continuando, el color aparente se puede encontrar por debajo o por arriba del valor de alerta ya que se obtuvo un valor de 5 pero con una incertidumbre de  $\pm 0,22$ . La conductividad, aunque en este caso no es muy representativa, está por debajo del valor de

alerta. Por último, los coliformes fecales, en específico la *Escherichia coli* está arriba del valor máximo admisible y es necesario crear una solución para este apartado.

Estos parámetros se pueden interpretar por medio del Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el cual permite clasificar la gravedad del incumplimiento de los distintos parámetros de calidad establecidos en el Decreto Ejecutivo 38924-S. A estos parámetros se les asigna un puntaje si sobrepasan el valor máximo admisible (VMA), permitiendo determinar si el agua suministrada es potable o no. Los niveles de riesgo según este índice son los siguientes:

Clasificación IRCACH	Nivel de riesgo	Código de colores	Calidad del agua	Acciones y recomendaciones
$x \leq 5$	Riesgo muy bajo (RMB)	Azul	Apta para ingesta	Continuar suministro de manera normal, continuar control o vigilancia de la calidad del agua.
$5 < x \leq 10$	Riesgo bajo (RB)	Verde	Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad	Continuar suministro, implementar o mejorar control de la calidad del agua.
$10 < x \leq 20$	Riesgo intermedio (RI)	Amarillo	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas.	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química.
$20 < x \leq 30$	Riesgo alto (RA)	Naranja	No apta para ingesta	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química y/o el Procedimiento de Inspecciones Ordinarias.
$x > 30$	Riesgo muy alto (RMA)	Rojo	No apta para ingesta	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, Procedimiento de Inspecciones Ordinarias, Procedimiento de Inspección para Emergencias de Brotes y/o el Procedimiento de Inspección para Emergencias Químicas.

*Tabla 60. Clasificación del riesgo de la calidad del agua. Fuente: Interpretación de análisis de agua potable para la gestión comunitaria en las asadas.*

Para conseguir el puntaje de la clasificación de riesgo se hace uso de la siguiente tabla, la cual fue sustraída de la revista del AyA llamada Interpretación de análisis de agua potable para la gestión comunitaria en las asadas al igual que la tabla 50:

Parámetros	Valor Máximo Admisible	Ámbito	Puntaje asignado	Ámbito	Puntaje asignado
Aluminio ( $\mu\text{g/L}$ )	200,0	$200,0 < x \leq 400,0$	3	$x > 900,0$	31
		$400,0 < x \leq 900,0$	6		
Amonio ( $\text{mg/L}$ )	0,50	$x > 0,50$	3	-	-
Calcio ( $\text{mg/L}$ )	100,0	$x > 100,0$	4	-	-
Cloro Residual ( $\text{mg/L}$ ) (1) (2)	0,30 – 0,60	$x > 1,00$	3	$x < 0,30$	6
Cloruros ( $\text{mg/L}$ )	250,00	$x > 250,00$	1	-	-
Cobre ( $\mu\text{g/L}$ )	2000,0	$x > 2000,0$	21	-	-
Coliformes fecales /100 mL	$< 1 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$	$\geq 1 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$	25	-	-
Sistemas Clorados (3) (4)	$< 1 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$	$\geq \text{UFC}/100 \text{ mL}$			
Coliformes fecales /100 mL	$< 1 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$	$\geq 1 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$	21	-	-
Sistemas No Clorados (3) (4)	$< 1 \text{ UFC}/100 \text{ mL}$	$\geq \text{UFC}/100 \text{ mL}$			
Color aparente (UPt-Co)	15	$15 < x \leq 30$	4	$x > 30$	11
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	400	$400 < x < 1000$	3	$x \geq 1000$	21
Dureza total ( $\text{mg/L}$ )	400	$x > 400$	4	-	-
Fluoruros ( $\text{mg/L}$ )	1,50	$1,50 < x \leq 2,00$	6	$x > 2,00$	21
Hierro ( $\mu\text{g/L}$ ) + Manganeso ( $\mu\text{g/L}$ ) (5)	300,0	$300,0 < x \leq 500,0$	8	$x > 500,0$	11
Magnesio ( $\text{mg/L}$ )	50,0	$x > 50,0$	4	-	-
Olor (6)	Aceptable	Aceptable	11	-	-
pH (1)	6,00 – 8,00	$5,50 \leq x < 6,00$ o $8,00 < x \leq 8,50$	1	$x < 4,00$	11
		$x > 8,50$ o $4,00 \leq x < 5,50$	6		
Potasio ( $\text{mg/L}$ )	10,0	$x > 10,0$	1	-	-
Selenio ( $\mu\text{g/L}$ )	10,00	$10,00 < x \leq 40,00$	6	$x > 40,00$	31

*Tabla 61. Puntaje de cada parámetro examinado para calculo del índice de riesgo de la calidad del agua. Fuente: Interpretación de análisis de agua potable para la gestión comunitaria en las asadas*

Por lo tanto, a partir de las tablas anteriores y del análisis de los parámetros se puede observar que todos los parámetros a excepción de uno, cumplen con los límites establecidos. Pero se debe apreciar que el parámetro de coliformes fecales para sistemas no clorados tiene un puntaje de 21, por lo tanto representa un riesgo alto, según la tabla 50, por lo tanto se menciona que no es apta para la ingesta y se deben tomar acciones correctivas para bajar el valor hasta parámetros permisibles por la ley para que sea apta para el consumo.

### 4.3.2 Selección de sistema

Inicialmente, al tener evaluada la calidad del agua por medio del examen físico químico mostrado anteriormente, se puede observar que el problema principal que tiene es la cantidad registrada de coliformes fecales ya que debería no ser detectable. Por lo tanto, con ayuda de la Guía de selección del sistema de desinfección se dispondrá a seleccionar el sistema que mejor se adapte a las características del sistema.

La guía nos explica que el proceso de desinfección es el último proceso y el más importante para el tratamiento de agua ya que es la única forma de garantizar la eliminación de microorganismos patógenos en el agua que puede dañar la salud de las personas. Como se menciona en el marco teórico, las características que deben tener los métodos de desinfección para ser aplicables en ámbito rural, serían:

- Rápido y efectivo.
- Fácilmente soluble y capaz de proveer una acción residual.
- Que no afecte color y sabor del agua.
- Fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar.

Bajo estas características el cloro es uno de los métodos que más se aplican en el área rural. Como se mencionó en el apartado de cloración, las familias de cloro disponibles para el sistema serían cal clorada o hipoclorito de calcio. Tomando en cuenta que sería mejor utilizar hipoclorito de calcio ya que en la comparación de la tabla 7 la estabilidad en el tiempo del producto es buena en comparación a la de la cal clorada que es media ya que se ve afectada por temperatura, humedad y luz solar.

Por otra parte, con ayuda de la tabla 9, al ver que la población es muy pequeña se pueden identificar que los equipos disponibles para el acueducto serían dosificadores por erosión o si es posible encontrar otro tipo de dosificadores que trabajen por flujo de difusión. Los dosificadores por erosión trabajan con tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas e individuales como se presenta en este caso. Estos equipos van disolviendo gradualmente las tabletas a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua por ellas y se reemplazan con otras nuevas que van cayendo por gravedad en la cámara. La solución de cloro concentrada alimenta un tanque o

canal abierto según sea el caso. La ventaja y desventaja que presenta este equipo sería la siguiente:

Clasificación	Equipo dosificador	Ventajas	Desventajas
Sólido	Dosificador de erosión	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	Costo intermedio. Errores de dosificación alrededor de 10%. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas (si se producen localmente) tienen a adherirse o a formar cavernas y no caen en la cámara de disolución.

*Tabla 62. Ventaja y desventaja de los equipos dosificadores por erosión. Fuente: Guía para la Selección de sistema de desinfección, 2007.*

Analizando la información anterior, se decide buscar un dosificador por tabletas que se ajuste a nuestro sistema. Bajo la empresa G&R Hidromedicación se cotiza un sistema de cloración que trabaja bajo los principios de erosión de tabletas.



*Ilustración 14. Sistema Accu-Tab 3012 con tambor de tabletas y flujómetro. Fuente: G&R Hidromedicación*

Este sistema viene en distintos tamaños según los flujos a utilizar, en este caso se utiliza el modelo 3012 que trabaja con flujos de 1 a 7,5 lpm. El sistema trabaja con tabletas de 3 pulgadas de hipoclorito de calcio con 68% de concentración y de disolución lenta.



*Ilustración 15. Tambor de pastillas ACCUTAB 68% 25Kg 78 pastillas.*

El funcionamiento del dispositivo se explica a continuación:

1. La corriente fluye paralela hacia el clorador.
2. Las tabletas Accu-tab reposan sobre la cara superior de la placa perforada en el interior del clorador.
3. El flujo de agua de entrada al clorador se ajusta para controlar el suministro de cloro.
4. El agua no tratada sube a través de los orificios de la placa entrando en contacto con la parte inferior de las tabletas. El resto permanece seco.
5. El agua regresa al sistema con la cantidad adecuada de cloro.
6. El flujo de agua se integra a la corriente principal de agua y continúa su distribución.



*Ilustración 16. Pasos realizados por el dosificador por erosión Accu Tab 3012*

### 4.3.2 Tanque de almacenamiento complementario

Al seleccionar un dosificador por erosión como método de desinfección, se debe resaltar que esta tecnología tiene el inconveniente de que no puede controlarse ni el tiempo de exposición ni la concentración de cloro. Debido a esto, se decide implementar después del equipo de desinfección y antes del tanque de almacenamiento un tanque complementario, el cual me va a permitir obtener un tiempo de estanqueidad de 30 minutos, el cual es el mínimo recomendado para evitar concentraciones de cloro en el agua y más bien permitir una estabilidad de la misma antes de ser enviada a los diferentes puntos de consumo. En este caso se toma en cuenta en cuenta el caudal de diseño, además de los 30 minutos que debe tardar el tanque en llenarse. En la siguiente tabla se puede observar el calculo del volumen necesario para este tanque complementario:

Tanque complementario		
Q	0,245	L/s
t (30 minutos)	1800	s
Volumen requerido	441	L

*Tabla 63. Tanque complementario para estanqueidad de 30 minutos*

Como se puede apreciar en la tabla anterior el volumen del tanque requerido es de 441 L por lo que se escoge un tanque de 450 L de volumen para el diseño. Igualmente se debe considerar en su construcción que la entrada se encuentra en la parte inferior del tanque y la salida de la tubería se ubicaría del otro lado en la parte superior del tanque, así que cuando se llene el mismo permita pasar el flujo al almacenamiento para su posterior distribución.

## 4.5 Cumplimiento legal del acueducto

### 4.5.1 Trámites en SETENA

Como se mencionó en la sección 2.8 del marco teórico, que trata de los trámites necesarios para el cumplimiento legal, en el Reglamento para la Perforación de Pozos y Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, se explica que la Dirección de Agua funcionará como ventanilla única, quien da admisibilidad a la solicitud y resolverá el permiso. Al reconocer esto, primero se necesita obtener los requisitos necesarios para la admisión de la

solicitud. El primer requisito que se debe cumplir, en apego al artículo 17 de la Ley Orgánica del Ambiente N°7554, es el análisis de viabilidad ambiental llevado a cabo por el SETENA.

Primeramente, se necesita identificar el tipo de trámite que se debe hacer que se ajuste al sistema diseñado ya que SETENA divide desde D1 hasta D6 los distintos trámites que se deben llevar a cabo. Estos se dividen en:

- D1: para proyectos de moderado y alto impacto.
- D2: para proyectos de bajo impacto ambiental potencial.
- D3: para proyectos del Estado
- D5: para proyectos de acuicultura marina
- D6: para los proyectos e instalaciones de torres de telecomunicaciones.

Lo primero que se debe tomar en cuenta para la selección del trámite a realizar es la categoría de la actividad de acuerdo al número CIU que el mismo lo clasifica conforme al Código Internacional Industrial Uniforme de las actividades productivas aunque el listado de actividades se encuentra en el Anexo 2 del Decreto Ejecutivo N°31849-MINAE-MOP-MAG-MEIC. Haciendo la consulta pertinente al SETENA para encontrar la categoría de actividad que se adapte al sistema, el DE-31849 señala en la tabla a continuación los rubros necesarios para tomar la decisión. Teniendo en cuenta que la fuente es de tipo subterránea al ser de naciente y tomando en cuenta que el caudal de diseño es de  $21,168 \text{ m}^3/\text{día}$ . Se aprecia que el tipo de actividad a realizar sería B2.

	Descripción de la Actividad	CIU 3	A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C
	Trasvase de aguas y modificación de cauces	4100	Todas			
41. Captación, depuración y distribución de agua	Aprovechamiento (concesión) de aguas superficiales, si no forma parte integral de un proyecto. <i>(Nota de Sinalevi: Esta descripción fue anteriormente derogada por el artículo 14 del Decreto Ejecutivo N° 32734 del 09 de agosto de 2005, mismo que fue anulado mediante <a href="#">resolución de la Sala Constitucional N° 2019, del 11 de febrero de 2009</a>, razón por la que se reestablece el estado vigente de dicha descripción, existente antes de la derogación).</i>		mayor que  200 m <sup>3</sup> /día	de 50 hasta  200 m <sup>3</sup> /día	de 5 hasta 50  200 m <sup>3</sup> /día	de 0 hasta  5 m <sup>3</sup> /día

	<p>Aprovechamiento (concesión) de aguas subterráneas, si no forma parte integral de un proyecto.          (Nota de Sinalevi: Esta descripción fue anteriormente derogada por el artículo 14 del Decreto Ejecutivo N° 32734 del 09 de agosto de 2005, mismo que fue anulado mediante <a href="#">resolución de la Sala Constitucional N° 2019, del 11 de febrero de 2009</a>, razón por la que se reestablece el estado vigente de dicha descripción, existente antes de la derogación).</p>		<p>mayor que  200 m<sup>3</sup>/día</p>	<p>de 50 hasta  200 m<sup>3</sup>/día</p>	<p>de 5 hasta 50  200 m<sup>3</sup>/día</p>	<p>de 0 hasta  5 m<sup>3</sup>/día</p>
--	---	--	---	---	---	--

Tabla 64. Parámetros para la escogencia del número CIU por medio del DE-31849. Fuente: SETENA

Al obtener una actividad que se cataloga con una significancia ambiental tipo B2, el Setena asigna el formulario tipo D1, para proyectos de moderado y alto impacto ambiental, junto con una declaración jurada de Compromisos Ambientales. En el anexo 5 se puede observar los requisitos necesarios a llenar en el formulario, en el cual se explica el nombre de actividad, provincia, cantón, medida de finca, plano catastrado, etc.

#### 4.5.2 Trámite en Dirección de Agua

Para iniciar, como se mencionó en la sección 2.8.1 del marco teórico, se debe tener en cuenta que al presentar el formulario se deben tener los siguientes requisitos para que la solicitud sea recibida:

- Certificación literal de propiedad (registral o notarial) del terreno en que se aprovechará el agua, con menos de tres meses de expedida. Excepciones son las Sociedades de Usuarios de Agua, Municipalidades y la ESPH, cuando la soliciten para abastecimiento poblacional.
- Si el solicitante es una persona jurídica deberá presentar el certificado de personería jurídica.
- Plano catastrado legible, en que se marque la toma el cual ya lo debimos presentar y tener para el análisis de viabilidad ambiental.(Ley de Aguas, artículo 78 inciso h, Decreto 35884-MINAE)
- Viabilidad ambiental de SETENA la cual fue evaluada en el apartado anterior.

- Se deberá estar al día con las obligaciones fiscales ante el Ministerio de Hacienda.

Igualmente que al ser agua para consumo poblacional se deberá presentar o de autoabastecimiento en condominio deberá presentarse el reporte del análisis microbiológicos y físico-químicos de la calidad del agua en concordancia con los parámetros establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua con los parámetros en nivel de control de calidad N1, N2, N3.

Además de que se debe tomar en cuenta el punto D de los requisitos especiales el cual explica que si la captación esta en la finca de un propietario y el agua se aprovechará en la finca de otro propietario se debe aportar documento con la anuencia del propietario de la finca donde se esta perforando con la firma autenticada del propietario, con la respectiva certificación literal de la propiedad, certificación de Personería Jurídica y plano catastrado de donde se marque el pozo. En el Anexo 6 se especifica el formulario a rellenar que se debe presentar junto con los requisitos mencionados en los cuales se llenan los datos del solicitante, los usos que se le darán al agua captada y una explicación del tipo de toma, en este caso naciente, con caudal solicitado su latitud, longitud y el nombre del propietario donde se capta el agua.

#### **4.5.3 Conformación legal de ASADA**

Inicialmente, se debe mencionar que esta la necesidad legal de la creación de una Asociación Administradora del Acueducto Comunal (ASADA) para la realización de todos los trámites requeridos por la ley. Cabe destacar que para la conformación legal de ASADAS nos apoyamos en lo estipulado en el Reglamento a la Ley de Asociaciones y del Reglamento de Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales. Es importante saber que el Ministro de Justicia por medio del Departamento de Asociaciones del Registro de Personas Jurídicas del Registro Nacional autorizan el funcionamiento y la correspondiente inscripción de las asociaciones, el cual la inscripción en el Registro Nacional, sería el primer paso. Después la asociación contará con un plazo de tres meses a partir de la inscripción en el Registro Nacional para la solicitud de firma de convenio de delegación para la prestación de servicios de acueductos y saneamientos. En el cual es necesario que la junta directiva de la ASADA tome el acuerdo que autoriza a su presidente

para que solicite, trámite y firme ante el AyA el convenio de delegación necesario con la solicitud del trámite, el acuerdo de la junta directiva protocolizado, certificación jurídica con no más de un mes de emitida y la fotocopia certificada del acta constitutiva de la asociación. Luego, se cuenta con un plazo de quince días hábiles a partir de recibida la documentación completa, para que la Dirección Jurídica emita el visto bueno de los estatutos

## 4.6 Mantenimiento del sistema

### 4.6.1 Plan de mantenimiento para control de calidad del agua

Primeramente, se debe seguir un control de la calidad del agua para detectar cualquier anomalía. Por lo tanto, con ayuda de los parámetros fijados en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, se debe realizar un muestreo con una frecuencia adecuada al número de personas que utilizan el recurso hídrico. Los parámetros que se estudiarán para los niveles serán los siguientes:

Cuadro A. Niveles de Control y Parámetros

Parámetros a incluir	Control Operativo (CO)	Nivel Primero (N1)	Nivel Segundo (N2)	Nivel Tercero (N3)
<b>A. Físicoquímicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Turbiedad</li> <li>•Olor <sup>(a)</sup></li> <li>•Sabor <sup>(a)</sup></li> <li>•Cloro residual libre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Color aparente</li> <li>•Turbiedad</li> <li>•Olor <sup>(a)</sup></li> <li>•Sabor <sup>(a)</sup></li> <li>•Temperatura <sup>(b)</sup></li> <li>•pH</li> <li>•Conductividad</li> <li>•Cloro residual libre</li> <li>•Cloro residual combinado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aluminio</li> <li>•Calcio</li> <li>•Cloruro</li> <li>•Cobre</li> <li>•Dureza Total</li> <li>•Fluoruro</li> <li>•Hierro</li> <li>•Magnesio</li> <li>•Manganeso</li> <li>•Nitrito</li> <li>•Plomo</li> <li>•Potasio</li> <li>•Sodio (Na<sup>+</sup>)</li> <li>•Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)</li> <li>•Zinc (Zn)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Amonio</li> <li>•Antimonio</li> <li>•Arsénico</li> <li>•Cadmio</li> <li>•Cianuro</li> <li>•Cromo</li> <li>•Mercurio</li> <li>•Niquel</li> <li>•Nitrito</li> <li>•Selenio</li> </ul>
<b>B. Microbiológicos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Coliforme fecal</li> <li>•E. Coli</li> </ul>		

Tabla 65. Niveles de control y parámetros de calidad del agua. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015.

Por otra parte, para la frecuencia para el muestreo del control operativo sería la siguiente tomando en cuenta que nuestra población proyectada sería aproximadamente de 54 habitantes y las pruebas irían directamente a la fuente de abastecimiento y red de distribución:

## CONTROL OPERATIVO (CO)

Población abastecida (habitantes)	FUENTES DE ABASTECIMIENTO		RED DISTRIBUCION	
	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras
< 2000	Mensual	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Mensual	1

Tabla 66. Frecuencia mínima de muestreo para el control operativo del acueducto. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015.

Por otra parte, para el control del nivel primero, se toma en cuenta igualmente la población proyectada y los muestreos en este caso deben recolectarse en la fuente de abastecimiento, tanques de almacenamiento y red de distribución:

Población abastecida (habitantes)	Fuentes de abastecimiento (a) (b)		Tanques de almacenamiento (a)		Red de distribución (a) (b)		Total de muestras mínimas por año (c)
	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras	
< 5.000	Semestral	1 en cada fuente	Semestral	1 en cada tanque	Semestral	3	10

Tabla 67. Frecuencia mínima de muestreo para el control nivel primero del acueducto. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015.

Finalmente el muestreo para los niveles N2 y N3 para una población menor a 5000 habitantes los muestreos en la fuente de abastecimiento y red de distribución tendrían una frecuencia de control cada 3 años como se puede ver en la siguiente tabla:

Población abastecida (habitantes)	Fuentes de abastecimiento		Red de distribución	
	Frecuencia	N° muestras	Frecuencia	N° muestras
< 5000	Cada 3 años	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Cada 3 años	1

Tabla 68. Frecuencia mínima de muestreo para el control de niveles N2 y N3 del acueducto. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015.

Por lo tanto, haciendo un resumen de lo anterior y teniendo en cuenta la población que utiliza el recurso hídrico se explica en la siguiente tabla la cantidad de análisis que deben ser realizados por parte de un laboratorio en un periodo de 6 meses:

<b>&lt; 5000 Habitantes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Análisis físico-químico del Nivel Primero (N1) en la fuente de abastecimiento.</li> <li>• 1 Análisis microbiológico del Nivel Primero (N1) en la fuente abastecimiento, tanque almacenamiento y en la red distribución.</li> <li>• Cada tres años: 1 Análisis químico del Nivel Segundo (N2) y del Nivel Tercero (N3) en la</li> </ul>

Tabla 69. Cantidad y tipos de análisis de calidad del agua en un periodo de seis meses. Fuente: Decreto-38924. Reglamento para la Calidad de Agua Potable, 2015.

Con base en las tablas anteriores (58,59,60,61), el plan de mantenimiento para mantener la calidad del agua se establece de la siguiente manera:

<b>Mantenimiento Preventivo para mantener la calidad del agua potable</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Explicación de lugar de muestreo y número de muestras</b>
Muestreo de control operativo (CO)	1 vez al mes	Se debe tomar una muestra en la toma o fuente de abastecimiento y una muestra l final de la línea de distribución. <b>En total 2 muestras mensuales.</b>
Muestreo de control nivel primero (N1)	1 vez cada 6 meses	Se debe realizar un muestreo para la fuente de abastecimiento, un muestreo en el tanque de almacenamiento y tres muestras en distintos puntos de consumo de la red de distribución. <b>En total se deben realizar 5 muestras cada 6 meses para el control N1.</b>
Muestreo de control nivel segundo (N2) y nivel tercero (N3)	1 vez cada 3 años	Se debe recolectar una muestra de la fuente de abastecimiento y otra muestra en la línea de distribución de la fuente. Por lo tanto, <b>en total se deben realizar 2 muestras cada 3 años para los controles N2 y N3.</b>

Tabla 70. Detalle de muestreo para mantener la calidad del agua potable.

#### **4.6.2 Plan de mantenimiento para la Captación**

Como se mencionó en el apartado de mantenimiento preventivo de este trabajo, con apoyo del Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua, publicado en la gaceta N°.154, se explicará a través de las tablas las actividades a realizar necesarias para mantener el acueducto en buen estado, basándose en la tabla 17 de este trabajo, la cual se volverá a mostrar a continuación junto con una pequeña explicación de lo necesario en cada actividad:

<b>Mant. Preventivo de Captación de manantiales</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Trabajo a realizar</b>	<b>Explicación de actividades</b>
CM-1	1 mes	Aforo de captaciones	Consiste en determinar el caudal que produce la naciente, así como la cantidad realmente aprovechada en el sistema de abastecimiento, para el control del sistema y la identificación de variaciones en la producción o el consumo del agua. Dependiendo de las condiciones y facilidades, el aforo puede ser ejecutado en la misma caja de captación o bien utilizar un tanque de almacenamiento.
CM-2	2 meses	Remoción de sedimentos y desinfección de estructuras	Consiste en el cierre de la válvula de salida de la captación y la apertura de la válvula de limpieza. Si el material sedimentado no se elimina por completo, es necesario ingresar a la estructura con el fin de remover manualmente el remanente, aprovechar para lavar losas y paredes interiores con una solución de hipoclorito de sodio, eliminando suciedades y desperdicios
CM-3	2 meses	Revisión de válvulas y obras accesorias	Debe verificarse el adecuado estado de las válvulas, verificando el número de vueltas para abrir y/o cerrar, así como la facilidad para su manipulación. De detectarse anomalías en su funcionamiento, deberá revisarse el sistema de prensa-estopas, engrases, lubricación y la no existencia de sedimentos en el asiento. Debe inspeccionarse el estado de cajas y bocas de registro, tuberías y canales de limpieza, rebose, salida y pasos directos.
CM-4	3 meses	Limpieza de las captaciones	Se refiere a la extracción manual de materiales extraños tales como raíces, hojas u otros, dentro de las estructuras. Lavar losas y paredes interiores con una solución de hipoclorito de sodio, eliminando suciedades y desperdicios. Esta actividad es complementaria a la CM-2.
CM-5	3 meses	Limpieza de instalaciones e inspección de obras complementarias	Esta actividad, aplicable a todas las áreas en que se ubican las unidades de tratamiento, consiste en mantener en condiciones óptimas las zonas verdes. Esta actividad incluye la reparación de cercas o mallas para demarcar y proteger las instalaciones, pintura anticorrosiva en elementos metálicos (esto cuando su estado lo amerite) y el acondicionamiento de los caminos de acceso a la obra.
CM-6	6 meses	Inspección de captación y área adyacente	Debe revisarse el costado de drenajes de aguas superficiales, garantizando que estas sean evacuadas a sitios seguros, de manera de evitar potenciales deslizamientos sobre la estructura. De igual forma debe inspeccionarse las obras de concreto, para detectar fisuras o hendiduras que tomen factible el deterioro de la estructura y la calidad del agua. Inspeccionando que no haya presencia de letrinas o drenajes cerca de la captación
CM-7	12 meses	Reacondicionamiento general de la obra	Esta actividad incluye todas aquellas acciones tendientes a inducir mejoras en el estado y funcionamiento de la captación, como pintar las partes metálicas de la estructura, reparación de repellos y eliminar grietas en muros y losas de concreto.
CM-8	60 meses	Reconstrucción de la estructura	Esta actividad debe efectuarse de acuerdo con el estado y circunstancias de cada obra. Consiste en restaurar integralmente la captación y hasta donde sea posible, llevarla al inicio de un nuevo ciclo de operación en condiciones óptimas. De ser necesario, se debe llegar a la demolición total o parcial de lo construido, con la reposición de cajas, válvulas, sustitución u readecuación de drenajes.

*Tabla 71. Detalle de actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para la captación basado en tabla 17.*

### 4.6.3 Plan de mantenimiento para la Línea de Conducción

El artículo 53 del Reglamento mencionado anteriormente, explica la frecuencia de las actividades y en la tabla que se mostrará a continuación, basándose en la tabla 19 de este trabajo se explica a fondo las actividades que se tiene que llevar a cabo con cada trabajo a realizar:

<b>Mant. Preventivo de obra de conducción</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Trabajo a realizar</b>	<b>Explicación de actividades</b>
OC-1	3 meses	Limpieza de la servidumbre de paso de las líneas de	Limpieza de la servidumbre de paso de las líneas de conducción. Consiste básicamente en la eliminación de la maleza, en una franja de un metro y medio (1.5 m) de ancho a cada lado de la línea de conducción. Adicionalmente limpiar la superficie e interior de las cajas de válvulas.
OC-2	3 meses	Mantenimiento de válvulas y limpieza de línea de conducción.	La disminución del caudal se presenta por obstrucciones producidas por la presencia de aire o sedimentos, por lo que deberá verificarse la adecuada operación de las válvulas de expulsión de aire. En el caso de obstrucciones por sedimentos, se deben abrir las válvulas de limpieza por varios minutos.
OC-3	3 meses	Limpieza de instalaciones e inspección de obras complementarias	Consiste en mantener en condiciones óptimas las zonas verdes. Esta actividad incluye la reparación de cercas o mallas para demarcar y proteger las instalaciones, pintura anticorrosiva en elementos metálicos y el acondicionamiento de los caminos de acceso a la obra.
OC-4	12 meses	Inspección y mantenimiento general	En esta actividad se deben detectar tallas potenciales, que puedan aumentar la vulnerabilidad de la estructura. Comprende los siguientes aspectos: Sobre presiones en la tubería, Fallas de anclaje, Erosión y deslizamiento en el área de influencia de la línea de conducción.
OC-5	60 meses	Reposición de válvulas, y tuberías dañadas	Se refiere a la reconstrucción de la línea de conducción y elementos complementarios, sustituyendo o relocalizando válvulas y la tubería cuando así se amerite. El objetivo de esta actividad es restaurar la obra de conducción a condiciones similares a las originales. También incluye pintura anticorrosiva de las partes metálicas.

*Tabla 72. Detalle de actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para la obras de conducción basado en tabla 19*

#### **4.6.4 Plan de mantenimiento para Equipo de Desinfección**

El artículo 70 del Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento del Agua, explica acerca de los dosificadores, los cuales se dividen en seco o por solución. Los que trabajan en seco se refieren a que agregan el producto en polvo o en forma granular al agua. Los dosificadores por solución trabajan por la determinación y regulación de la dosis a aplicar con el coagulante en solución.

Debido a esto se decide a tomar el plan de mantenimiento de dosificadores en seco ya que utilizan el polvo comprimido en tableta y se asemeja más que a los que se utilizan por solución líquida ya que esta solo se presenta en la familia de los hipocloritos de sodio y el equipo utiliza hipoclorito de calcio. Con base en la tabla 21, el mantenimiento de los equipos de dosificadores en seco se toma la decisión de no adaptar ese plan de mantenimiento ya que esta muy alejado del funcionamiento del dosificador.

Por lo tanto se decide que si se llega a implementar se debe seguir el plan de mantenimiento asignado por el fabricante. Aunque mediante el funcionamiento se puede resaltar que se debe tomar en cuenta que los dos principales mantenimientos serían los siguientes:

- La recarga de las pastillas de hipoclorito de calcio según el tiempo que dure la primera carga
- El lavado de los restos de las tabletas que puedan quedar en los orificios donde está el contacto entre el agua y las tabletas.

#### **4.6.5 Plan de mantenimiento para el Tanque de Almacenamiento**

A continuación, se explica a profundidad las actividades a realizar del plan de mantenimiento para el tanque de almacenamiento siguiendo los lineamientos del Reglamento de Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento y basándonos en la tabla 23 del marco teórico:

<b>Mant. Preventivo de Tanques de Almacenamiento</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Trabajo a realizar</b>	<b>Explicación de actividades</b>
TA-1	3 meses	Limpieza de instalaciones e inspección de obras complementarias	Consiste en mantener en condiciones óptimas las zonas verdes. Esta actividad incluye la reparación de cercas o mallas para demarcar y proteger las instalaciones, pintura anticorrosiva en elementos metálicos y el acondicionamiento de los caminos de acceso a la obra.
TA-2	6 meses	Limpieza de sedimentos sin ingresar al interior	Esta actividad se refiere a la remoción de sedimentos con la apertura de la válvula de limpieza, sin necesidad de que una persona se introduzca en el interior del tanque. Esta modalidad de limpieza de sedimentos no requiere de una desinfección como complemento, ni tampoco implica necesariamente interrumpir el servicio de agua a la población
TA-3	12 meses	Limpieza, desinfección y revisión de válvulas.	Esta actividad requiere el ingreso de personal (con equipo de protección) al interior de la estructura para eliminar depósitos e incrustaciones en paredes y fondo del tanque. Posteriormente se realizará una desinfección del depósito empleando compuestos de cloro. con concentraciones de 2g de cloro por m <sup>3</sup> con permanencia de mínimo 10 horas o de 20g de cloro por m <sup>3</sup> de agua con una permanencia no mayor a 2 horas.
TA-4	24 meses	Reacondicionamiento general	Incluye las acciones necesarias para proteger, mejorar el aspecto y el funcionamiento de la obra, como pintar las partes metálicas de la estructura y eliminar grietas en muros y losas de concreto.
TA-5	60 meses	Reconstrucción de la estructura.	Consiste en la inspección detallada de la estructura y restaurarla integralmente y basta donde sea posible, llevarla al inicio de un nuevo ciclo de vida útil. De ser necesario, la reposición de cajas, válvulas, sustitución o readecuación de drenajes, así como modificar todo lo que dificulte la operación, control y adecuado uso de la obra.

*Tabla 73. Actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para el tanque de almacenamiento basado en tabla 23.*

#### **4.6.6 Plan de mantenimiento para la Línea de Distribución**

Este plan de mantenimiento se basa en la tabla 24 del Reglamento de Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento y además en el Decreto N° 2001-248, sobre Normas de diseño de agua potable y no autorización para el uso de tubería de PVC-SDR-41, el cuál se explica en el punto 2.3.11 que los macro medidores al ser un sistema de abastecimiento de acueductos rurales, sumando a que la población es menor a 3000 habitantes, la medición es opcional y en este caso se va a tomar en cuenta con medidores para cada punto de consumo y uno para la línea principal con el objetivo de que ante una eventual implementación se pueda ir implementando tarifas según el caudal que consume cada punto en específico y no una tarifa fija para todos, además se toma en cuenta el período

de diseño para la línea de distribución. El plan para la línea de distribución quedaría de la siguiente manera:

Mantenimiento Preventivo de redes de distribución			
Actividad	Frecuencia	Trabajo a realizar	Explicación de actividades
RD-1	2 meses	Inspección del medidor y caja de protección	Se debe inspeccionar el estado del medidor y de la caja de protección. Además se debe manipular la llave de paso, comprobar su funcionamiento y detectar la presencia de fugas visibles. En este caso no es necesaria la inspección del medidor ya que al ser un sistema de abastecimiento rural con una población menor a 3000 habitantes el uso de macromedidores es opcional por lo tanto no fue utilizado en el diseño, descartando esta actividad
RD-2	3 meses	Inspección general de válvulas especiales	Se debe dar mantenimiento a las válvulas especiales y para ello se debe verificar que se estén operando, a las presiones y parámetros indicados para su funcionamiento, de no ser así se debe verificar que la válvula esté libre de obstrucciones, hacer revisión de diafragmas, conexiones entre pilotos y proceder a su calibración. Las válvulas de compuerta que se utilizan en las redes deben trabajar cerradas o abiertas, en caso contrario deben reemplazarse por válvulas de globo.
RD-3	12 meses	Limpieza externa de medidores y cajas de protección	Esta actividad consiste en la limpieza exterior del medidor y el interior y área circundante de la caja de protección, dejándolo en condiciones óptimas para su lectura. Esta actividad también estaría descartada al ser descartado el uso de medidores.
RD-4	12 meses	Inspección general.	Las válvulas se deben operar, abriéndolas y cerrándolas, registrando el número de vueltas. la dirección de apertura y cierre y la dificultad en su manipulación. De disponer acceso directo a ellas se debe revisar el estado del prensa estopas, engranajes, eje y compuerta. Debe revisarse el estado de las cajas de las válvulas y los cubreválvulas.
RD-5	60 meses	Sustitución del medidor.	Consiste en la reposición del medidor, cuando este haya cumplido con una lectura acumulada de $3500 m^3$ ó en su defecto a los cinco años. El medidor sustituido deberá ser sometido a mantenimiento en el Laboratorio.
RD-6	20 años	Sustitución de tubería	Esta labor consiste en la sustitución de las tuberías que vayan cumpliendo con su vida útil, tanto por el estado de los materiales como por su capacidad. En esta actividad se debe priorizar la sustitución de las tuberías de Hierro Galvanizado y Asbesto Cemento. Se debe incluir en esta actividad las tuberías de las acometidas y las correspondiente: válvulas de la red.
RD-7	Cada modificación	Actualización de planos.	Cada vez que se efectúen modificaciones en las redes o conducciones se debe realizar un esquema indicando ubicación y la modificación efectuada mostrando accesorios, diámetros y materiales para ser incluidos en los planos.

*Tabla 74. Actividades a realizar en el mantenimiento preventivo para el línea de distribución Detalle de basado en tabla 24.*

#### 4.7 Viabilidad del proyecto

Para comenzar, se procede a analizar el costo total de la obra que se va a llevar a cabo. En este caso se separa el costo total para la construcción de la obra y por otra parte se realiza una estimación de costos operativos y de mantenimiento necesarios para la obra, estos

últimos pueden variar dependiendo de la ASADA y las demandas futuras que puedan presentar.

Para el costo total, se toma en cuenta los materiales a utilizar para la obra de captación como los blocks de 12x20x40, varillas para realizar las respectivas vigas de corona y la viga de cimiento, como la soldadura requerida, el repello, así como la mezcla para el concreto. Tomando en cuenta para la mano de obra la duración de las actividades necesarias como la creación de columnas, vigas, repello, block. Al igual que para los elementos como los dos tanques de almacenamiento utilizados, el clorador, y la captación se encontraran conectados por medio de tubería de 1/2" la cual me permite manejar únicamente mi caudal de diseño con sus respectivas válvulas en caso de que algún elemento entre fuera de funcionamiento. Además de contabilizar toda la tubería de distribución y distintos accesorios a utilizar en tubo de 3" SDR17, con su respectiva mano de obra cotizada por metro lineal. Por lo que en la siguiente tabla se puede apreciar el costo total de los distintos materiales y un costo total de instalación por la obra completa:

<b>Costo total de implementación del proyecto</b>			
Artículo	Cantidad	Precio unitario	Total
Materiales Obra de captación	1	¢219.140,00	¢219.140,00
Tubo PVC 1/2" SCH40	6	¢5.175,00	¢31.050,00
Válvulas de compuerta de 1/2"	3	¢7.055,00	¢21.165,00
Codo de 90° PVC 1/2"	6	¢310,00	¢1.860,00
Tubería PVC 3" Amanco SDR17	84	¢89.950,00	¢7.532.263,08
Tanque de almacenamiento 6000L Rotoplas	1	¢504.544,00	¢504.544,00
Tanque de almacenamiento 450L Ecotank	1	¢74.084,00	¢74.084,00
Codo de 45° 3" AMANCO	7	¢12.350,00	¢86.450,00
Codo de 90° 3" AMANCO	1	¢11.550,00	¢11.550,00
Unión de 3" AMANCO	84	¢6.250,00	¢525.000,00
Unión T 3" AMANCO	13	¢13.050,00	¢169.650,00
Válvulas de compuerta 3"	13	¢71.416,00	¢928.408,00
Válvula eliminadora de aire 3"	1	¢43.718,00	¢43.718,00
Sistema de desinfección	1	¢688.057,00	¢688.057,00
tambor de pastillas 68% 78 pastillas	1	¢118.100,00	¢118.100,00
Medidores 3"	14	¢80.456,00	¢1.126.384,00
Mano de Obra	1	¢982.200,00	¢982.200,00
<b>Inversión para construcción de proyecto</b>		<b>¢13.063.623,08</b>	

*Tabla 75. Costo total para construcción de Acueducto*

Al determinar el costo total de la obra, se procede a realizar el análisis de la cuota a pagar por cada punto de consumo para poder implementar este proyecto. Contabilizando la instalación de todos los elementos y la compra de los mismos, a continuación se observa el pago único requerido para la construcción del sistema:

Cuota por familia	
Costo total	¢13.063.623,08
Cuota por punto de consumo	¢1.088.635,26

*Tabla 76. Cuota para construcción de acueducto*

Se igual manera, se procede a realizar una estimación de los costos de operación y mantenimiento mensuales para el sistema. Tomando en cuenta la sub contratación de un fontanero que revisará el sistema de abastecimiento una vez al mes, esto también concordando con las fechas estipuladas para la realización de actividades acordadas en los planes de mantenimiento, además de que se tomara en consideración para el mantenimiento, un porcentaje para la compra de instrumentos necesarios para la realización del mantenimiento. Se toma en cuenta la compra de las tabletas de hipoclorito de calcio, pero no el precio total debido a que por la cantidad de tabletas no es necesario comprar cada mes. De lo mencionado anteriormente, se contabiliza un porcentaje de la suma total para llevar a cabo los trámites legales necesarios, además de una reserva por cualquier eventualidad. Cabe destacar que esta tarifa impuesta, puede y va a cambiar a la hora de la conformación de la ASADA.

Costo operacional y de mantenimiento		
Gastos	Unidad	Costo
Gasto Operacional	sueldo de fontanero + cargas	¢116.000,00
Mantenimiento	25% gasto operacional	¢29.000,00
Desinfección	tambor 78 tabletas	¢59.050,00
Administración legal	15% del costo	¢30.607,50
Reserva para eventualidades	10% costo	¢20.405,00
Costo operacional mensual		¢255.062,50

*Tabla 77. Costo operacional del sistema de abastecimiento*

Lo anterior, dando como resultado, una tarifa mensual para cada punto de consumo:

Tarifa mensual por servicio	
Costo total	₡255.062,50
Tarifa por punto de consumo	₡21.255,21

*Tabla 78. Tarifa mensual por punto de consumo*

#### 4.8 Resumen de resultados obtenidos

En esta sección se procede a realizar un resumen de los resultados obtenidos necesarios para obtener cada uno de los objetivos que se establecieron como meta:

- Inicialmente, sobre el estado actual del sistema, se lleva a cabo el reconocimiento del estado actual que tiene el sistema que evaluamos. Se observa que los únicos elementos que tiene el sistema son la captación y la línea de distribución. La captación cuenta con un ancho de 1,27m y una altura de 1,80m y la misma no cuenta con ninguna válvula de compuerta a la salida de la toma. Por otra parte, la línea de distribución se encuentra expuesta y su diámetro comercial es de 2 pulgadas.

Al aplicar la metodología de evaluación de riesgos sanitarios conforme a las Guías de Inspección del Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud (SERSA), se puede observar que los dos elementos en estudio presentan un riesgo alto. También, se muestra en el capítulo 4 el método de aforo volumétrico que se utilizó y las prácticas utilizadas para medir el volumen en estudio; mostrando que la fuente de abastecimiento me entrega un caudal de 3,59 L/s. Finalmente se obtuvieron las ubicaciones exactas y las distintas alturas de los elementos en cuestión necesarias para el diseño hidráulico por medio del software Google Earth y el G.P.S para ubicar el punto exacto de la captación y los puntos de consumo logrando obtener los dos diferenciales de altura para las dos rutas críticas posibles obteniendo en los dos casos 82 y 120 mca a favor del sistema para poder funcionar por gravedad. Para finalizar, se establece prioritario readecuar la fuente de abastecimiento y la implementación de un sistema de desinfección para tratar el agua cruda.

- Con respecto al segundo objetivo propuesto, para el diseño hidráulico primero se evalúa con respecto a los 27 habitantes iniciales la población futura que se

obtendrá al de final 20 años, en este caso que se tomaron de la Guía de Diseño y Construcción de Captación de Manantiales, ya que se aconseja utilizar un período de diseño para la población proyectada de 20 años tomando en cuenta que tipo rural. Por lo tanto, tomando la tasa de crecimiento anual recomendada para poblaciones rurales de 3,5% y la ecuación 14 obtenemos una población futura de 54 habitantes. En este caso no se hace ninguna proyección del consumo de los cerdos ya que el número del mismo se mantendría constante. Los demás períodos de diseño para los otros elementos se toman de los aconsejados en la norma del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarrillados. Posteriormente, se calcula el caudal con el que se va a diseñar el sistema con ayuda de la tabla 11 que muestra el consumo diario por cerdo y la tabla 12 sacada de la norma técnica para el diseño de sistemas de abastecimiento, indica en el apartado 4.3 las dotaciones para las poblaciones rurales. Con ayuda de las ecuaciones que se explican a fondo en el apartado 4.2.3, resaltando que no se debe tomar en consideración algún caudal de incendio porque se puede apreciar en la tabla 10, que al ser menos de 5000 habitantes no necesita caudal por incendio ya que se puede utilizar el de regulación de consumo, se obtiene un caudal de diseño de 0,245 L/s. Siendo este caudal mucho menor a los 3,59L/s que entrega la fuente.

Siguiendo con el diseño hidráulico, para el dimensionamiento del diámetro de tubería de distribución necesario, que se puede ver en la tabla 35, se toma en cuenta el caudal de diseño y la asignación de velocidad de diseño es de 2,0 m/s siendo esta la máxima permitida más que todo porque evita los golpes de ariete aunque es posible llegar a velocidades de hasta 3 m/s. Sacando el diámetro estimado. Por lo que se toma en cuenta cuatro tipos de tubería distintas, de 12mm de pared delgada y pared gruesa, al igual que la de 18mm de pared gruesa y la tubería de 75 mm estipulada por normativa. El siguiente paso del diseño fue obtener el volumen necesario para el tanque de almacenamiento que se quiere implementar. Este se explica en la sección 4.2.5, obteniendo un valor de 5405 Litros por lo tanto al encontrarse en el mercado solo opciones de 5000L y 6000L se decide por tomar la opción de

un tanque de 6000L. Igualmente, se utiliza un tanque secundario de 450L para mantener un tiempo de 30 minutos de estanqueidad para dejar reposar el agua tratada con cloro.

Para este diseño se tomó en cuenta un total de 84 uniones siendo la distancia de la tubería de 6 metros entre la distancia total del acueducto de 503 metros, se contabiliza además 13 uniones T para cada punto de consumo que tiene la línea de distribución y una unión T al inicio de la línea de distribución para la válvula eliminadora de aire considerando las condiciones topográficas y apoyados en el Anexo 4 de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento su colocación debe ser en las zonas altas del acueducto, agregando válvulas de corte antes de llegar a las uniones T. También se cuenta con un codo de 90 para el último quiebre hacia los tres últimos puntos de consumo y 7 codos de 45 para acomodar la tubería por la ruta indicada.

Finalmente, en el apartado de análisis de ruta crítica, se puede observar de la tabla 46 como se analizan la ruta crítica para las distintas tuberías, inicialmente, la tubería de 12mm de pared gruesa no cumpliría con el sistema por gravedad ya que la presión residual en ese tramo sería de 10,5 mca por lo tanto requeriría una bomba para cumplir con el trasiego del agua. Por otra parte, la otra opción de pared gruesa es la de 18mm, dando esta como resultado presiones de hasta 73mca en el punto más bajo de la red cuando en la sección 4.11 de la Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento explica que la presión máxima será de 50mca, por lo tanto es posible optar por este escenario pero se debe tomar en cuenta una válvula reductora de presión y siendo esta opción más costosa que la tubería de 12mm. La tubería de 12mm cédula 13.5, resulta más atractiva debido a su costo, además de que cumple con no sobrepasarse de la presión máxima en el punto más bajo y cuenta con 29mca en el punto más crítico siendo este mucho mayor a los 15 mca mínimos estipulados. Analizando la opción de 75 mm SDR 17 se puede observar que este diseño presenta el inconveniente de que tendrá velocidades debajo del mínimo establecido pero cumpliría con el

funcionamiento por gravedad ya que cumpliría con la presión mínima en el punto más crítico del sistema pero se sobrepasaría de la máxima permitida en el punto más lejano del sistema por lo que requeriría una válvula reguladora de presión. Concluyendo con el apartado de diseño hidráulico, el último cálculo hidráulico es el dimensionamiento de la captación, que se observa en la sección 4.2.8 y se concluye que la altura necesaria de la captación es de 0,74 metros, con una canastilla de 68mm con 14 ranuras y una tubería de limpia de 5 metros con un diámetro de 2 pulgadas.

- En tercer lugar, para la determinación del método de un sistema de desinfección se hace primeramente el estudio del análisis de calidad del agua. Por cuestiones presupuestarias solo se realizó un examen Nivel Primero a un muestreo de nuestro punto estratégico que sería del grifo de un punto de consumo. Primeramente, se debe resaltar que el acueducto no cuenta con un sistema de desinfección y es evidenciado ya que la muestra presentaron coliformes fecales, totales y *E. coli* que sobrepasan el máximo admisible por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Los demás parámetros de turbidez, pH, olor, color aparente se encuentran bajo los rangos admisibles. Estos parámetros se pueden interpretar mediante la Guía de interpretación de análisis de calidad del agua suministrada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Esto por medio del Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), el cual permite clasificar la gravedad del incumplimiento de los distintos parámetros de calidad establecidos en el Decreto Ejecutivo 38924-S. A estos parámetros se les asigna un puntaje si sobrepasan el valor máximo admisible (VMA), permitiendo determinar si el agua suministrada es potable o no. Por lo tanto, se puede observar todos los parámetros a excepción de uno, cumplen con los límites establecidos. Pero se debe apreciar que el parámetro de coliformes fecales para sistemas no clorados tiene un puntaje de 21 por lo tanto representa un riesgo alto, según tabla 54 por lo tanto se menciona que no es apta para la ingesta y se deben tomar acciones correctivas para bajar el valor hasta parámetros permisibles por la ley para que se apta para consumo.

Bajo las condiciones anteriores se analiza cual equipo de desinfección se adecua más al problema principal del sistema que es la cantidad registrada de coliformes fecales ya que debería no ser detectable y los sistemas de desinfección son los más necesarios debido a que es la única forma de garantizar la eliminación de microorganismos patógenos en el agua que puede dañar la salud de las personas. Como se explica en el apartado 4.3.2 debido al tamaño de la población el equipo que mejor se adecua al sistema sería un dosificador por erosión y en este caso el producto a utilizar serían pastillas de hipoclorito de calcio debido a su mejor estabilidad en comparación a la clorada. Bajo estas condiciones, mediante la empresa G&R Hidromedición se cotiza un sistema de cloración que trabaja bajo los principios de erosión de tabletas. El sistema dosificador por erosión Accu Tab modelo 3012, utiliza pastillas de hipoclorito de calcio de 68% y su funcionamiento específico se explica en la ilustración 14.

- Para el objetivo de implementación de un plan de mantenimiento, se aprecia en la tabla 61 y 62 que se propone instaurar un plan de mantenimiento periódico para el análisis de calidad del agua llegando a la conclusión de que es necesario cada 6 meses mínimo un análisis N1 en todos los elementos de la red para estudiarlos por separado y ver alguna variación y cada tres años y análisis N2 y N3 a todos los elementos del acueducto para que cumpla con los requisitos impuestos por la ley. En las tablas 63 y 64 se explica a detalle las actividades a realizar para el mantenimiento preventivo de captación de manantial y la línea de conducción. Para el mantenimiento del equipo de desinfección no se decide tomar el que se encuentra en el Reglamento ya que no se adecua al funcionamiento del dosificador, por lo tanto las actividades que se ven necesarias en función al equipo sería la recarga de la carga de pastillas y la limpieza de la placa con orificios que se encuentra en contacto con las pastillas y el agua que fluye paralelamente. Quedando los tiempos sujetos a la longevidad de las primeras recargas y si se llega a implementar consultar con la empresa el mantenimiento establecido por el fabricante. Hablando del tanque de almacenamiento, su plan de mantenimiento se aprecia

en la tabla 65. Por último, en la tabla 66, el plan de mantenimiento para la línea de distribución varía un poco ya que sujetándose a la Normas de diseño de agua potable y no autorización para el uso de tubería de PVC-SDR-41, el cual se explica en el punto 2.3.11 que los macro medidores al ser un sistema de abastecimiento de acueductos rurales, sumando a que la población es menor a 3000 habitantes, la medición es opcional por lo tanto el diseño realizado no contempla este accesorio, descartando dichas actividades, además se toma en cuenta el período de diseño para la línea de distribución.

- En cuanto al cumplimiento legal del sistema, el Reglamento para la Perforación de Pozos y Aprovechamiento de Aguas Subterráneas explica que la Dirección de Agua funcionará como ventanilla única, quien da admisibilidad a la solicitud y resolverá el permiso. Al reconocer esto, primero se necesita obtener los requisitos necesarios para la admisión de la solicitud. El primer requisito que se debe cumplir es el análisis de viabilidad ambiental llevado a cabo por el SETENA. Primeramente, se necesita identificar el tipo de trámite que se debe hacer que se ajuste al sistema diseñado ya que SETENA divide desde D1 hasta D6 los distintos trámites, en nuestro caso al ser un diseño para muy pocos puntos de consumo se considera como tipo D1, o sea de moderado y alto impacto ambiental potencial y en el anexo 5 se explica la documentación necesaria que se debe presentar. En esta se explica el nombre de la actividad, la provincia, cantón, distrito, coordenadas con su latitud y longitud respectiva, N° de plano catastrado, N° de finca o matrícula, medida finca según plano ( $m^2$ ), área del proyecto según diseño, categoría de la actividad de acuerdo al número CIIU y una pequeña descripción del proyecto la cual se explica más a fondo en la sección 4.4.1. Este formulario se debe entregar junto con una declaración jurada de compromisos ambientales. Luego, al realizar este trámite se procede a presentar la documentación pertinente a la Dirección de Agua, lo que vendría siendo el análisis de viabilidad ambiental de SETENA, certificación literal de propiedad del terreno en el que se aprovechará el agua, plano catastrado legible en que se marque la toma. Igualmente que al ser agua para consumo poblacional deberá

presentarse el reporte del análisis microbiológicos y físico-químicos de la calidad del agua en concordancia con los parámetros establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua con los parámetros en nivel de control de calidad N1, N2, N3. Además de que se debe tomar en cuenta el punto d de los requisitos especiales el cual explica que si la captación esta en finca de un propietario y el agua se aprovechará en finca de otro propietario se debe aportar documento con la anuencia del propietario de la finca donde se esta perforando con la firma autenticada del propietario, con la respectiva certificación literal de la propiedad, certificación de Personería Jurídica y plano catastrado de donde se marque el pozo. En el Anexo 6 se especifica el formulario a rellenar que se debe presentar junto con los requisitos mencionados en los cuales se llenan los datos del solicitante, los usos que se le darán al agua captada y una explicación del tipo de toma, en este caso naciente, con caudal solicitado su latitud, longitud y el nombre del propietario donde se capta el agua. Antes de la realización de estos trámites es requerido la conformación de una ASADA en la cual es necesario inicialmente la inscripción de la asociación en el Departamento de Asociaciones del Registro de Personas Jurídicas del Registro Nacional. Y luego se tiene un plazo de tres meses para tramitar un convenio de delegación de prestación de servicios, en el que se debe solicitar por medio de una solicitud por parte de la junta directiva de la ASADA protocolizada, entregada por el presidente junto con una certificación jurídica con no más de un mes de emitida y la fotocopia certificada del acta constitutiva de la asociación. Luego la dirección jurídica emite el visto bueno de los estatutos en un plazo de quince días hábiles

- Finalmente, el costo de implementación de la propuesta de 75mm, la cual sería la tubería permitida por normativa, sería de ¢13.063.623. Según el precio anterior, la cuota por familia, esto quiere decir, por punto de consumo sería de ¢1.088.635 para poder realizar la construcción del acueducto. Además del precio para la realización del proyecto se realiza una estimación de la tarifa mensual por servicio para realizar el mantenimiento de ¢ 21.255 por punto de consumo.

## Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

1. Se logró establecer un plan de mejoras y potabilización mediante la evaluación y análisis del sistema de abastecimiento de agua pura actual y el diseño hidráulico de un acueducto por gravedad para una pequeña comunidad de El Llano de Alajuelita, con el fin de garantizar el suministro y potabilidad de la misma.
2. Se analizó el estado del sistema actual mediante un levantamiento en sitio y recopilación de datos para establecer los puntos de mejora que necesita el sistema. Entre ellos: ubicación exacta de la fuente de abastecimiento, un diagnóstico riesgo alto debido a factores como la falta de tapa con candado en la captación para evitar contaminación externa, aguas estancadas alrededor de la captación y lo más importante carece de algún sistema de desinfección. Adicionalmente, dentro del análisis del estado actual del sistema, se realizó la medición del caudal entregado por la fuente el cual es de 3,59 L/s. Se determinaron las elevaciones de los distintos elementos por medio de la aplicación de Google Earth Pro, las cuales se pueden visualizar en la tabla 27 y así se determinó un diferencial de altura máximo de 120 metros de columna de agua a favor del sistema por gravedad.
3. Se realizó el respectivo diseño hidráulico del sistema siguiendo los parámetros establecidos por la normativa vigente para garantizar el funcionamiento eficiente al considerar las deficiencias y los problemas presentes en el sistema actual, descritos anteriormente. El diseño hidráulico contempló una proyección de la población hasta 54 personas en un período de 20 años. El caudal de diseño se estableció en 0,2448 L/s. El tanque de almacenamiento necesario es de 6000 litros. Se incluyó una válvula doble propósito de aire al inicio de la red de distribución. La tubería seleccionada fue de 75mm SDR-17. Y finalmente la obra de captación requiere 0,74 metros de altura y 1,27 metros de ancho.

4. Se determinó un sistema de potabilización o desinfección del agua, que se ajustó a las necesidades del sistema por medio del estudio de los diferentes procesos de potabilización, para garantizar la potabilidad de la misma a todos los consumidores. El sistema de desinfección seleccionado es un equipo Accu Tab modelo 3012 que utiliza tabletas de hipoclorito de calcio al 68%.
5. Se estableció un plan de mantenimiento preventivo al diseño propuesto con base en las condiciones del sitio y la normativa para asegurar que la calidad del agua sea la misma por el tiempo que el sistema se encuentre en funcionamiento. Con respecto a lo anterior, se establece en la tabla 62 el plan de mantenimiento necesario para monitorear la calidad del agua, en la tabla 63 se aprecia el plan de mantenimiento para la obra de captación, al igual que la tabla 64 para la línea de conducción, la tabla 65 para el tanque de almacenamiento y la tabla 66 para la línea de distribución.
6. Se definió las acciones para el cumplimiento legal del sistema propuesto a través de una revisión de la legislación nacional vigente para evitar sanciones. En el SETENA se debe hacer el trámite D1 de moderado y alto impacto ambiental y llenar el formulario adjunto en los anexos junto con una declaración jurada de compromisos ambientales. Consecuentemente, en la Dirección de Agua se llena el formulario que se encuentra en los anexos además se presentan los requisitos como el análisis de viabilidad ambiental, certificación literal en donde se toma el agua, el plano catastrado con la marca de la toma de agua, los exámenes de calidad del agua N1, N2, N3 y un documento de anuencia del propietario dueño del terreno donde se encuentra la toma con firma. A partir de ahí, ya queda a disposición de la Dirección de Agua para la decisión pertinente. Igualmente, es necesario la conformación de una ASADA para realizar todos los trámites necesarios. Por lo que inicialmente se procede a realizar la inscripción de la misma en el Registro Nacional y a partir de ahí es necesario tramitar un convenio de delegación de prestación de servicios por parte del AyA, esto realizado por el presidente de la asociación junto con la solicitud por parte de la junta directiva protocolizada, certificación jurídica con no más de un mes de emitida y la

fotocopia certificada del acta constitutiva de la asociación. En un plazo de 15 días hábiles la Dirección Jurídica emite el visto bueno de los estatutos.

7. Se determinó el costo del sistema propuesto mediante la cotización de los elementos faltantes para proyectar el costo de una eventual implementación. El costo total de la obra en materiales sería de ¢13.063.623; lo cual representa una inversión por familia de ¢1.088.635. Además de que se realizó una estimación de tarifa mensual de ¢ 21.255 para el mantenimiento del acueducto. Es importante destacar, que en caso de optar por algún financiamiento por parte de algún banco público o privado, al ser una asociación es necesario contar con la autorización por parte de la junta directiva del AyA.

## 5.2 Recomendaciones

- Primeramente, se recomienda hacer una investigación más profunda de este trabajo de investigación, como por ejemplo es necesario hacer un estudio del suelo donde se encuentra la captación ya que los alrededores se encuentran con aguas estancadas por lo que puede indicar que no se esta captando completamente el agua entregada por la fuente. Al igual de que es importante utilizar instrumentos y equipo más avanzado para realizar las mediciones de elevaciones.
- Aunque no se implemente en corto plazo el sistema diseñado, es muy importante implementar lo antes posible un sistema de desinfección ya que el agua que se consume en este momento no es apta para el consumo humano y puede afectar la salud de los habitantes. Y sería recomendable contratar a un fontanero capacitado que pueda realizar los controles de cloro residual y los ajustes que el equipo necesite. Al igual que el mantenimiento que requiere el equipo como el cambio de pastillas o la limpieza de la plancha del clorador.
- Se recomienda dar mantenimiento en el interior de la cámara húmeda y limpieza de los alrededores de la captación ya que presenta cierta contaminación. Al igual de que es necesario la construcción de mallas perimetrales para asegurar que no haya ingreso a la captación de personas no

calificadas o animales no deseados. También es recomendable instalar una tapa con candado en la captación para evitar que personas o el ecosistema contamine más la captación.

- Igualmente, se aconseja hablar con el propietario donde se encuentra la captación para poder realizar obras de fácil acceso para facilitar el ingreso de los materiales necesarios para la implementación del tanque de almacenamiento y la obra de captación ya que se encuentra dentro de la montaña y es muy complicado el camino por la pendiente.
- En su posible implementación habría que contratar a una constructora para la realización de un plano catastrado, necesario para los trámites a realizar, además de que la cotización quedaría sujeto al costo por mano de obra impuesto por la constructora y el costo por la realización del mantenimiento periódico lo que generaría el incremento del costo total que a su vez generaría la readecuación de las cuotas por familia.

## Capítulo VI: Bibliografía

- Poder Ejecutivo. (2015, 12 enero). *Reglamento para la Calidad del Agua*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC)
- López Cualla, R. A. (1995). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados* (1.<sup>a</sup> ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.  
<http://ingenieriaymas.com/2017/01/elementos-de-diseno-para-acueductos-y.html>
- Galvín, M. R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas* (2.<sup>a</sup> ed.). Ediciones Diaz de Santos.
- Poder Ejecutivo. (2001b, septiembre 13). *Normas de diseño de agua potable y no autorización para el uso de tuberías de PVC-SDR-41*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=47113&nValor3=109666&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=47113&nValor3=109666&strTipM=TC)
- Agüero, R. (2004). Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales. *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales*. Published.  
[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf)
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). *GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMA DE DESINFECCIÓN*. Sustainable Sanitation and Water Management

Toolbox. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS-COSUDE%202007.%20Gu%C3%ADa%20selecci%C3%B3n%20del%20sistema%20desinfecci%C3%B3n.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS-COSUDE%202007.%20Gu%C3%ADa%20selecci%C3%B3n%20del%20sistema%20desinfecci%C3%B3n.pdf)

Poder Ejecutivo. (2001a, agosto 13). *Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el Mantenimiento Preventivo de los Sistemas de Abastecimiento de Agua (2001)*. ARESEP. <https://aresep.go.cr/agua-potable/normativa/1969-reglamento-de-normas-tecnicas-y-procedimientos-para-el-mantenimiento-preventivo-de-los-sistemas-de-abastecimiento-de-agua-2001>

Poder ejecutivo & MINAE. (2021, 10 septiembre). *Decreto N° 43053-MINAE La Gaceta No 175*. Imprenta Nacional.

[https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2021/09/10/COMP\\_10\\_09\\_2021.pdf](https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2021/09/10/COMP_10_09_2021.pdf)

SETENA. (s. f.). *Catálogo de trámites*. <https://www.setena.go.cr/>

Dirección De Agua. (s. f.). *Concesión de agua subterránea*. <http://www.da.go.cr/concesion-de-agua-subterranea/>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2019). *INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUA POTABLE PARA LA GESTIÓN COMUNITARIA EN LAS ASADAS. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUA POTABLE PARA LA GESTIÓN COMUNITARIA EN LAS ASADAS*. Published.

<https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Interpretacion%20Analisis%20Calidad%20Agua.pdf>

Nickisch, B. (2008). *Aforadores de corrientes de agua. Aforadores de corrientes de agua*.

Published. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-\\_curso\\_aforadores\\_de\\_agua.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_curso_aforadores_de_agua.pdf)

Poder Ejecutivo. (1942, 27 agosto). *LEY DE AGUAS*. Sistema Costarricense de Información Jurídica.

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC)

Mora Alvarado, D., & Portuguese Barquero, C. (2020). AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO Y SANEAMIENTO EN COSTA RICA AL 2019: BRECHAS Y DESAFÍOS AL 2023. *AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO Y SANEAMIENTO EN COSTA RICA AL 2019: BRECHAS Y DESAFÍOS AL 2023*. Published.

<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20cobertura%20agua%20potable%20y%20saneamiento%202020%20-%20Laboratorio%20Nacional%20de%20Aguas.pdf>

Calvo Pereira, D. (2019). *Propuesta de diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de agua potable para el poblado de Capellades, Alvarado, Cartago*. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11321/propuesta\\_diseno\\_sistema\\_conduccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11321/propuesta_diseno_sistema_conduccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vividea Castro, E. J. (2018). *Propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad indígena de Amubri del Cantón de Talamanca-Costa Rica*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9691>

Garro Ureña, I. (2017, septiembre). *Diagnóstico y diseño de un plan de mejoras del sistema de abastecimiento de agua potable de la ASADA de San Antonio de León Cortés* de San Antonio de León Cortés. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9347>

- Chavarría Villalobos, M. M. (2019, diciembre). *Evaluación y propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable de la ASADA Paquera de Puntarenas*.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11163>
- Sanabria Pérez, J. (2017). *Propuesta para el abastecimiento de agua potable mediante el diseño de un acueducto por gravedad en las comunidades de San Isidro de Tierra Grande, Isletas y Colinas, Guácimo, Limón*.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9371>
- Corella Blanco, L. (2020). *Elaboración de un estudio técnico de diseño para la creación de un nuevo tramo de acueducto y análisis de la situación actual del sistema con el objetivo de realizar propuestas de mejoras para el acueducto ubicado en Pénjamo de Florencia*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11546>
- Canales Monzón, W. D., Sánchez Blanco, M. E., & Valenzuela García, G. (2019, abril). *Diseño de un mini acueducto por gravedad en los barrios San Agustín, Gaspar García Laviana y Guadalupe del casco urbano del municipio de Dipilto, departamento de Nueva Segovia*. <https://core.ac.uk/display/336876984?recSetID=>
- Sandoval Chaparro, M. E., & Parrado Roza, G. A. (2018, mayo). *Optimización del diseño hidráulico del acueducto Veredal del Alto Ramo de Municipio de Chipaque Cundinamarca*. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/16404>
- Franco Franco, J. A. (2015, julio). *Diseño del sistema de suministro de agua para la finca los guaduales, vereda las mercedes villavicencio meta*.  
<https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/8108>
- Arboleda Triviño, A. F., & Ruiz Corredor, B. A. (2017, noviembre). *Diagnóstico y mejoramiento del sistema de acueducto del Municipio de Mesitas del Colegio*.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15224>

Hernández López, C. L. (2019, diciembre). *Diseño de mini acueducto por gravedad de la comunidad los Mollejones, municipio de San José de Bocay, Departamento de Jinotega*. <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNI3164>

Rivera López, E. F., & Suarez Rodríguez, V. M. (2018, noviembre). *Propuesta para la optimización del sistema de acueducto del municipio de Tena (Cundinamarca)*. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22858>

CONAGUA. (2002). Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. México: Comisión Nacional del Agua.

## Capítulo VII: Anexos

### 7.1 Anexo 1: tablas de inspección con metodología SERSA

IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO EN LA NACIENTE O MANANTIAL	SÍ	NO
1. ¿Está la naciente sin malla de protección que impida el acceso de personas y animales a la captación?	X	
2. ¿Está la naciente desprotegida abierta a la contaminación ambiental? (sin caseta o sin tanque de captación)		X
3. ¿Está la tapa de la captación construida en condiciones no sanitarias y con cierre seguro (candado, tornillo u otro)?	X	
4. ¿Están las paredes y la losa superior de la captación con grietas?		X
5. ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía?	X	
6. ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección?	X	
7. ¿Se encuentran plantas (raíces, hojas, algas y otros) dentro de la captación de la naciente?	X	
8. ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de captación?	X	
9. ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación? (Observar si en el entorno inmediato existen letrinas, animales, viviendas, basura).		X
10. ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial?	X	
<b>TOTAL DE FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (Total de "Sí")</b>	<b>7</b>	

Por cada respuesta "SI" en cualquiera de las fichas, determine la clasificación del riesgo y proceda con las acciones según se indique. Número de respuestas "SI"	Clasificación de riesgo	Código de colores	Acciones para disminuir los factores de riesgo
0	Nulo	AZUL	---
1-2	Bajo	CELESTE	Solicitar plan de acción correctiva por medio de orden sanitaria al operador para corregir situación en un plazo de 1 mes.
3-4	Intermedio	VERDE	Solicitar plan de acción correctiva por medio de orden sanitaria al operador para corregir situación en un plazo de 1 mes.
5-7	Alto	AMARILLO	Elaborar plan de emergencia y sensibilizar a la comunidad sobre los riesgos. Girar orden sanitaria con un Plazo de 1 mes para obtener evidencia de mejoras.
8-10	Muy alto	ROJO	Girar orden sanitaria y convocatoria urgente a los actores sociales claves para ejecutar en el menor plazo, las acciones correctivas necesarias. Plazo de 1 mes para verificar cumplimiento de la orden sanitaria.

<b>IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
1. ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción?	<b>X</b>	
2. ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias?		<b>X</b>
3. En los tanques quiebra gradientes ¿se observan rajaduras, grietas, fugas o raíces?		<b>X</b>
4. ¿Se observan fugas visibles en alguna parte de la red de distribución?	<b>X</b>	
5. ¿Existen variaciones significativas de presión en la red de distribución?		<b>X</b>
6. ¿Carece de cloro residual alguna zona en la red principal de distribución?	<b>X</b>	
7. Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua?		<b>X</b>
8. ¿Carecen de sistema para purgar la tubería de distribución?	<b>X</b>	
9. ¿Carecen de un fontanero o encargado del mantenimiento de la red?	<b>X</b>	
10. ¿Carecen de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)?	<b>X</b>	
<b>TOTAL DE FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS (Total de "SI")</b>	<b>6</b>	

<b>Los SI son factores de riesgo. Número de respuestas "SI"</b>	<b>Clasificación de riesgo</b>	<b>Código de colores</b>	<b>Acciones para disminuir los factores de riesgo</b>
0	Nulo	AZUL	---
1-2	Bajo	CELESTE	Solicitar plan de acción al operador para corregir situación con urgencia. Plazo 5 días hábiles.
3-4	Intermedio	VERDE	Emitir orden sanitaria al operador para corregir los factores de riesgo detectados en un plazo de 5 días hábiles.
5-7	Alto	AMARILLO	Elaborar plan de emergencia y sensibilizar a la comunidad sobre los riesgos. Girar orden sanitaria con un Plazo de 5 días hábiles para obtener evidencia de mejoras.
8-10	Muy alto	ROJO	Girar orden sanitaria y convocatoria urgente a los actores sociales claves para ejecutar en el menor plazo, las acciones correctivas necesarias. Plazo de 1 mes para verificar cumplimiento de la orden sanitaria.

## 7.2 Anexo 2: Fichas técnicas de tubería de agua potable marca Amanco

### Especificación Técnica 12 mm SCH-40

DIMENSIONES	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
Diámetro externo (pulg)	0.836	0.840	0.844
Diámetro externo (mm)	21.23	21.34	21.44
Ovalamiento (pulg)	0.00	NA	0.016
Ovalamiento (mm)	0.00	NA	0.41
Espesor de Pared (mm)	2.77	3.025	3.28
Excentricidad (%)	0.00	NA	12.00
Largo del tubo (m)	6.00	6.01	6.02
Diámetro entrada campana (mm)	21.44	21.54	21.64
Diámetro fondo campana (mm)	21.13	21.23	21.33
Largo de campana (mm)	25.40	NA	NA
Ovalamiento de campana (mm)	0.00	NA	0.61
Ángulo bisel (°)	N/A	N/A	N/A
Largo del bisel (mm)	NA	NA	NA
Peso deseado (kg/tubo)	1.382	1.451	1.520
<b>PRUEBAS MECÁNICAS</b>	<b>MÍNIMO</b>		
Presión de Ruptura (psi)	1910		
Presión Sostenida (psi)	1250		
Impacto (Lb/pie)	15		
Aplastamiento (60% Diámetro Nominal)	No debe presentar rupturas, agrietamientos o particiones		
Rigidez (psi)	NA		
<b>PRUEBAS QUÍMICAS</b>	<b>MÁXIMO</b>		
Acetona (30 min.)	0% de ataque		
<b>PRUEBAS TÉRMICAS</b>			
Reversión Térmica (30min/180°C)	No debe presentar burbujas o deslaminado		
Estabilidad Térmica (30min/150°C)	Máximo 5% longitudinal y 2.5% transversal		
<b>APARIENCIAS</b>			
Externa	Homogénea, libre de rayas y contaminación		
Interna	Homogénea, libre de rayas y contaminación		
Color	BLANCO		
<b>IMPRESIÓN</b>			
Leyenda	12 mm (1/2") 600 psi (4,14 MPa) 23°C SCH-40 Producto certificado INTE 16-01-04 - ASTM D1785 PVC 1120 fecha hora máquina Amanco (Logo) Sistema Integrado de Gestión Certificado por INTECO-AENOR ISO 9001-2000 ISO 14001-2004 INTE 18001-2000		
Color Tinta	NEGRA		



Código: ITIG 17. CALIDAD CRC

Versión: 00

Fecha: 17/07/2011

Página 1 de 1

Realizó: Inspector de Calidad.

Aprobó: Supervisor de Calidad.

## Especificación Técnica 12 mm SDR-13.5

DIMENSIONES	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
Diámetro externo (pulg)	0.836	0.840	0.844
Diámetro externo (mm)	21.23	21.34	21.44
Ovalamiento (pulg)	0.00	NA	0.016
Ovalamiento (mm)	0.00	NA	0.41
Espesor de Pared (mm)	1.57	1.825	2.08
Excentricidad (%)	0.00	NA	12.00
Largo del tubo (m)	6.00	6.01	6.02
Diámetro entrada campana (mm)	21.44	21.54	21.64
Diámetro fondo campana (mm)	21.13	21.23	21.33
Largo de campana (mm)	25.40	NA	NA
Ovalamiento de campana (mm)	0.00	NA	0.61
Ángulo bisel (°)	N/A	N/A	N/A
Largo del bisel (mm)	NA	NA	NA
Peso deseado (kg/tubo)	0.834	0.876	0.917
<b>PRUEBAS MECÁNICAS</b>		<b>MÍNIMO</b>	
Presión de Ruptura (psi)	1000		
Presión Sostenida (psi)	670		
Impacto (Lb/pie)	15		
Aplastamiento (60% Diámetro Nominal)	No debe presentar rupturas, agrietamientos o particiones		
Rigidez (psi)	NA		
<b>PRUEBAS QUÍMICAS</b>		<b>MÁXIMO</b>	
Acetona (30 min.)	0% de ataque		
<b>PRUEBAS TÉRMICAS</b>			
Reversión Térmica (30min/180°C)	No debe presentar burbujas o deslaminado		
Estabilidad Térmica (30min/150°C)	Máximo 5% longitudinal y 2.5% transversal		
<b>APARIENCIAS</b>			
Externa	Homogénea, libre de rayas y contaminación		
Interna	Homogénea, libre de rayas y contaminación		
Color	BLANCO		
<b>IMPRESIÓN</b>			
Leyenda	12 mm (1/2") 315 psi (2,17 MPa) 23°C SDR-13.5 Producto certificado INTE 16-01-01 - ASTM D2241 PVC 1120 fecha hora máquina Amanco (Logo) Sistema Integrado de Gestión Certificado por INTECO-AENOR ISO 9001-2000 ISO 14001-2004 INTE 18001-2000		

### Especificación Técnica 18mm SCH-40

DIMENSIONES	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
Diámetro externo (pulg)	1.046	1.050	1.054
Diámetro externo (mm)	26.57	26.67	26.77
Ovalamiento (pulg)	0.00	NA	0.020
Ovalamiento (mm)	0.00	NA	0.51
Espesor de Pared (mm)	2.87	3.125	3.38
Excentricidad (%)	0.00	NA	12.00
Largo del tubo (m)	6.00	6.01	6.02
Diámetro entrada campana (mm)	26.77	26.87	26.97
Diámetro fondo campana (mm)	26.47	26.57	26.67
Largo de campana (mm)	31.75	NA	NA
Ovalamiento de campana (mm)	0.00	NA	0.71
Ángulo bisel (°)	N/A	N/A	N/A
Largo del bisel (mm)	NA	NA	NA
Peso deseado (kg/tubo)	1.835	1.927	2.019
<b>PRUEBAS MECÁNICAS</b>			
	<b>MÍNIMO</b>		
Presión de Ruptura (psi)	1540		
Presión Sostenida (psi)	1010		
Impacto (Lb/pie)	15		
Aplastamiento (60% Diámetro Nominal)	<b>No debe presentar rupturas, agrietamientos o particiones</b>		
Rigidez (psi)	NA		
<b>PRUEBAS QUÍMICAS</b>			
	<b>MÁXIMO</b>		
Acetona (30 min.)	0% de ataque		
<b>PRUEBAS TÉRMICAS</b>			
Reversión Térmica (30min/180°C)	<b>No debe presentar burbujas o deslaminado</b>		
Estabilidad Térmica (30min/150°C)	<b>Máximo 5% longitudinal y 2.5% transversal</b>		
<b>APARIENCIAS</b>			
Externa	<b>Homogénea, libre de rayas y contaminación</b>		
Interna	<b>Homogénea, libre de rayas y contaminación</b>		
Color	<b>BLANCO</b>		
<b>IMPRESIÓN</b>			
Leyenda	<b>18 mm (¾") 480 psi (3.31 MPa) 23°C SCH-40</b> <b>Producto certificado INTE 16-01-04 - ASTM D1785 PVC 1120</b> <b>fecha hora máquina Amanco (Logo) Sistema Integrado de</b> <b>Gestión Certificado por INTECO-AENOR ISO 9001-2000 ISO</b> <b>14001-2004 INTE 18001-2000</b>		
Color Tinta	<b>NEGRA</b>		

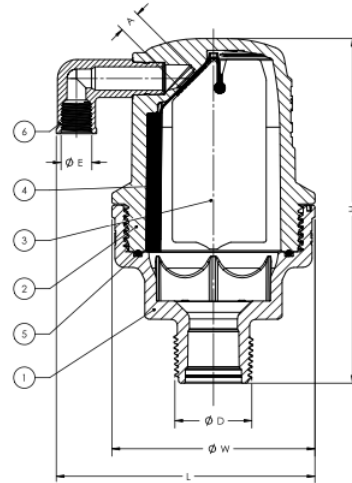
### 7.3 Anexo 3: Ficha técnica válvula de eliminación de aire marca Dorot

## Válvula de aire Automática

Serie DAV

#### Listado de partes y especificaciones:

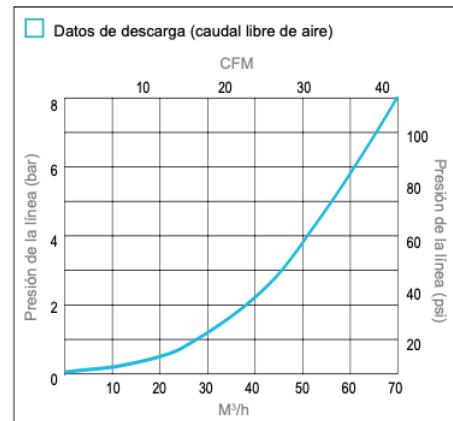
Parte	Descripción	Material
1	Base	Poliamida reforzada con fibra de vidrio Opcional: Latón
2	Cubierta	Poliamida reforzada con fibra de vidrio
3	Flotador	Polipropileno expandido
4	Cierre	Silicona
5	O'ring	NBR
6	Codo de drenaje	Polipropileno



#### Dimensiones:

Válvula	12 mm / 1/2"		19 mm / 3/4"		25 mm / 1"	
	SI	US	SI	US	SI	US
H - Altura	147 mm	5 3/4"	147 mm	5 3/4"	147 mm	5 3/4"
W - Ancho	86 mm	3 1/3"	86 mm	3 1/3"	86 mm	3 1/3"
D - Rosca	1/2" BSP	1/2" NPT	3/4" BSP	3/4" NPT	1" BSP	1" NPT
A - Orificio	12.85 mm <sup>2</sup>	0.02 in <sup>2</sup>	12.85 mm <sup>2</sup>	0.02 in <sup>2</sup>	12.85 mm <sup>2</sup>	0.02 in <sup>2</sup>
L - Ancho total	110 mm	4 1/3"	110 mm	4 1/3"	110 mm	4 1/3"
E - Diámetro de drenaje	1/4" BSP	1/4" BSP	1/4" BSP	1/4" BSP	1/4" BSP	1/4" BSP
Peso	400 g	0.88 lbs.	400 g	0.88 lbs.	400 g	0.88 lbs.

#### Rendimiento:



7.4 Anexo 4: Tabla de cálculo de ruta crítica

D. nominal	SR	Tubería de distribución	Q. diseño (l/s)	diámetro interno real (mm)	g (m <sup>3</sup> /s)	L (m)	Tabla 6.6 propiedades del agua a 22,38 C y 1 atm						k	Ht accesorios (mca)	Ht (mca)	Ht 10% accesorios (mca)	Ht accesorios por l (mca)	Hemencia (mca)	Pérdida (mca)	Pérdida (mca)	Htotal (mca)		
							e (mm)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	μ (Pa·s)	ν (m <sup>2</sup> /s)	Vel (m/s)	Re										f	Hf (mca)
12mm	40	punto más bajo de consumo	0,245	14,67	9,81	502,43	0,0015	997,924	0,0009753	9,7736507	1,448	2,1746504	1,022694	0,026203	95,393	9,529	41,64	4,462	-120	20,0	9,274	0,204	9,478
		punto más alto de consumo	0,245	14,67	9,81	311,20	0,0015	997,924	0,0009753	9,7736507	1,448	2,1746504	1,022694	0,026203	59,023	5,902	16,10	1,771	-82	20,0	4,647	0,204	4,851
13.5		punto más bajo de consumo	0,245	17,07	9,81	502,43	0,0015	997,924	0,0009753	9,7736507	1,070	1,6886504	8,787650	0,027028	46,397	4,640	31,59	1,842	-120	20,0	47,120	0,204	46,917
		punto más alto de consumo	0,245	17,07	9,81	311,20	0,0015	997,924	0,0009753	9,7736507	1,070	1,6886504	8,787650	0,027028	28,738	2,874	9,87	0,576	-82	20,0	29,812	0,204	29,608
18mm	40	punto más bajo de consumo	0,245	19,81	9,81	502,43	0,0015	997,924	0,0009753	9,7736507	0,794	1,6106504	7,572650	0,028053	22,877	2,288	34,94	1,124	-120	20,0	73,712	0,204	73,508
		punto más alto de consumo	0,245	19,81	9,81	311,20	0,0015	997,924	0,001002	9,7736507	0,794	1,6106504	7,572650	0,028053	14,170	1,417	12,77	0,410	-82	20,0	46,003	0,204	45,799

## 6.5 Anexo 5: Requisitos para trámite de viabilidad ambiental en SETENA para proyecto D1

No.	REQUISITO / CONTENIDO	FUNDAMENTO LEGAL	GUÍA VISUAL	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS / INFORMACIÓN DE APOYO
1	<p>Información general del proyecto (Formulario D1)</p> <p>Provincia Cantón Distrito Coordenadas N° de Plano Catastrado N° de finca o matrícula Medida finca según plano (m<sup>2</sup>) Área del proyecto según diseño (m<sup>2</sup>) (Cuando aplique) Categoría de la actividad, obra o proyecto de acuerdo a la Clasificación CIU y su IAP. Puntaje de SIA Nombre de consultor ambiental responsable. N° de registro y vigencia ante la SETENA. Descripción del proyecto.</p>	<p>Artículo 9, N° 31849-MNAE-S-MOPT</p>	<p><a href="https://tramites.setena.gob.cr">https://tramites.setena.gob.cr</a></p>	<p>Clasificación de la actividad, obra o proyecto a realizar de acuerdo al Código Internacional Industrial Uniforme de las actividades productivas, versión 3, que se elige al llenado que se encuentra en el Anexo 2 del Decreto Ejecutivo N° 31849-MNAE-MOPT-MAG-MEIC.</p> <p>IAP. Indicar la clasificación inicial otorgado por el Decreto Ejecutivo N° 31849-MNAE-MOPT-MAG-MEIC, en el Anexo 2 de acuerdo al impacto ambiental potencial de la actividad, obra o proyecto.</p> <p>N° de registro y vigencia ante la SETENA. Anote el número que la SETENA asigna cuando aprueba la inscripción o renovación en el registro de consultores ambientales.</p>
2	<p>Calidades del Desarrollador y medios para notificaciones</p> <p>Si el desarrollador es una persona física: Calidades Correo para notificaciones</p> <p>Si el desarrollador es una persona jurídica: Nombre de la razón social N° de cédula jurídica Domicilio fiscal Nombre del representante legal N° de identificación del representante legal Medio principal para recibir notificaciones (correo electrónico)</p>	<p>Artículo 9, N° 31849-MNAE-S-MOPT</p>	<p><a href="https://tramites.setena.gob.cr">https://tramites.setena.gob.cr</a></p>	<p>Las personas físicas, que no posean la ciudadanía costarricense, podrán utilizar el número de pasaporte, permiso de residencia o cualquier otro documento oficial, que sea válido en Costa Rica. Cuando éste sea el caso, se deberá detallar el tipo de identificación utilizada y debidamente certificada digitalmente por abogado. Ambos tipos de desarrolladores deberán estar al día con sus obligaciones patronales. En caso de no encontrarse inscrito como patrono, deberá cumplir con lo establecido en las Actas de Comisión para ACP-028-2018 (Aplicación del Decreto Ejecutivo N° 7 de la Ley Costarricense de Desarrollo del Sistema de Registro Social y sus reformas ACP-037-2018 Acuerdo Complementario del ACP-028-2018 (Formato de Declaración Jurada)</p>
3	<p>Georreferenciación del sitio del proyecto</p>	<p>Artículo 9, N° 31849-MNAE-S-MOPT</p>	<p><a href="https://tramites.setena.gob.cr">https://tramites.setena.gob.cr</a></p>	<p>Archivos en formato digital, uno Shape File (.shp) y otro en formato *.kml, ambos con su respectiva base de datos y el correspondiente polígono de localización del área del proyecto (AP), con los correspondientes atributos básicos (nombre del proyecto, tipo del proyecto, número de plano catastrado, y número de finca, provincia, cantón, distrito, nombre del desarrollador, número de cédula persona física o según sea el caso también el número de la cédula jurídica, fax o correo electrónico para atender notificaciones) de dicho proyecto. El archivo deberá elaborarse bajo el Sistema de Proyección Cartográfica CRTM83. El polígono en cuestión, debe ser el resultado de un levantamiento en campo, de mínimo tres puntos de anclaje con respecto a los vértices del plano Descripción de proyecto, incluido en el formulario D1.</p>
4	<p>Descripción general de la actividad, obra o proyecto, donde se desarrollará la actividad, obra o proyecto.</p>	<p>Artículo 9, N° 31849-MNAE-S-MOPT</p>	<p><a href="https://tramites.setena.gob.cr">https://tramites.setena.gob.cr</a></p>	<p>Lenado de las condiciones ambientales del proyecto para la determinación de la SIA.</p>
5	<p>Matriz básica de identificación de impactos ambientales acumulativos que se generarian</p>	<p>Artículo 9, N° 31849-MNAE-S-MOPT</p>	<p><a href="https://tramites.setena.gob.cr">https://tramites.setena.gob.cr</a></p>	<p>En caso de que el caso sea presentado por un apoderado especial, presentar el poder correspondiente, firmado digitalmente, donde se compruebe que se encuentra facultado para el trámite anterior a los Proyectos de Desarrollo de Infraestructura de Telecomunicaciones que atienden a los objetivos de Acceso Universal, Servicio Universal y Solidaridad incluidos en el Plan Anual de Programas y Proyectos del Fondo Nacional de Telecomunicaciones en concordancia con</p>
6	<p>Requisitos legales</p> <p>Certificación notarial o registral de la personería jurídica con cédula jurídica Datos del Representante Legal o Apoderado Legal de la empresa Certificación Literal Digital emitida por el Registro Nacional de la propiedad. Certificación Digital del Plano Catastro emitida por el Registro Nacional de la propiedad.</p> <p>Si el desarrollador del proyecto no es el dueño del inmueble: Prueba de posesión del propietario con la firma autenticada por abogado. Certificación de la razón social dueña del terreno. Certificación de la cédula de identidad del representante legal de la sociedad dueña del terreno del AP. Nota certificada de parte del representante legal autorizando a la razón social o persona física. Poder especial.</p>	<p>Artículo 9, N° 31849-MNAE-S-MOPT</p>	<p><a href="http://www.registracione.nal.go.cr/">http://www.registracione.nal.go.cr/</a> <a href="http://www.registracione.nal.go.cr/">http://www.registracione.nal.go.cr/</a> <a href="http://www.registracione.nal.go.cr/">http://www.registracione.nal.go.cr/</a></p>	<p>En caso de que el caso sea presentado por un apoderado especial, presentar el poder correspondiente, firmado digitalmente, donde se compruebe que se encuentra facultado para el trámite anterior a los Proyectos de Desarrollo de Infraestructura de Telecomunicaciones que atienden a los objetivos de Acceso Universal, Servicio Universal y Solidaridad incluidos en el Plan Anual de Programas y Proyectos del Fondo Nacional de Telecomunicaciones en concordancia con</p>

## 7.6 Anexo 6: Solicitud de perforación y/o concesión para aprovechamiento de agua de la Dirección de Agua

### REQUISITOS INDISPENSABLES PARA QUE ESTA SOLICITUD SEA RECIBIDA

1. Presentar este formulario debidamente lleno con letra legible o impresa (Ley de Aguas, artículo 178)
2. Adjuntar los siguientes documentos:
  - a) Certificación Literal de Propiedad (Registral o Notarial) del terreno en que se aprovechará el agua, con menos de tres meses de expedida. Excepciones son las Sociedades de Usuarios de Agua, las Municipalidades y la ESPH, cuando soliciten para abastecimiento poblacional. (Ley de Aguas, Artículo 178 inciso b)
  - b) Certificación de Personería Jurídica (Registral o Notarial), con menos de tres meses de expedida, cuando la solicitante sea persona jurídica. (Ley de Aguas, Artículo 178 inciso a)
  - c) Plano catastrado LEGIBLE, en que se marque la toma. (Ley de Aguas, Artículo 178 inciso h, Decreto 35884-MINAE)
  - d) Para concesión de pozo perforado con permiso, copia LEGIBLE del "Informe de Perforación". (Decreto 35884-MINAE)
  - e) Viabilidad Ambiental de SETENA. Si solicita CONCESION, podrá presentar constancia de que la tiene en trámite, pero deberá presentar la Viabilidad antes de dictarse la resolución final. Si solicita PERMISO DE PERFORACIÓN presentará la Viabilidad posteriormente, cuando se le notifique sobre la publicación del edicto. (Ley Orgánica del Ambiente, artículo 17, Decreto N° 32734-MINAET-S-MOPT-MAG-MEIC, Voto 2019-2009 de la Sala Constitucional)
3. En caso de estar registrado como patrono ante la CCSS, se verificará que esté al día con las cuotas obrero-patronales. (Ley de la CCSS, artículo 74, inciso a)
4. Se verificará que esté al día con sus obligaciones fiscales ante el Ministerio de Hacienda. (Art. 18 bis. Ley No.4755)

### REQUISITOS ESPECIALES

- a) Si se **aprovechará en condominio**, aportar carta de no disponibilidad hídrica emitida por el ente prestatario del acueducto local y reporte de resultados de análisis físico-químicos y microbiológicos del agua, que incluya todos los parámetros establecidos en los niveles N1, N2 y N3. Antes que el MINAE dicte resolución, deberá aportar Certificación de Propiedad que indique que se encuentra bajo régimen condominal. (Decreto N°35884-MINAE, Artículos 14, 32, Decreto N° 35271-S-MINAET Artículo 4, Decreto N°38924-S)
- b) Si el agua se **captará en el mar**, para desalinización, aportar autorización de la Municipalidad cuando la toma, las obras de conducción y descarga se encuentren dentro de zona restringida de zona marítima terrestre, presentar resumen del proyecto, describiendo el proceso, la demanda máxima, diseño de la toma, estudio hidrogeológico que demuestre que no se provocará intrusión salina en las aguas continentales. (Decreto No. 40098-MINAE-S-TUR)
  - c) Si el **pozo a perforar se ubica a un kilómetro o menos de la costa**, deberá presentar un estudio de intrusión salina. Si se ubicará a **menos de 100 metros de otros pozos legalmente inscritos, quebradas, ríos o nacimientos**, deberá presentar un estudio de interferencia. (Art. 12, Decreto No. 35884-MINAE, Art. 8, Ley de Aguas). Si se ubicará a menos de 40 metros de un lindero o estructura, deberá presentar un estudio hidrogeológico donde se calcule el retiro operacional del pozo, conforme las metodologías publicadas en La Gaceta de 31 de julio de 2012. Si desea saber si el sitio se ubica en zona con restricciones consulte a [www.da.go.cr/SINIGIRH/Centro de Documentación/Gestión de Acuíferos](http://www.da.go.cr/SINIGIRH/Centro de Documentación/Gestión de Acuíferos).
- d) Si el pozo está perforado en finca de un propietario y el agua se aprovechará en finca de otro propietario debe aportar documento con la anuencia del propietario de la finca donde está perforado (su firma debe venir autenticada), con la respectiva Certificación Literal de la Propiedad, Certificación de Personería Jurídica y Plano Catastrado donde se marque el pozo.

### ESPACIO PARA USO DE LA OFICINA

### EXPEDIENTE No.

- Esta solicitud fue recibida del solicitante, quien firmó y exhibió identificación personal.
  - Esta solicitud fue recibida de:
- Nombre: \_\_\_\_\_
- Identificación: \_\_\_\_\_

Firma del funcionario que recibe y sello de recibido

### NOTAS IMPORTANTES

- Todo movimiento o gestión a lo largo de su trámite será notificado al correo que usted señaló en la casilla A.10 de este formulario.

- Para cualquier consulta sobre su solicitud, debe referirse al número de expediente asignado.
- Si desea un “Recibido”, favor de traer una fotocopia adicional de este formulario.
- La concesión implica el pago de un canon periódico. Es muy importante que todos los datos sean exactos, pues se usan para comunicarle información, estados de cuenta, envío de facturas de canon, etc. (Canon por concepto de aprovechamiento de aguas, Artículos 2 y 20)
- “Si no fuera pagado el canon indicado durante un semestre podrá hacerlo durante el siguiente con el 25% de recargo o durante el tercero con el 50%. Si transcurrieron 3 semestres sin hacer los pagos caducará la concesión con carácter de hipoteca legal.” (Ley de Aguas, Artículo 169)
- Usted puede consultar sobre el estado de su trámite, estados de cuenta, detalles del aprovechamiento, legislación, etc. en el sitio WEB [www.da.go.cr](http://www.da.go.cr)

### PROCEDIMIENTO QUE SEGUIRÁ SU SOLICITUD DE PERFORACIÓN

- Al presentar la documentación se entregará la Boleta 1 (Recibido de solicitudes y permisos).
- Si hubiera aspectos que subsanar, se notificará la Boleta 3 (Solicitud No Admitida)
- Al estar completa la solicitud, se le asigna número de expediente y se notifica la Boleta 4
- La Dirección de Agua da audiencia al SENARA y al AYA
- Recibidas las respuestas notifica al solicitante sobre cualquier subsanación que deba efectuar
- El funcionario de la Dirección de Agua efectúa inspección y elabora informe
- Se emite oficio resolviendo la solicitud y se notifica.
- La empresa perforadora debe presentar el “Informe Final de Perforación”
- Cuando el informe cumple con los requerimientos, continúa el trámite a partir del punto c) del siguiente apartado “Procedimiento que seguirá su solicitud de concesión” (a excepción de los puntos d, f, g, que ya se han efectuado).

### PROCEDIMIENTO QUE SEGUIRÁ SU SOLICITUD DE CONCESIÓN

#### FASE DE ADMISIBILIDAD

- Al presentar la documentación se entregará la Boleta 1 (Recibido de solicitudes y permisos).
- Si hubiera aspectos que subsanar, se notificará la Boleta 3 (Solicitud No Admitida)
- Al estar completa la solicitud, se le asigna número de expediente y se notifica la Boleta 5 (Solicitud Admitida Con Edicto) y **deberá a publicar el edicto en el Diario Oficial La Gaceta**, que podrá efectuar presencialmente en la Imprenta Nacional o en línea, para lo cual seguirá el procedimiento explicado a continuación:
  - Ingresar a la página de la Imprenta Nacional [www.imprenal.go.cr](http://www.imprenal.go.cr)
  - Utilizando la pestaña, procede a “Registrarse”. Como usuario debe registrar el **correo electrónico al que le llegó el aviso**.
  - Vuelve a la página de inicio e “Ingresa”. Este le solicita usuario (correo electrónico) y contraseña (la que indicó cuando se registró).
  - Escoge “Buscador de documentos institucionales”.
  - En la parte de abajo aparece el edicto (réviselo para verificar que esté correcto).
  - Al lado izquierdo del edicto hay un ícono para crear una solicitud (aporte los datos que ahí le indique). Después de enviarla espere hasta que la Imprenta le haga la cotización.
  - Una vez cotizado, paga por tarjeta o por transferencia y la Imprenta le confirma.
- Se da audiencia a diversas instituciones relacionadas con la petición.
- Se otorgan 30 días, a partir de la publicación del edicto, para recibir oposiciones, las que se atenderán según el debido proceso y se resolverán en la resolución final.

#### FASE TÉCNICA

- Según sea el caso, un funcionario técnico efectúa una inspección de campo (en la mayoría de los casos, durante la época seca).
- Se elabora un informe técnico con las recomendaciones.

#### FASE LEGAL

h) La Asesoría Legal redacta resolución final. i) El Jerarca revisa la resolución y firma. j) Se notifica la resolución al interesado.		
<b>MODULO A: "DATOS DEL SOLICITANTE"</b> <b>(Debe ser el propietario de la finca en que se usará el agua)</b>		
A.1. Nombre:		
A.2. Teléfonos:	A.3. Apartado postal (número y lugar):	A.4. Correo electrónico:
A.5. Dirección exacta del domicilio:		
Distrito:	Cantón:	Provincia:
A.6. En caso de ser persona jurídica; indique:		A.7. Si es persona física; indique:
Cédula jurídica:	Identificación:	
Representante legal:		
A.8. <i>Contacto para consultas respecto a esta gestión.</i>		
Nombre:	Teléfono:	Correo:

**A.9. DIRECCIÓN PARA ENVÍO DE FACTURAS POR CONCEPTO DE CANON**

(Apartado Postal o una dirección exacta para la entrega por parte de Correos de Costa Rica)

**A.10. PARA RECIBIR NOTIFICACIONES SEÑALAR UN CORREO ELECTRÓNICO:****DATOS DE LA FINCA EN QUE SE APROVECHARÁ EL AGUA**

A.11 Folio Real Matrícula:

A.12 Dirección exacta:

**MODULO C: "USOS"****MARQUE Y DETALLE LOS USOS QUE SE DARÁN AL AGUA**

<b>C.1 CONSUMO HUMANO</b>		<b>C.4 COMERCIAL</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Personas beneficiadas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Pico alto diario de producto</b>
<input type="checkbox"/> Doméstico		<input type="checkbox"/> Lavado de vehículos	Autos:
<input type="checkbox"/> Poblacional		<input type="checkbox"/> Lavandería de ropa	Kgs.:
<input type="checkbox"/> Comercial (locales) m2 de construcción:		<input type="checkbox"/> Envasado de agua	Litros/día envasados:
<input type="checkbox"/> Hidrantes		<input type="checkbox"/> Otros (explique)	
<input type="checkbox"/> Industrial (empleados)		<b>C.5 TURÍSTICO</b>	
<input type="checkbox"/> Servicios (oficinas)		<b>Tipo</b>	<b>Personas por día</b>
<input type="checkbox"/> Piscina doméstica	Volumen m3: ¿Recirculación?:	<input type="checkbox"/> Hotel y otros alojamientos	
<input type="checkbox"/> Otros (explique)		<input type="checkbox"/> Restaurante, bar	
<b>C.2 AGROPECUARIO</b>		<input type="checkbox"/> Piscina recreativa	Volumen m3: ¿Recirculación?:
<b>Tipo</b>	<b>Especie y número de animales</b>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Abrevadero		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Granja		<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Lechería		<b>C.6 INDUSTRIAL</b>	
<input type="checkbox"/> Acuicultura	Dimensiones de las piletas:	<b>Tipo</b>	<b>Pico alto diario procesado</b>
Kg. de masa viva/m3:		<input type="checkbox"/> Textil	Toneladas:

<input type="checkbox"/> Otros (explique)		<input type="checkbox"/> Cervecería	Litros/día producidos:
<b>C.3 AGROINDUSTRIAL</b>		<input type="checkbox"/> Refresquería	Litros/día producidos:
<b>Tipo</b>	<b>Pico alto diario de producto</b>	<input type="checkbox"/> Licores	Litros:
<input type="checkbox"/> Beneficio de café	Fanegas:	<input type="checkbox"/> Quebrador	m3:
<input type="checkbox"/> Beneficio (otros)	Producto y kilogramos:	<input type="checkbox"/> Construcción	m3:
<input type="checkbox"/> Empacadora banano	Cajas:	<input type="checkbox"/> Alimentaria	Kg:
<input type="checkbox"/> Ingenio azucarero	Kg:	<input type="checkbox"/> Torres de enfriamiento	m2:
<input type="checkbox"/> Trapiche	Kg:	<input type="checkbox"/> Embutidos y carnes	Kg:
<input type="checkbox"/> Lavado productos	M3:	<input type="checkbox"/> Hielo	Volumen (m3):
<input type="checkbox"/> Producción de aceite	Kg:	<input type="checkbox"/> Tenería	Kg:
<input type="checkbox"/> Matadero	Especie y cabezas:	<input type="checkbox"/> Otros (explique):	
<input type="checkbox"/> Otros (explique)		<input type="checkbox"/>	

**C.7 RIEGO**

Especie cultivada	Área a (hectáreas)	Método	¿Cuáles horas del día regará?	¿Cuáles días del mes regará?	¿Cuáles meses del año regará?
1.					
2.					

**MÓDULO D: "TOMAS"**

D.1

**EL AGUA SE TOMARÁ DE:**

Tipo de fuente (nacimiento, quebrada, río, pozo)	Nombre de la fuente o número de pozo	Caudal al solicitado (litros por segundo)	La titud	L ongitud	Nombre del propietario donde se CAPTA el agua
1.					
2.					
3.					

D.2 Predios inferiores (No llene este espacio si se trata de pozo)

En caso de existir propietarios de terrenos ubicados aguas abajo de la toma, indique sus nombres completos a continuación.  
(Ley de Aguas Nº 276 Artículos 178 inciso f y 198.)

❖ Nombre:	❖ Nombre:
❖ Nombre:	❖ Nombre:

D.3 (No llene este espacio si se trata de pozo). En caso de no existir dueños de predios inferiores, presente 3 testigos que firmen la siguiente declaración: **Los abajo firmantes declaramos, bajo juramento, que conocemos la fuente de agua y nos consta que, no existen propietarios de predios inferiores.**

Nombre y ambos apellidos	Cédula	Firma	Autenticación de firmas
1.			
2.			
3.			

MÓDULO E: "PETITORIA"

E.1 TRÁMITE SOLICITADO

- Nueva
  Aumento de caudal
  Aumento de fuentes  
 Otro (Explique):

\_\_\_\_\_

Con la excepción de "Nueva" indique el número de expediente de su concesión:

E.2 Firma de solicitante(s):

E.3 En caso de que el firmante no se presente, la firma debe venir autenticada.